

**ANTONIO NOVAIS TAVARES FILHO**

**FERTILIZANTES NITROGENADOS DE LIBERAÇÃO RÁPIDA E GRADUAL  
APLICADOS EM SOLO CULTIVADO COM ALFACE EM CHÃ GRANDE - PE**

**RECIFE**

**2014**

Antonio Novais Tavares Filho

**Engenheiro Agrônomo**

**FERTILIZANTES NITROGENADOS DE LIBERAÇÃO RÁPIDA E GRADUAL  
APLICADOS EM SOLO CULTIVADO COM ALFACE EM CHÃ GRANDE - PE**

**Orientador:**

Prof. Dr. **Marcus Metri Corrêa**

**Co-orientador:**

Prof. Dr. **Levy Paes Barreto**

Tese apresentada a Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Doutor em “Engenharia Agrícola”, Área de concentração- **Engenharia de Água e Solo**

**RECIFE**

**2014**

Ficha catalográfica

T231f    Tavares Filho, Antonio Novais  
Fertilizantes nitrogenados de liberação rápida e gradual aplicados em solo cultivado com alface em Chã Grande – PE / Antonio Novais Tavares Filho. – Recife, 2014.  
98 f. : il.

Orientador: Marcus Metri Corrêa.  
Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Tecnologia Rural, Recife, 2014.  
Referências.

1. Fertilizante nitrogenado 2. Produtividade  
3. Plantas - Nutrição I. Corrêa, Marcus Metri, orientador  
II. Título

CDD 631

**ANTONIO NOVAIS TAVARES FILHO**

**Fertilizantes Nitrogenados de Liberação Rápida e Gradual Aplicados em Solo Cultivado com Alface em Chã Grande - PE**

Tese Defendida e Aprovada em 29 de Julho de 2014 pela Banca Examinadora:

Orientador:

---

**Marcus Metri Corrêa, Prof. Dr.**  
(UFRPE - DTR)

Examinadores:

---

**Dimas Menezes, Prof. Dr.**  
(UFRPE - DEPA)

---

**Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr.**  
(UFRPE - DTR)

---

**Maria de Fátima Cavalcanti Barros, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>.**  
(UFRPE - DEPA)

---

**Roberto da Boa Viagem Parahyba, Dr.**  
(EMBRAPA SOLOS - PE)

*" Temos o destino que merecemos. O nosso destino está de acordo com os nossos méritos "*

**Albert Einstein**

*" Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho certo de vencer é tentar mais uma vez "*

**Thomas Edison**

*" Se fiz descobertas valiosas, foi mais por paciência do que qualquer talento "*

**Issac Newton**

*" Divide as dificuldades que tenhas de examinar em tantas partes quantas for possível, para uma melhor solução "*

**René Descartes**

*Ofereço este trabalho a DEUS pela presença marcante na minha vida, pelo auxílio nas minhas escolhas e por me confortar nas horas mais difíceis desta jornada.*

*“ Dedico esta obra a minha esposa  
ELVIRA e filha MARIA EDUARDA ”*

## AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco pela oportunidade e formação acadêmica.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa durante a fase de doutoramento.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Barreiros, pelo apoio a minha qualificação profissional.

A Empresa Hortaliça Center por disponibilizar área destinada ao trabalho de pesquisa.

Ao Professor Dr. Marcus Metri Corrêa pela orientação e conhecimento transmitido durante a fase de doutoramento.

Ao Professor Dr. Levy Paes Barreto pela sua contribuição na elaboração do projeto de pesquisa e na correção final da tese.

Ao Dr. José Benjamin Machado Coelho pela ajuda na fase de qualificação do doutorado.

Aos Professores da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em especial aos docentes, Dr. Ênio Farias de França e Silva, Dr. Egídio Bezerra Neto, Dr<sup>a</sup>. Cristiane Guiselini, Dr. Levy Paes Barreto pela contribuição que deram ao meu crescimento profissional.

À banca examinadora, composta pelos pesquisadores, Dr. Ênio Farias de França e Silva, Dr<sup>a</sup>. Maria de Fátima Cavalvanti Barros, Dr. Dimas Menezes e Dr. Roberto da Boa Viagem Parahyba pelo aceite ao convite e contribuições valiosas.

Aos meus colegas de doutorado, Antônio Henrique, Waldirene, Francimar, Fábio, Daniel, Andréa, Mara, Júnior, Eduardo, Rochele, Mércia, Bianca, Gian pelo convívio, amizade e aprendizado.

Ao empresário Sr. Júlio Correa e funcionários da Empresa Hortaliça Center, especialmente, ao engenheiro agrônomo Miguel Aguiar.

Aos meus colegas de trabalho do Instituto Federal de Pernambuco, Campus Barreiros, em especial aos docentes, Agenor, Nielson, Rômulo Vinícius, Bruno, Antônio Fernando, Adalberto, Jane, Everaldo, Renaldo Fernandes, Rinaldo Malaquias, Marcelo Melo, Bianca, Ronaldo, José Ronaldo,

Roberto, José Marcílio, Francisco de Assis, Erinaldo, Luiz Ricchelle, Rafael, Luciano, Mércia, Héliida, Caetano, Tatiely, Marineide, Cristiane, Glauco e Marcelo Carvalho.

Aos meus pais Antônio Novais e Cristiana Cavalcanti por ter contribuído na escolha do curso de engenharia agrônômica, no período em que residi na Zona Rural do município de Jardim - CE.

A minha amada esposa Elvira pelo seu carinho e ajuda no desenvolvimento desta tarefa difícil.

A minha querida filha Maria Eduarda estrela que traz energia para a minha vida.

Aos meus sogros Osmar e Alba que sempre incentivaram a continuidade dos meus estudos e por sempre acreditar no meu potencial.

Aos meus queridos irmãos, Urias, Rafael, Felipe e principalmente, Daniela pelos momentos em que passamos juntos na fase estudantil.

As minhas tias Maria Cavalcanti e Arlene pelas palavras de apoio, pela aprendizagem e momentos felizes.

Aos meus inesquecíveis e eternos avós Antônio, Maria Celme, Ernani e Lizete.

Aos meus tios e tias, especialmente, Francisco Carlos, Hildegardes, Maria Zita e Maria Célia pelos ensinamentos e conselhos.

Aos meus primos e primas, Maurício, Marcel, Herbert, Monalisa, Herbie e Caroline.

Aos meus eternos amigos Anthony, José de Almeida, Marcus Vinícius, José André, Hemerson, José Marcelo, engenheiros agrônomos.

Ao engenheiro agrônomo e mestre Antônio Cerqueira pela experiência transmitida e apoio a continuidade dos meus estudos.

Ao meu tio Francisco Novais, primo Eugênio Tavares e irmão Rafael Novais engenheiros agrônomos.

Ao aluno do Curso Técnico em Agropecuária Ailson Porfírio do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, Campus Barreiros, que ajudou na montagem da estrutura experimental e condução do trabalho de pesquisa.

A todos os meus amigos da minha querida cidade de Jardim - CE.

A todos que participaram diretamente ou indiretamente para a conclusão do doutorado, deixo aqui a minha mais profunda gratidão.



## SUMÁRIO

	<b>Páginas</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>XVII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XIX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>21</b>
1.1 Objetivos.....	22
1.1.1 Objetivo geral.....	22
1.1.2 Objetivos específicos.....	22
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>23</b>
2.1 Importância e aspectos gerais da cultura da alface.....	23
2.2 Nitrogênio.....	24
2.2.1 Nitrogênio no solo e na planta.....	24
2.2.2 Fertilizantes nitrogenados de liberação rápida.....	25
2.2.3 Fertilizantes nitrogenados de liberação gradual.....	26
2.2.4 Adubação nitrogenada na produção de hortaliças.....	28
2.2.5 Nitrogênio na produção de alface .....	29
2.2.6 Eficiência do uso do fertilizante nitrogenado.....	30

	<b>Páginas</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>32</b>
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	32
3.2 Caracterização física e química do solo.....	32
3.3 Caracterização física e química da água de irrigação.....	34
3.4 Tratamentos e delineamento experimental.....	35
3.5 Preparo do solo e adubação de pré-plantio.....	36
3.6 Montagem e avaliação do funcionamento do sistema irrigação....	37
3.7 Determinação da curva de retenção de água no solo.....	40
3.8 Instalações dos tensiômetros e determinação da umidade no solo.....	41
3.9 Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação.....	41
3.10 Evapotranspiração de referência (ET <sub>o</sub> ) e Evapotranspiração potencial da cultura (ET <sub>pc</sub> ).....	42
3.11 Manejo da irrigação por microaspersão.....	43
3.12 Cultivar utilizada, preparo das mudas e transplântio.....	43
3.13 Aplicações dos tratamentos.....	44
3.14 Condução e colheita das plantas.....	45
3.15 Variáveis biométricas de crescimento.....	46
3.15.1 Diâmetro das Plantas (DP).....	46
3.15.2 Altura das Plantas (AP).....	46

	<b>Páginas</b>
3.15.3 Biomassa Fresca da Parte Aérea (BFPA).....	46
3.15.4 Biomassa Seca da Parte Aérea (BSPA).....	46
3.15.5 Produtividade Agronômica (PRODA).....	46
3.15.6 Área foliar (AF).....	47
3.15.7 Taxa de Crescimento Absoluto (TCA).....	47
3.15.8 Índice de Área Foliar (IAF).....	47
3.15.9 Taxa Assimilatória Líquida (TAL).....	47
3.16 Variáveis químicas observadas no solo após o plantio.....	47
3.16.1 pH em água.....	47
3.16.2 Alumínio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, zinco e manganês.....	48
3.17 Variáveis químicas avaliadas nas folhas.....	49
3.17.1 Teores de nitrogênio total, fósforo e potássio foliar...	49
3.18 Análises estatísticas.....	49
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>50</b>
4.1 Variáveis meteorológicas.....	50
4.2 Variáveis químicas do solo analisadas após plantio.....	52
4.3 Variáveis químicas avaliadas nas folhas.....	65
4.4 Variáveis biométricas de crescimento.....	71
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>86</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>87</b>

## LISTA DE TABELAS

## Páginas

<b>Tabela 1.</b> Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos.....	34
<b>Tabela 2.</b> Características físicas e químicas da água de irrigação usada no experimento (água coletada no Rio Vertentes).....	35
<b>Tabela 3.</b> Avaliação do funcionamento do sistema de irrigação.....	39
<b>Tabela 4.</b> Curva característica de retenção de água no solo utilizado no experimento.....	40
<b>Tabela 5.</b> Coeficientes da cultura ( $K_c$ ) dos estágios fenológicos da alface.....	43
<b>Tabela 6.</b> Percentual de nitrogênio nos fertilizantes e quantidade dos adubos aplicados em duas coberturas para fornecimento de 100 Kg de N ha <sup>-1</sup> .....	44
<b>Tabela 7.</b> Análise da variância para as variáveis pH, alumínio (Al), fósforo (P), cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) no solo .....	52
<b>Tabela 8.</b> Análise da variância para ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) no solo.....	61
<b>Tabela 9.</b> Análise da variância para nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nas folhas.....	65
<b>Tabela 10.</b> Análise da variância para diâmetro de planta (DP), altura de planta (AP), biomassa fresca da parte aérea (BFPA), biomassa seca da parte aérea (BSPA) e produtividade agrônômica (PRODA).....	71
<b>Tabela 11.</b> Análise da variância da área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa assimilatória líquida (TAL).....	81

## LISTA DE FIGURAS

## Páginas

<b>Figura 1.</b> Mapa do estado de Pernambuco com destaque para Microrregião Vitória de Santo Antão.....	32
<b>Figura 2.</b> Mapa exploratório de reconhecimento de solos do município de Chã Grande - PE.....	33
<b>Figura 3.</b> Croqui da área experimental (A). Detalhe das plantas úteis da parcela (B).....	36
<b>Figura 4.</b> Preparo dos canteiros com rotoencanteirador (A). Adubação de pré-plantio com superfosfato simples e cloreto de potássio (B).....	37
<b>Figura 5.</b> Montagem do sistema de irrigação por microaspersão (A). Manômetro (B). Registro tipo globo (C).....	37
<b>Figura 6.</b> Teste do coeficiente de uniformidade de distribuição (A). Teste do coeficiente de uniformidade de aplicação (B).....	39
<b>Figura 7.</b> Vista do tensiômetro com vacuômetro da marca SONDATERRA, usado na determinação direta do potencial mátrico do solo em (kpa).....	41
<b>Figura 8.</b> Termohigrômetro analógico de bulbo seco e úmido da marca INCOTERM e termômetro de máxima e mínima da marca INCOTERM (A). Pluviômetro de plástico 150 mm da marca INCOTERM (B).....	42
<b>Figura 9.</b> Viveiro de produção de mudas (A). Mudas de alface da cultivar Vitória de Santo Antão após 25 dias de semeadura (B).....	44
<b>Figura 10.</b> Adubação em cobertura aos 10 (A) e 20 (B) dias do transplântio das mudas de alface.....	45
<b>Figura 11.</b> Colheita da alface no final do ciclo vegetativo aos 55 dias da semeadura.....	45

<b>Figura 12.</b> Valores máximos, mínimos e médios diários da temperatura (°C) obtidos durante o período experimental em Chã Grande - PE.....	50
<b>Figura 13.</b> Valores médios diários da umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm) obtidos durante o período experimental em Chã Grande - PE.....	51
<b>Figura 14.</b> Valores de Evapotranspiração de referência (Eto) e evapotranspiração potencial da cultura (ETpc) obtidos durante o período experimental em Chã Grande - PE.....	51
<b>Figura 15.</b> Análise de regressão do pH em água no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	53
<b>Figura 16.</b> Análise de regressão do alumínio (Al) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	55
<b>Figura 17.</b> Análise de regressão do fósforo (P) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	56
<b>Figura 18.</b> Análise de regressão do potássio (K) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	57
<b>Figura 19.</b> Análise de regressão do cálcio (Ca) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	59
<b>Figura 20.</b> Análise de regressão do magnésio (Mg) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	60
<b>Figura 21.</b> Análise de regressão do ferro (Fe) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	61

<b>Figura 22.</b> Análise de regressão do cobre (Cu) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	62
<b>Figura 23.</b> Análise de regressão do zinco (Zn) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	63
<b>Figura 24.</b> Análise de regressão do manganês (Mn) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	64
<b>Figura 25.</b> Análise de regressão do nitrogênio (N) foliar para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	66
<b>Figura 26.</b> Análise de regressão do fósforo (P) foliar para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	68
<b>Figura 27.</b> Análise de regressão do potássio (K) foliar para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	69
<b>Figura 28.</b> Análise de regressão do diâmetro de planta (DP) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	72
<b>Figura 29.</b> Análise de regressão da altura de planta (AP) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	74
<b>Figura 30.</b> Análise de regressão da biomassa fresca da parte aérea (BFPA) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	75
<b>Figura 31.</b> Análise de regressão da biomassa seca da parte aérea (BSPA) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	77
<b>Figura 32.</b> Análise de regressão da produtividade agronômica (PRODA) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	79

## Páginas

<b>Figura 33.</b> Análise de regressão da área foliar (AF) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	81
<b>Figura 34.</b> Análise de regressão do índice de área foliar (IAF) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	83
<b>Figura 35.</b> Análise de regressão da taxa de crescimento absoluto (TCA) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio.....	84



# FERTILIZANTES NITROGENADOS DE LIBERAÇÃO RÁPIDA E GRADUAL APLICADOS EM SOLO CULTIVADO COM ALFACE EM CHÃ GRANDE - PE

**Autor: Antônio Novais Tavares Filho**

**Orientador: Dr. Marcus Metri Corrêa**

## RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar os efeitos do uso de fertilizantes nitrogenados de liberação rápida e gradual em solo cultivado com alface lisa, cultivar “Vitória de Santo Antão”. O experimento foi conduzido na Empresa Hortaliça Center, em Chã Grande - PE, no período compreendido entre janeiro e março de 2013. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizados, com esquema fatorial 3 x 5, sendo que os tratamentos foram constituídos da combinação de três fertilizantes ( $F_1$  = ureia,  $F_2$  = sulfato de amônio;  $F_3$  = nitrogênio revestido, de nome comercial sulfammo® meta full 29) com cinco doses de adubação nitrogenada ( $D_1$  = 0;  $D_2$  = 50;  $D_3$  = 100;  $D_4$  = 150;  $D_5$  = 200 kg ha<sup>-1</sup>) em quatro repetições. A parcela experimental foi constituída por um canteiro de 3,36 m<sup>2</sup>, de área, com 28 plantas espaçadas em 0,30 x 0,30 m, sendo que a área útil foi representada pelas 06 plantas centrais. Após a colheita das plantas aos 55 dias da semeadura foram avaliadas as seguintes variáveis: diâmetro de planta, altura de planta, biomassa fresca e seca da parte aérea e produtividade agrônômica; área foliar, índice de área foliar, taxa de crescimento absoluto, taxa assimilatória líquida; teores foliares de N, P e K; e no solo, o pH e as concentrações de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn e Mn. Os dados obtidos foram interpretados por meio de análise de variância e de regressão, ao nível de 5% de probabilidade. Para os resultados encontrados nas condições edafoclimáticas da presente pesquisa, as variáveis avaliadas foram influenciadas pelos fertilizantes de liberação rápida e gradual quando submetidas a diferentes doses de N. Com o incremento das doses aplicadas de ureia e sulfato de amônio houve redução do pH e dos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, enquanto que o uso da fonte Sulfammo Meta Full

29 elevou as concentrações dos macronutrientes secundários do solo após o cultivo. O uso de quantidades crescentes de nitrogênio das fontes de adubos aumentaram linearmente os níveis de ferro, cobre, zinco e manganês no solo. Os teores estimados de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas de alface variaram significativamente em função das doses de nitrogênio fornecidas pelas fontes de fertilizantes e apresentaram ajustes polinomiais quadráticos. A dose de máxima eficiência do fertilizante Sulfammo Meta Full 29 foi de 113,87 kg de N ha<sup>-1</sup>, a do sulfato de amônio foi de 135,78 kg de N ha<sup>-1</sup> e da ureia convencional foi de 153,50 kg de N ha<sup>-1</sup> para a máxima produtividade agrônômica. A variável biométrica taxa assimilatória líquida não apresentou diferença estatística significativa para as condições experimentais.

**Palavras chave:** fertilização nitrogenada, produtividade, nutrição de plantas

# **NITROGEN FERTILIZERS QUICK RELEASE AND GRADUAL APPLIED IN SOIL WITH LETTUCE GROWN IN CHÃ GRANDE - PE**

**Author: Antonio Novais Tavares Filho**

**Advisor: Dr. Marcus Metri Corrêa**

## **ABSTRACT**

This research aimed to evaluate the effects of nitrogen fertilizer use quickly and gradual release in soil cultivated with plain lettuce cultivar "Vitoria de Santo Antao." The experiment was conducted at the Company Vegetable Center in Cha Grande - PE, in the period between January and March 2013. The experimental design was completely randomized, with a factorial 3 x 5, and the treatments consisted of the combination of three fertilizers (urea = F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> = ammonium sulfate; F<sub>3</sub> = nitrogen coated, trade name sulfammo® full target 29) with five levels of nitrogen fertilization (D<sub>1</sub> = 0, D<sub>2</sub> = 50, D<sub>3</sub> = 100; D<sub>4</sub> = 150; D<sub>5</sub> = 200 kg ha<sup>-1</sup>) in four replications. The experimental plot consisted of a bed of 3.36 m<sup>2</sup> in area, with 28 plants spaced 0.30 x 0.30 m, and the floor area was represented by 06 central plants. After harvesting the plants at 55 days after sowing, the following variables were evaluated: plant diameter, plant height, fresh and dry biomass of shoots and agronomic productivity; leaf area, leaf area index, absolute growth rate, net assimilation rate; foliar N, P and K; and soil, pH, and concentrations of P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Zn and Mn. The data were interpreted by analysis of variance and regression at 5% probability. For the results at conditions of this study, the variables were influenced by the quick release fertilizers and gradually when exposed to different doses of N. With increasing levels of applied urea and ammonium sulphate decreased the pH and the levels phosphorus, potassium, calcium and magnesium, while the use of the source 29 Sulfammo Target Full increased concentrations of secondary macronutrients after cultivation soil. The use of increasing amounts of fertilizer nitrogen sources linearly increased levels of iron, copper, zinc and manganese in the soil. The estimated levels of nitrogen, phosphorus and potassium in

lettuce leaves varied significantly depending on the nitrogen supplied by fertilizer sources and showed a quadratic polynomial adjustments. The maximum level of fertilizer efficiency Sulfammo Full Target 29 was 113.87 kg N ha<sup>-1</sup>, the ammonium sulphate was 135.78 kg N ha<sup>-1</sup> and conventional urea was 153.50 kg of N ha<sup>-1</sup> for maximum agronomic yield. Biometric variable net assimilation rate showed no statistically significant difference to the experimental conditions.

**Keywords:** nitrogen fertilization, productivity, plant nutrition

## 1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas tem sido observado o aumento do consumo de hortaliças folhosas na dieta dos brasileiros. Neste novo cenário, a produção de olerícolas necessita de informações científicas em diversas condições edafoclimáticas para proporcionar aumento na produtividade das culturas. No Estado de Pernambuco a alface é amplamente cultivada em cinturões verdes, notadamente, nas cidades de Chã Grande, Glória do Goitá e Vitória de Santo Antão em sistema de produção convencional que emprega o uso de sementes geneticamente melhoradas, fertilizantes químicos, agrotóxicos e maquinário agrícola.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais produzida e comercializada no Brasil. A cultura é amplamente consumida na dieta dos brasileiros por causa do baixo valor calórico e elevado valor nutricional, pois é boa fonte de vitaminas e elementos minerais (COMETTI et al., 2004).

Apesar de absorver quantidades relativamente pequenas de nutrientes quando comparadas às outras culturas, devido ao seu ciclo curto, a alface pode ser considerada como cultura exigente em nutrientes. O período de maior consumo é na fase final de produção (SANCHEZ, 2007).

Dentre os nutrientes essenciais, o nitrogênio é o elemento que mais interfere na produção e na qualidade das hortaliças folhosas, pois é exigido em grandes quantidades pela maioria das culturas (TAIZ & ZEIGER, 2009). Este macronutriente é constituinte da célula vegetal, incluindo, proteínas, aminoácidos, clorofila e ácidos nucleicos. Portanto, a deficiência desse elemento mineral causa diminuição acentuada na produtividade da alface.

Dentre os insumos utilizados na agricultura os adubos nitrogenados, especialmente de liberação rápida, destacam-se pelo seu potencial de perdas por lixiviação, volatilização e desnitrificação, haja vista que nenhum outro elemento essencial para a nutrição de plantas apresenta dinamismo tão grande quanto o nitrogênio (ROBERTSON & GROFFMAN, 2007).

O aumento da eficiência no uso do fertilizante nitrogenado pode ser alcançado pela incorporação ao solo, parcelamento das doses aplicadas, mistura de fertilizantes ou por meio do uso de fertilizantes revestidos com material orgânico e/ou inorgânico. Os adubos de liberação controlada têm a

capacidade de fornecer os nutrientes de forma gradual e equilibrada, atendendo as necessidades nutricionais das culturas durante todo o ciclo de produção.

Estudos que abordem os efeitos dos fertilizantes nitrogenados de liberação gradual na produção de alface são relativamente escassos, especialmente, para as condições da Mesorregião Zona da Mata Pernambucana e Microrregião Vitória de Santo Antão. Portanto, é de grande importância realizar trabalhos que visem o ajuste de doses adequadas de N para o cultivo da alface, em condições edafoclimáticas diferentes para a racionalização da produção dessa cultura em níveis regionais, de tal forma que se possa obter uma máxima eficiência produtiva e redução dos custos de produção.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Testar os efeitos da aplicação de doses de fertilizantes nitrogenados de liberação rápida e gradual em solo cultivado com alface em Chã Grande - PE.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Verificar o efeito da aplicação das fontes e doses de nitrogênio no pH e na concentração de macro e micronutrientes no solo;
- Analisar o teor de nitrogênio, fósforo e potássio foliar em função da fertilização nitrogenada;
- Observar a influência da aplicação dos adubos nitrogenados em diferentes doses sobre as variáveis biométricas de crescimento;
- Definir a melhor fonte e dose de fertilizante a ser recomendada para o ciclo da cultura para obtenção da máxima produtividade agrônômica.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. Importância e aspectos gerais da cultura da alface**

Originária da Europa e da Ásia, a alface pertence à família Asterácea (Compostas), como a alcachofra, o almeirão e a chicória. Abrange as hortaliças folhosas mais consumidas na forma de saladas. Originou-se de espécies silvestres, ainda atualmente encontradas no sul da Europa e na Ásia Ocidental, e é conhecida há mais de 500 anos antes de Cristo. Algumas características desta hortaliça são seu caule diminuto, onde se inserem as folhas amplas e tenras crescendo na forma de roseta, formando ou não uma cabeça, de coloração em vários tons de verde ou roxo conforme a cultivar. O sistema radicular é do tipo pivotante com faixa de exploração principal em torno de 20 cm de profundidade (FILGUEIRA, 2008).

É uma planta anual, que floresce quando em condições de fotoperíodo longo e temperaturas elevadas, o que em determinadas regiões dificulta e chega a inviabilizar o seu cultivo. Temperaturas noturnas acima de 20°C estimulam o pendoamento da alface, o qual é acentuado à medida que se eleva a temperatura. Dias curtos e temperaturas amenas favorecem a etapa vegetativa, o que resulta em maior produtividade. Atualmente os fitomelhoristas desenvolveram cultivares adaptadas ao plantio também durante a primavera e o verão, resistentes ao pendoamento precoce (FILGUEIRA, 2008).

Dentre os fatores que estão associados a baixos rendimentos da alface, destacam-se o reduzido nível de tecnologia, falta de cultivares adaptadas às altas temperaturas e luminosidade, e carência de informações técnicas sobre o manejo da cultura (GRANGEIRO et al., 2006).

Constitui uma importante fonte de elementos minerais, principalmente de cálcio e de vitaminas, contém grandes quantidades de vitaminas do complexo B, vitamina C, ferro, cálcio, fósforo e potássio, podendo variar as suas quantidades de acordo com o grupo da alface (americana, lisa, crespa e romana). Por possuir baixo valor calórico e ser rica em fibras, a alface pode ser adicionada às saladas e na preparação de um prato principal altamente nutritivo (NUTRIÇÃO EM FOCO, 2009).

No Brasil, a cultura da alface é amplamente cultivada, e é uma das hortaliças folhosas mais consumidas em residências, lanchonetes e

restaurantes. Juntamente com o tomate, é também a hortaliça preferida para as saladas devido ao seu sabor agradável e refrescante, e facilidade de preparo (FILGUEIRA, 2008).

## **2.2 Nitrogênio**

### **2.2.1 Nitrogênio no solo e na planta**

Entre os fatores que contribuem para o aumento da produtividade das culturas, a disponibilidade do nitrogênio é um dos mais importantes, pois este elemento é o segundo nutriente requerido em maiores quantidades pela maioria das culturas e o que exerce efeito mais pronunciado da produção (MAIA et al., 2004, ALFAIA, 2006).

TAIZ & ZEIGER (2009) afirmam que o nitrogênio é o elemento mineral que as plantas exigem em grandes quantidades. Ele serve como constituinte de muitos componentes da célula vegetal, incluindo aminoácidos, proteínas e ácidos nucléicos. Sendo assim, a deficiência deste elemento rapidamente inibe o crescimento vegetal. O nitrogênio junto com o enxofre constitui o grupo de elementos essenciais, que fazem parte de compostos orgânicos. Os vegetais assimilam esses nutrientes por meio de reações bioquímicas, envolvendo oxidações e reduções, para formar ligações covalentes com o carbono e criar compostos orgânicos.

O N é transportado pelo xilema na mesma forma em que foi absorvido pelas raízes, isto é,  $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NO}_3^-$  principalmente, ou como produto de sua assimilação, em geral aminoácido (MALAVOLTA, 2006). Quando o nitrogênio é absorvido na forma de nitrato, o mesmo é reduzido na planta em amônio pela ação da enzima redutase do nitrato. O amônio presente no citoplasma da célula é assimilado nos vegetais pela sintetase da glutamina que é um aminoácido precursor da formação de proteínas.

O nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) é facilmente lixiviado, devido às forças de repulsão geradas pelas cargas negativas da fração argila, enquanto que o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) é adsorvido nos coloides do solo pelas forças de atração eletrostática (RAIJ, 1991; FAQUIN & ANDRADE, 2004).



O volume de água percolado tem sido relatado como principal responsável pelas perdas de nutrientes. A lixiviação de nutrientes varia com os atributos físicos do solo, como textura, estrutura, profundidade do perfil e principalmente porosidade. Em regiões que apresentam um alto índice pluviométrico o processo de lixiviação remove as bases trocáveis afetando o pH e a capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos (SANTOS, 2002).

Uma forma de aproximar as estratégias de suprimento de nitrogênio para as demandas das culturas é o uso de métodos de aplicação do fertilizante, combinado à época de seu uso. Conforme citam GRANGEIRO et al. (2006), o conhecimento da quantidade de nutrientes acumulada na planta, em cada estágio de desenvolvimento, fornece informações importantes que podem auxiliar no programa de adubação das culturas. Tratando-se de adubação nitrogenada, deve ser dada especial atenção às possíveis perdas de N do sistema, buscando sempre uma otimização da fonte, época e modo de aplicação.

O nitrogênio que se encontra na planta na forma orgânica é cerca de 90% do total, o qual desempenha as suas principais funções, como componente estrutural de macromoléculas e constituinte de enzimas, que são moléculas de natureza proteica que catalisam reações químicas (FAQUIN & ANDRADE, 2004).

A fertilização nitrogenada tem gerado dúvidas que vão desde reações e mecanismos controladores da disponibilidade do N no solo até a prática da adubação propriamente dita, a qual abrange as características e reações das diferentes fontes de nitrogênio no solo, métodos de aplicação e, principalmente, quanto aos seus aspectos econômicos (BARBOSA FILHO et al., 2001).

O uso eficiente do nitrogênio consiste em se fazer a aplicação do adubo próximo à região ativa do sistema radicular, a qual deve estar aliada às condições adequadas de regime hídrico e práticas agrícolas (RIBEIRO, 1996).

### **2.2.2 Fertilizantes nitrogenados de liberação rápida**

As fontes nitrogenadas mais utilizadas na agricultura brasileira são a ureia e o sulfato de amônio (BARBOSA FILHO et al., 2004). A ureia apresenta alta higroscopicidade com 45% de nitrogênio solúvel em água. No solo, o

nitrogênio da ureia transforma-se em amônia ( $\text{NH}_3$ ) gasosa, passando em seguida para forma iônica de amônio e/ou nitrato. A conversão do nitrogênio orgânico em formas minerais disponíveis se dá em duas etapas, inicialmente o nitrogênio orgânico é transformado em amônio pelo processo de amonificação, em seguida o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) é convertido em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) através da nitrificação, ambas as reações ocorrem graças à intervenção das bactérias que vivem no solo dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*. O sulfato de amônio apresenta 21% de nitrogênio e 24% de enxofre solúvel em água (MALAVOLTA et al., 2002).

A ureia destaca-se pela facilidade de acesso no mercado, menor custo por unidade de N, elevada solubilidade e compatibilidade para uso em mistura com outros fertilizantes (SCIVITTARO et al., 2004). Porém, é uma fonte bastante suscetível a perdas por volatilização de amônia. Esta, quando aplicada, é rapidamente hidrolisada em dois ou três dias, e a taxa de hidrólise depende da temperatura do solo, umidade, quantidade e forma pela qual a ureia é aplicada (RIBEIRO, 1996).

Devido ao custo da adubação nitrogenada ser bastante oneroso, se faz necessário o uso de fontes nitrogenadas que apresentem menores perdas de nitrogênio, as quais podem ser reduzidas pela utilização de fertilizantes com formas de nitrogênio menos susceptíveis à volatilização. Fontes de nitrogênio, como nitrato de amônio, nitrato de cálcio e sulfato de amônio não estão sujeitas às perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  em solos ácidos (RIBEIRO, 1996).

O parcelamento do nitrogênio ameniza as perdas, além de favorecer uma melhor produção devido o eficiente aproveitamento do nutriente pelas plantas, devendo o mesmo ser aplicado na época de maior exigência pelas plantas, pois o nitrogênio que não é absorvido é perdido de alguma forma, seja por lixiviação ou volatilização (BARBOSA FILHO et al., 2004).

### **2.2.3 Fertilizantes nitrogenados de liberação gradual**

Atualmente vem crescendo o número de estudos realizados na tentativa de aumentar a eficiência no uso do fertilizante nitrogenado por meio do recobrimento de fertilizantes com polímeros que podem agir tanto na inibição

de enzimas como urease, quanto na taxa de difusão dos elementos pelos grânulos do adubo.

RAMBO et al. (2004) ressaltaram a importância da sincronia da época de aplicação do adubo nitrogenado e a disponibilização de N, nos estádios de maior necessidade de N pela cultura, visando aumentar a eficiência do uso do nitrogênio.

Uma alternativa para a redução das perdas de N é o envolvimento do grânulo de ureia por algum produto menos higroscópico, que permita a lenta liberação do N-ureia, e aumente a eficiência de sua utilização por culturas (BONO et al., 2008) .

A durabilidade e a intensidade de liberação do N por esses fertilizantes é diretamente dependente do material de recobrimento, da espessura da resina utilizada, de microfissuras em sua superfície e também do tamanho do grânulo do fertilizante (GIRARD & FILHO, 2003).

SHAVIV (2000) relatou que os principais benefícios gerados pelo uso de ureias revestidas com polímero são: a redução do estresse e toxicidade devido à alta concentração salina junto à semente e ao sistema radicular das plantas; aumento da disponibilidade de nutrientes por aumentar o teor dos mesmos na solução do solo; suprimento do N nas formas preferencialmente absorvidas pelas plantas ( $\text{NO}_3^-$  e  $\text{NH}_4^+$ ) devido à lenta liberação desfavorecer a imobilização por microrganismos do solo; aprimoramento dos efeitos sinérgicos entre os nutrientes, por não haver desequilíbrio na proporção de N e os demais íons; menor risco de contaminação ambiental por lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  e emissão de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{N}_2\text{O}$  para atmosfera (GOLDEN et al., 2009).

Diversos autores relataram os benefícios no emprego de fertilizantes revestidos com polímeros. Em cultura de cevada, utilizando a técnica do traçador isotópico  $\text{N}^{15}$ , SHOJI et al. (2001) verificaram recuperação do N fertilizante de 66% quando este foi de liberação gradual, aumentando portanto a eficiência na utilização do fertilizante, quando comparado a estudos com fertilizantes convencionais. Os mesmos autores ainda observaram que as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  para os tratamentos em que foram utilizadas ureias revestidas com inibidor enzimático ou por polímero de liberação lenta, foram respectivamente 81 e 35% menores em relação à ureia convencional. Nesse mesmo sentido, CHENG et al. (2002) e BANDYOPADHYAY & SAKAR (2005),

também observaram menores emissões de  $N_2O$  com o emprego de ureia de liberação gradual nas culturas de trigo, couve chinesa e arroz irrigado, respectivamente.

Quanto a volatilização de amônia, em estudo conduzido na cultura do milho, PEREIRA et al. (2009) observaram que os tratamentos com ureia revestida com polímero de liberação lenta e ureia revestida com inibidor de urease proporcionaram redução de aproximadamente 50% na volatilização de  $NH_3$  em relação à ureia comum, tanto na primeira quanto na segunda cobertura nitrogenada. Foi demonstrado que o revestimento da ureia e o inibidor da urease foram eficientes na redução da volatilização do N-ureia aplicados em cobertura, o que refletiu em maiores produtividades.

WILSON, ROSEN & MONCRIEF (2009) também relatam menores concentrações de  $NO_3^-$  em amostras de solo, quando utilizado ureia de liberação gradual em relação ao tratamento onde foi aplicado N solúvel.

Em relação à eficiência de fertilizantes revestidos em culturas agrícolas, CHENG et al. (2002), verificaram que a utilização de ureia recoberta contribuiu positivamente no peso de plantas de repolho quando comparado com tratamentos em que foi utilizada ureia convencional, além de ter possibilitado redução de até 20% na dose recomendada, aumentando sua eficiência.

Os fertilizantes de liberação gradual ou controlada contém o nutriente (normalmente nitrogênio) em uma forma que depois da aplicação demora significativamente mais tempo para disponibilizar o nutriente para a absorção da planta, comparada a um fertilizante comum, ou seja, o nitrogênio será disponível de acordo com o crescimento da planta. A liberação de nutrientes em fertilizantes revestidos fica dependente da temperatura e da permeabilidade da membrana a água (TRENKEL, 2007).

#### **2.2.4 Adubação nitrogenada na produção de hortaliças**

O fornecimento de nitrogênio às plantas via adubação mineral funciona como complementação à capacidade de seu suprimento pelo solo, a partir da mineralização (MALAVOLTA et al., 1997). Essa complementação é necessária, pois quando ocorre à falta de nitrogênio no solo as hortaliças crescem e produzem menos e suas folhas ficam cloróticas. Por outro lado, quando há

excesso de N no solo, a planta vegeta excessivamente, produz menos frutos, apresenta menos raízes, transpira demasiadamente, ficando sujeita à seca e ao ataque de pragas e moléstias (MALAVOLTA et al., 2002).

O conhecimento das necessidades nutricionais da planta, bem como sua resposta à aplicação de fertilizantes, é de fundamental importância para otimizar sua produção (SCIVITTARO et al., 2004).

A qualidade final de um produto agrícola é resultado de diversos fatores, sendo que o fornecimento de nutrientes à cultura pode influenciar a composição química dos vegetais e, conseqüentemente, sua qualidade biológica (ZAGO et al., 1999; BERNARDI et al., 2005).

Na adubação nitrogenada de hortaliças devem ser consideradas as exigências da cultura, de acordo com o clima e com a idade da planta, pois a cultura precisa de níveis diferentes do nitrogênio que vai depender do seu estágio de desenvolvimento (MALAVOLTA et al., 1997). O fornecimento adequado do nitrogênio permite o crescimento vegetativo, expansão da área fotossintética, além de ativar e elevar a produtividade da cultura (CARDOSO & HIRAKI, 2001; FILGUEIRA, 2008).

### **2.2.5 Nitrogênio na produção da alface**

Na alface, o nitrogênio promove um bom desenvolvimento vegetativo, sendo este dirigido preferencialmente para as partes fotossinteticamente mais ativas da planta, por isso o mesmo é encontrado geralmente em maiores quantidades em suas folhas (TAVARES & JUNQUEIRA, 1999).

A deficiência do nitrogênio desencadeia diversos distúrbios, podendo retardar o crescimento da planta, induzir ausência ou má formação de cabeça, amarelecimento das folhas mais velhas, entre outros. No entanto, se aplicado em excesso e não for lixiviado, principalmente no último terço do ciclo, as cultivares que formam cabeças não são suficientemente rígidas para o transporte (PEREIRA et al., 2003).

Por ser uma olerícola folhosa herbácea, a alface tem respondido bem às adubações nitrogenadas, sendo verificados freqüentemente aumentos na produção e melhorias no aspecto comercial (LEDO et al., 2000; FILGUEIRA, 2003). Entretanto, uma boa produção também deve estar relacionada com

outros fatores, como a qualidade nutricional do produto final, e não unicamente com sua aparência externa. Verifica-se que os resultados disponíveis na literatura para a adubação nitrogenada da alface são bastante variáveis, em decorrência principalmente das diferentes condições ambientais em que os trabalhos são realizados.

Para a alface tipo lisa, TOMPSON & DOERGE (1996) verificaram máxima produtividade agrônômica quando utilizaram a dose de 165 kg ha<sup>-1</sup> de N. Em contraste, MCPHARLIN et al. (1995), em experimento realizado na Austrália empregando doses crescentes de N de (0 a 550 kg ha<sup>-1</sup>) sobre o cultivo sucessivo da alface, verificaram que a máxima produção de massa fresca da parte aérea foi obtida nas doses de 288 e 344 kg ha<sup>-1</sup> de N, para o primeiro e segundo ano, respectivamente.

MANTOVANI et al. (2005), em experimento realizado em Jaboticabal com o intuito de avaliar o efeito da adubação nitrogenada sobre diferentes cultivares (Lucy Brown, Tainá, Vera, Verônica e Elisa), verificaram que a máxima produtividade agrônômica foi obtida através da aplicação de doses que variaram de 136 (Tainá) a 190 (Elisa) kg ha<sup>-1</sup> de N, resultados que se demonstraram bastantes variáveis entre as cultivares avaliadas.

RESENDE et al. (2005 a), em experimento realizado no município de Três Pontas em Minas Gerais utilizando a cultivar Raider, observaram efeito quadrático na produção com a elevação das doses de N, sendo as máximas produções totais (763,2 g planta<sup>-1</sup>) e comerciais (450,1 g planta<sup>-1</sup>) observadas nas doses de 146,9 e 149,1 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

### **2.2.6 Eficiência do uso do fertilizante nitrogenado**

Dentre as várias fontes de nitrogênio utilizadas, a ureia é a mais empregada no Brasil. Isso se deve à sua alta solubilidade em água, a adequada assimilação dos produtos de sua hidrólise pelas plantas e ao teor de N no fertilizante (45% N), o que favorece o transporte, estocagem, manuseio e a aplicação no campo, no solo ou por via foliar (CANTARELLA, 1992).

A baixa eficiência de recuperação aliada às doses relativamente altas dos adubos que são aplicadas no solo tem nos últimos anos gerado preocupação crescente com respeito à poluição ambiental, que é proveniente

do manejo inadequado da fertilização nitrogenada, podendo ocorrer à contaminação dos recursos hídricos por nitrato e a emissão de óxido nitroso para atmosfera (AMADO, MIELNICZUK & AITA, 2002).

As perdas de N ocorridas pelo manejo inadequado da ureia também tem elevado o custo de produção nos diferentes sistemas. Em levantamento realizado por RAUN & JOHNSON (1999), se for considerado que em média 67% do N que são aplicados ao sistema de produção agrícola não são aproveitados pelas plantas, tem-se uma perda anual de 15,9 bilhões de dólares em fertilização nitrogenada. O aumento da eficiência no uso do fertilizante nitrogenado pode ser alcançado por meio da rotação de culturas, melhoramento genético, uso de sistemas conservacionistas, mapeamento de solo, uso da agricultura de precisão, e práticas de manejo do fertilizante como incorporação, diminuição e parcelamento das doses aplicadas, assim como a mistura de fontes nitrogenadas (RAUN & JOHNSON, 1999).

A incorporação da ureia ao solo consiste num eficiente método para diminuição das perdas de N por volatilização, já que esta se encontra em subsuperfície diminuindo, dessa maneira, as perdas de N em formas gasosas (CANTARELLA, 1993; LARA CABEZAS, KORNDORFER & MOTTA, 1997).

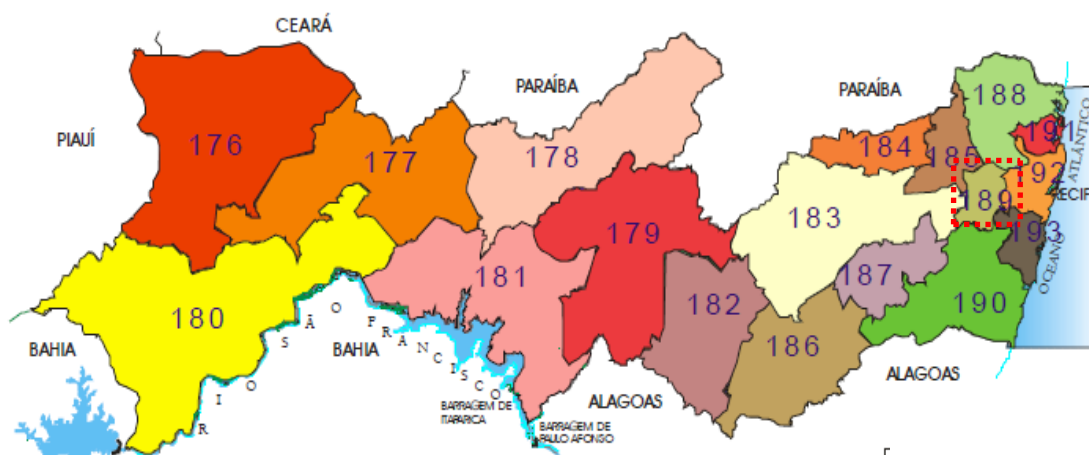
Dessa maneira uma das práticas realizadas para otimização do uso do N-fertilizante, é a aplicação de menores doses de N por meio do parcelamento da adubação nitrogenada, sendo essa relatada como eficiente para os autores (DUETE, 2000; GOMES et al., 2007).

A nova geração de fertilizantes nitrogenados vem sendo desenvolvida e utilizada no fornecimento de N de algumas culturas. Estes proporcionam suprimento gradativo de nutrientes durante todo o estágio fenológico da cultura aumentando a sua eficiência (FERNANDES-ESCOBAR et al., 2004).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área experimental

Este trabalho foi conduzido na Empresa Hortaliças Center, localizada em Chã Grande, Mesorregião da Zona da Mata Pernambucana e Microrregião Vitória de Santo Antão (Figura 1). O município está situado nas coordenadas geográficas 08°14'18" de latitude sul e 35°27'42" de longitude oeste, com altitude de aproximadamente 470 metros. O clima da região é definido como tropical chuvoso com verão seco, (As'), segundo a classificação de Koppen, com temperatura média anual de 22,6°C e precipitação média anual de 1309,9 mm/ano (CPRM, 2005). A base econômica da cidade é fundamentalmente a agricultura, com forte tradição no plantio de hortaliças como, chuchu, alface, dentre outras. O município é um dos maiores produtores de hortaliças do Estado.



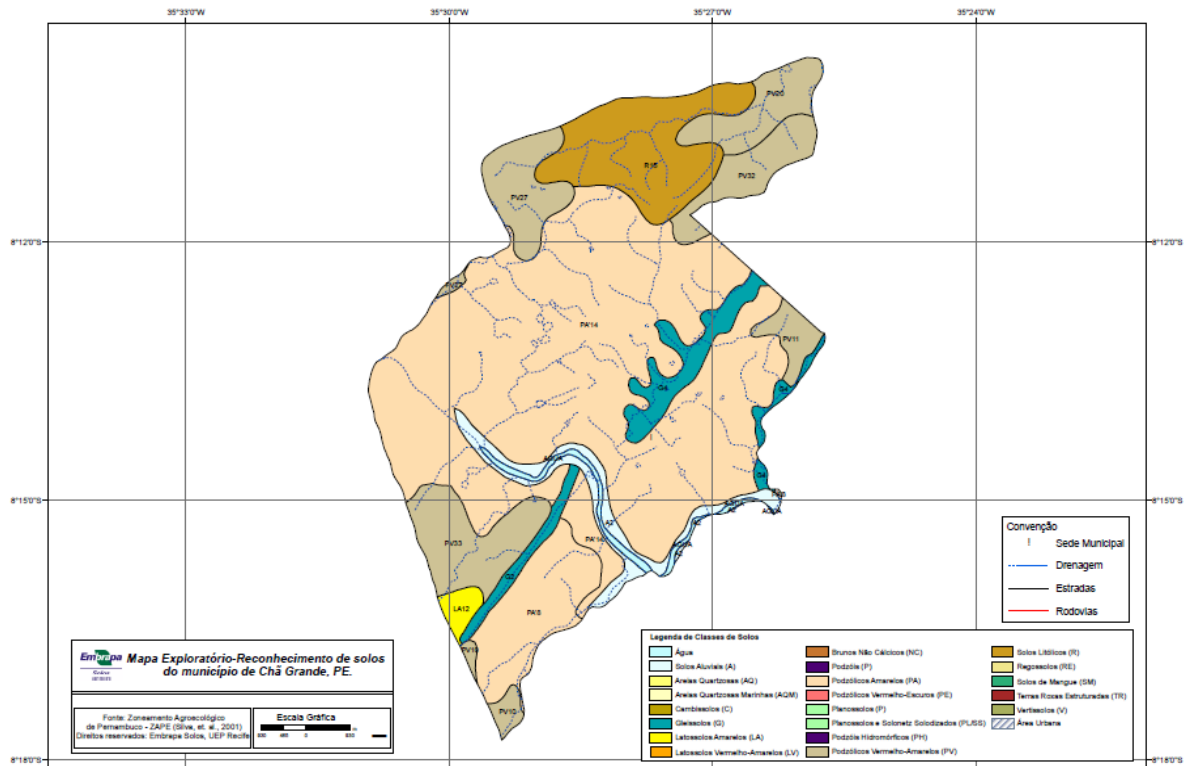
**Figura 1.** Mapa do Estado de Pernambuco com destaque para a Microrregião Vitória de Santo Antão

#### 3.2 Caracterização física e química do solo

A amostra representativa (amostra composta) da área experimental foi obtida pela mistura de 20 amostras simples, coletadas por meio de gradagem. A camada de amostragem foi de 0 - 20 cm de um solo classificado como Argissolo Amarelo (Figura 2), segundo classificação do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE (SILVA et al., 2001). O material coletado



foi conduzido para o Laboratório de Mecânica do Solo e Aproveitamento de Resíduo da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), posteriormente foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2 mm, seguindo a metodologia da EMBRAPA (1997).



**Figura 2.** Mapa exploratório de reconhecimento de solos do município de Chã Grande - PE

A granulometria foi obtida, pelo método do densímetro de Boyoucos; a densidade de partículas ( $D_p$ ), pelo método do balão volumétrico, utilizando álcool etílico absoluto; a densidade do solo ( $D_s$ ), pelo método do torrão parafinado; a condutividade hidráulica saturada, através do método de laboratório com amostra deformada, utilizando o manual de métodos de análises de solo (EMBRAPA, 1997).

O pH foi determinado em água na relação 1:2,5 (solo : água); a matéria orgânica pelo método Walkey-Blacky modificado; o fósforo, potássio, cobre, ferro, manganês e zinco pelo método da solução extratora Mehlich-1; o alumínio, cálcio e magnésio extraídos com solução extratora de KCl, segundo o manual da (EMBRAPA, 1997).

As análises físicas e químicas do solo foram realizadas, em Recife - PE, no Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA) e no Laboratório de Fertilidade do solo da Consultoria & Projetos (LABFERT). Os resultados das análises encontram-se na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características físicas e químicas do solo utilizado no experimento, antes da aplicação dos tratamentos

<b>Parâmetros químicos</b>	<b>Resultados</b>
pH	6,00
P (mg/dm <sup>3</sup> )	218,00
K (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,17
Zn (mg/dm <sup>3</sup> )	0,99
Cu (mg/dm <sup>3</sup> )	0,54
Fe (mg/dm <sup>3</sup> )	215,00
Mn (mg/dm <sup>3</sup> )	17,50
H (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,04
Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,20
Ca (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	3,10
Mg (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,96
SB (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>1</sup>	4,23
CTC (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>2</sup>	6,47
V (%) <sup>3</sup>	65,37
M.O (%) <sup>4</sup>	5,06
<b>Parâmetros físicos</b>	<b>Resultados</b>
Areia (%)	69,00
Silte (%)	11,00
Argila (%)	20,00
Ko (mm/h) <sup>5</sup>	45,12
Dp (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>6</sup>	2,55
Ds (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>7</sup>	1,43
Porosidade (%)	44,00
Classe textural	Franco - Arenosa

<sup>1</sup> SB: soma de bases trocáveis; <sup>2</sup> CTC: capacidade de troca catiônica efetiva; <sup>3</sup> V: índice de saturação de bases; <sup>4</sup> MO: matéria orgânica; <sup>5</sup> Ko: condutividade hidráulica saturada; <sup>6</sup> Dp: densidade das partículas; <sup>7</sup> Ds: densidade do solo.

### 3.3 Caracterização física e química da água de irrigação

A água usada na irrigação da alface foi proveniente do Rio Vertentes, localizado próximo à área experimental da presente pesquisa.

A análise de qualidade da água foi realizada, em Recife - PE, no laboratório de Análises Ambientais Ltda (AGROLAB), seguindo a metodologia, (STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 2012). Os resultados da análise encontram-se na (Tabela 2).

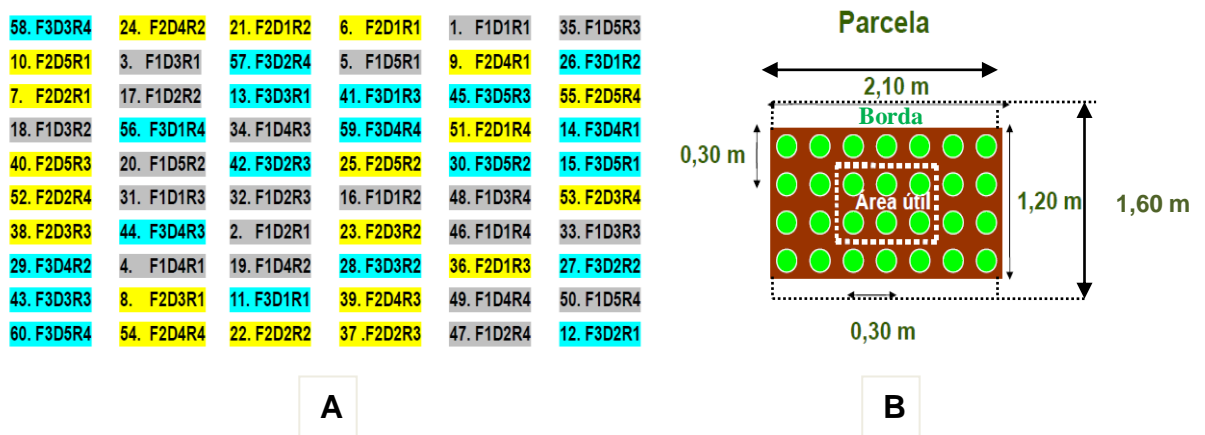
**Tabela 2.** Características físicas e químicas da água de irrigação usada no experimento (água coletada no Rio Vertentes)

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>
Condutividade elétrica (dS/m a 25°C)	0,08
pH	6,40
Amônia em NH <sub>3</sub> (mg/L)	< 0,04
Nitrato em N (mg/L)	< 0,05
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	43,00
Sólidos totais em suspensão (mg/L)	< 1
Cálcio (mmol/L)	0,15
Magnésio (mmol/L)	0,10
Sódio (mmol/L)	0,45
Potássio (mmol/L)	0,01
Cloreto (mmol/L)	0,51
Sulfato (mmol/L)	0,00
Carbonato (mmol/L)	0,00
Bicarbonato (mmol/L)	0,19
Dureza total em CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	12,3
Alcalinidade de hidróxidos em CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	0,00
Alcalinidade de carbonato em CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	0,00
Alcalinidade de bicarbonato em CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	9,50
Alcalinidade total em CaCO <sub>3</sub> (mg/L)	9,5
Ferro total (mg/L)	1,54
Fosfato em P (mg/L)	0,10
Manganês (mg/L)	< 0,005
RAS (relação de adsorção de sódio)	1,28
CRS (carbonato de sódio residual)	Negativo
Classe	C1S1

### 3.4 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em um delineamento experimental inteiramente casualizados, com esquema fatorial 3 x 5 (três fontes de

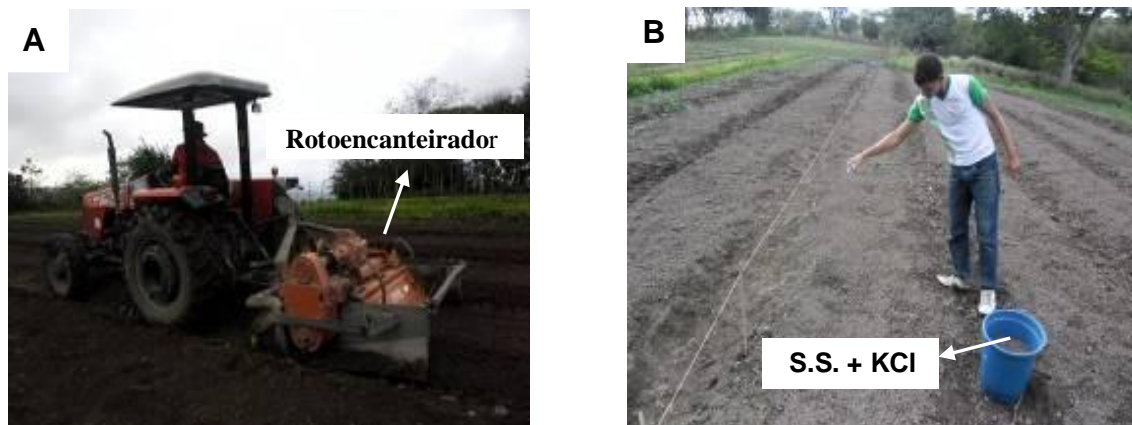
nitrogênio, e cinco doses de adubo nitrogenado), com quatro repetições, totalizando 60 parcelas (Figura 3A). As fontes de N utilizadas foram: (F1) Ureia Convencional; (F2) Sulfato de Amônio, ambos de liberação rápida e (F3) Nitrogênio Revestido de liberação gradual, de nome comercial Sulfammo Meta Full 29. As cinco doses de adubação nitrogenada foram: (D1) 0; (D2) 50; (D3) 100; (D4) 150 e (D5) 200 Kg de N ha<sup>-1</sup>. Cada parcela experimental foi representada por um canteiro de 3,36 m<sup>2</sup> de área (1,60 m x 2,10 m), com 28 plantas espaçadas em 0,30 x 0,30 m, sendo que a área útil foi representada pelas 06 plantas centrais (Figura 3B).



**Figura 3.** Croqui da área experimental (A). Detalhe das plantas úteis da parcela (B)

### 3.5 Preparo do solo e adubação de pré-plantio

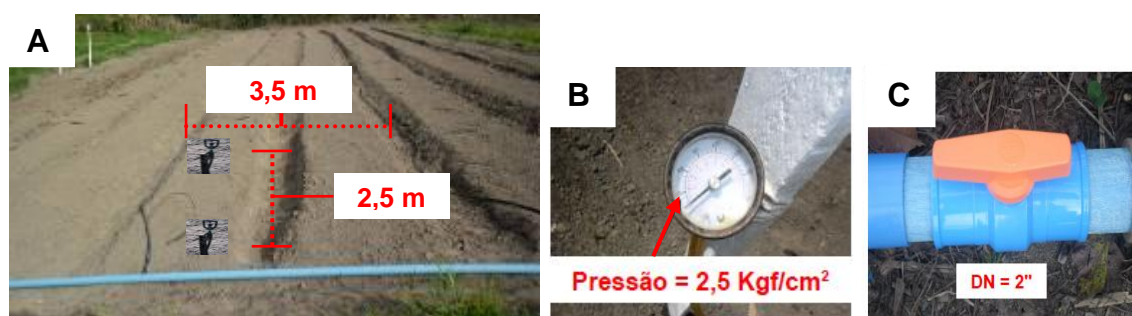
Os canteiros foram preparados com o uso de rotoencanteirador acoplado ao trator (Figura 4A) e foram construídos com as dimensões de 1,60 m de largura por 2,10 m de comprimento e 0,25 m de altura. Com base nos resultados da análise química do solo e utilizando o manual de RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO PARA O ESTADO DE PERNAMBUCO (2008) foi realizada a adubação de pré-plantio, com as fontes de fósforo (superfosfato simples), 333,33 Kg ha<sup>-1</sup> e de potássio (cloreto de potássio), 103,45 Kg ha<sup>-1</sup> (Figura 4B).



**Figura 4.** Preparo dos canteiros com rotoencanteirador (A). Adubação de pré-plantio com superfosfato simples e cloreto de potássio (B)

### 3.6 Montagem e avaliação do funcionamento do sistema de irrigação

No experimento foi utilizado o sistema de irrigação por microaspersão. Após o dimensionamento e montagem do sistema foi instalado na linha principal um manômetro para medir a pressão manométrica e um registro globo para o controle da vazão (Figura 5B e C). Os microaspersores montados nas linhas laterais apresentavam vazão de 57 L/h na pressão de serviço de 2,5 kg/cm<sup>2</sup> e obedeceram ao espaçamento adotado de 3,5 x 2,5 m (entre linhas laterais x microaspersores), conforme (Figura 5A).



**Figura 5.** Montagem do sistema de irrigação por microaspersão (A). Manômetro (B). Registro tipo globo (C)

A determinação da uniformidade de distribuição de água, para o sistema de irrigação por microaspersão, baseou-se na metodologia proposta por BERNARDO et al. (2008), para a irrigação localizada.

Os coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (1942) (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e eficiência de aplicação (EA) foram obtidos utilizando as seguintes Equações 1, 2 e 3.

$$CUC = \left[ 1 - \frac{\sum_i^N |q_i - \bar{q}|}{N \times \bar{q}} \right] \quad (1)$$

em que,

CUC = Coeficiente de uniformidade de Chistiansen, %;

$q_i$  = Vazão de cada emissor, L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$  = vazão média dos emissores, L h<sup>-1</sup>;

N = número de emissores

$$CUD = 100 \times \frac{q_n}{q} \quad (2)$$

em que,

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição, %;

$q_n$  = médias de 25% das vazões com os menores valores;

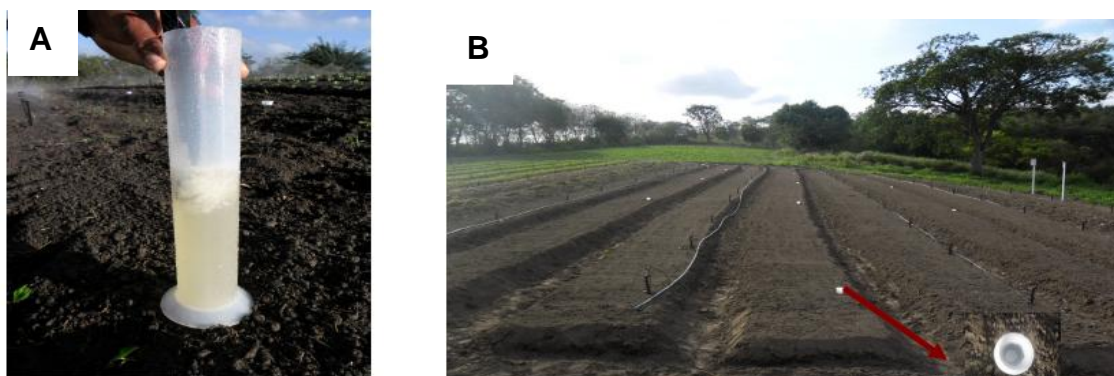
$q$  = média de todas as vazões coletadas.

$$EA = 0,9 \times CUD \quad (3)$$

em que,

EA = eficiência de aplicação, %.

Teste do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (Figura 6A) e do coeficiente de uniformidade de aplicação (Figura 6B).



**Figura 6.** Teste do coeficiente de uniformidade de distribuição (A). Teste do Coeficiente de uniformidade de aplicação (B)

Na (Tabela 3) apresentam-se as variáveis, coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e eficiência de aplicação (EA) relacionadas a avaliação do funcionamento do sistema de irrigação por microaspersão.

**Tabela 3.** Avaliação do funcionamento do sistema de irrigação

Variáveis avaliadas	(%)
CUC <sup>1</sup>	92,11
CUD <sup>2</sup>	93,95
Ea <sup>3</sup>	87,04

<sup>1</sup> CUC: coeficiente de Christiansen; <sup>2</sup> CUD: coeficiente de uniformidade de distribuição; <sup>3</sup> Ea: eficiência de aplicação.

Segundo informações obtidas por MANTOVANI & RAMOS (1994), os valores de CUC na irrigação localizada devem estar situados entre 90 a 95%. Com o percentual de 92,11% obtido no teste é possível concluir que o sistema estava operando dentro dos limites recomendados.

De acordo com MERRIAM & KELLER (1978), um sistema de irrigação em perfeito funcionamento deve apresentar percentual de CUD superior a 90%. Com base nesta norma, o percentual de 93,95% para o CUD comprova que sistema operou com boa performance.

Para eficiência de aplicação, KELLER & BLIESNER (1990) sugerem percentuais próximos de 80%. A partir da informação dos pesquisadores, pode

confirmar que o percentual de 87,04%, registrado no teste de campo, indica a alta eficiência de aplicação de água.

### 3.7 Determinação da curva de retenção de água no solo

De acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997) foram coletadas amostras de solos indeformadas com o auxílio de anéis na camada de 0 - 20 cm. Os anéis coletados em campo foram enviados ao laboratório, em seguida as amostras foram colocadas na panela de Richards onde foram submetidas às diferentes tensões de 10, 33, 100, 500, 1000 e 1500 kpa até cessar totalmente a drenagem da água contida nos poros. Os valores medidos de umidade em função dos diferentes potenciais mátricos foram representados na curva característica de retenção de água no solo.

A curva de retenção permite calcular a quantidade de água que o solo pode reter dentro de determinados limites de potenciais matriciais. Esta determinação é de suma importância, visto que a resposta das plantas está relacionada mais diretamente ao potencial matricial de água no solo, do que simplesmente ao teor de água.

Com o auxílio da curva característica de retenção de água no solo foi determinada a umidade do solo para as diferentes tensões (Tabela 4).

**Tabela 4.** Curva característica de retenção de água no solo utilizado no experimento

<b>Tensão (Kpa)</b>	<b>Umidade volumétrica (cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)</b>
10	0,2431
33	0,2145
100	0,1859
500	0,1573
1000	0,1144
1500	0,1001



### 3.8 Instalações dos tensiômetros e determinação da umidade no solo

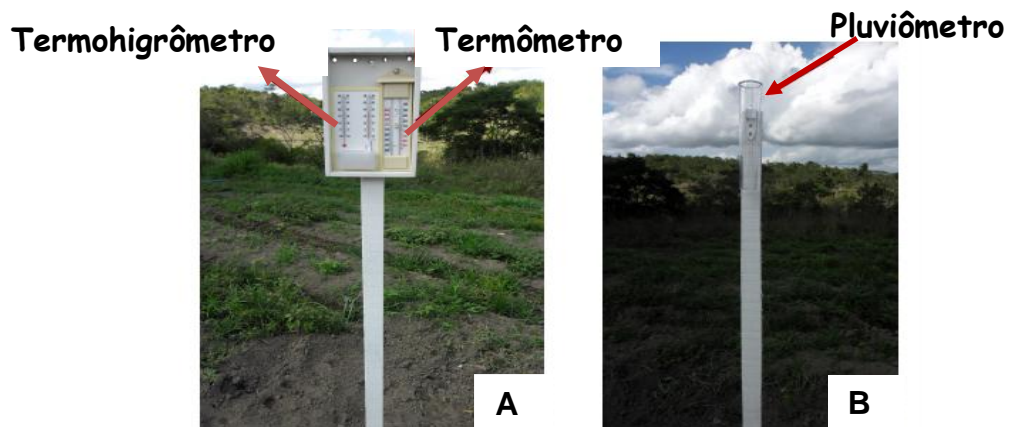
Um total de seis tensiômetros com vacuômetro (Figura 7) foram instalados em locais diferentes da área experimental para monitoramento da umidade do solo. Os aparelhos foram colocados na profundidade de 10 cm, pois é a zona de maior atividade das raízes da cultura da alface. Com o auxílio da curva de retenção de água no solo foi determinada a umidade volumétrica em ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) do solo em condições de campo através das leituras de potencial mátrico em (kpa) obtidas diariamente com o uso dos tensiômetros.



**Figura 7.** Vista do tensiômetro com vacuômetro da marca SONDATERRA, usado na determinação direta do potencial mátrico do solo em (kpa)

### 3.9 Temperatura, umidade relativa do ar e precipitação

Durante a condução do experimento da alface foram realizadas medições diárias da temperatura máxima, mínima e de bulbo seco e úmido, com o auxílio do termômetro e termohigrômetro (Figura 8A). A lâmina precipitada em  $\text{mm dia}^{-1}$  foi obtida com o uso de pluviômetro (Figura 8B). Os instrumentos foram instalados a uma altura de 1,50 m em relação ao nível do solo.



**Figura 8.** Termohigrômetro analógico de bulbo seco e úmido da marca INCOTERM e termômetro de máxima e mínima da marca INCOTERM (A). Pluviômetro de plástico 150 mm da marca INCOTERM (B).

### 3.10 Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e evapotranspiração potencial da cultura ( $ET_{pc}$ )

A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método climático de HARGREAVES SAMANI (1985), utilizando a equação 4:

$$ET_o = \sqrt{((0,0023 \times Q_o \times (T_{m\acute{a}x} - T_{m\acute{i}n})) \times (T_{m\acute{e}d} + 17,8))} \quad (4)$$

em que,

$Q_o$  = radiação solar global extraterrestre ( $\text{mm dia}^{-1}$ )

$T_{m\acute{a}x}$  = temperatura máxima diária ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{m\acute{i}n}$  = temperatura mínima diária ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{m\acute{e}d}$  = temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ )

A evapotranspiração da cultura foi determinada pela equação 5 a seguir:

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (5)$$

Em que:

$E_{To}$  = evapotranspiração de referência ( $\text{mm dia}^{-1}$ )

$E_{Tc}$  = evapotranspiração da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ )

$K_c$  = coeficiente da cultura (adimensional)

Os valores de Coeficiente da cultura ( $K_c$ ) para as fases de desenvolvimento da alface apresentam-se na (Tabela 5).

**Tabela 5.** Coeficientes da cultura ( $K_c$ ) dos estágios fenológicos da alface

FASE	$K_c$
Estádio I <sup>1</sup>	0,50
Estádio II <sup>2</sup>	0,70
Estádio III <sup>3</sup>	0,95

<sup>1</sup> Estádio I : da emergência até 10% da fase vegetativa, <sup>2</sup> Estádio II: final do estágio I até 80% do desenvolvimento vegetativo; <sup>3</sup> Estádio III: da fase final do estágio II até o início da maturação  
Fonte: adaptado por ALLEN et al. (1998) e MAROUELLI (2008).

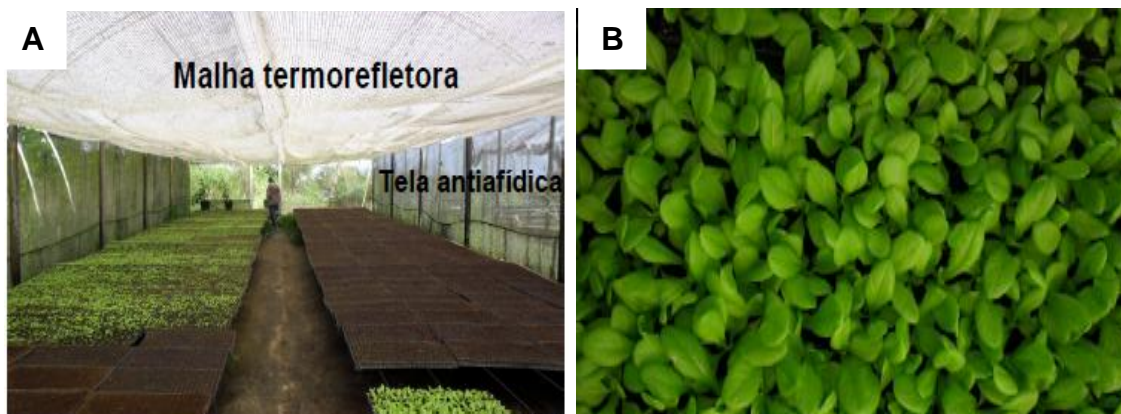
### 3.11 Manejo da irrigação por microaspersão

No manejo da irrigação da cultura da alface foi adotado turno de rega constante, com frequência diária, mantendo a umidade do solo na capacidade de campo. As lâminas de irrigação foram calculadas pelo método climático de HARGREAVES SAMANI (1985). Para o cálculo de determinação da lâmina bruta de irrigação foi considerada a eficiência de aplicação do sistema de 87,04%. O método tensiométrico escolhido para determinação de umidade no solo foi usado para validar o método climático.

### 3.12 Cultivar utilizada, preparo das mudas e transplântio

Foi utilizada a cultivar de alface (*Lactuca sativa* L.), cuja denominação comercial é "Vitória de Santo Antão". As mudas da cultura foram obtidas por semeadura mecanizada em bandeja de poliestireno, com 200 células. No enchimento das células das bandejas foi utilizado substrato de fibra de côco e composto orgânico. Após a semeadura as bandejas foram transportadas para o viveiro de produção de mudas (Figura 9A). O transplântio para os canteiros foi

realizado quando as plantas apresentaram quatro folhas definitivas, após 25 dias da semeadura (Figura 9B).



**Figura 9.** Viveiro de produção de mudas (A). Mudas de alface da cultivar Vitória de Santo Antão após 25 dias da semeadura (B)

### 3.13 Aplicações dos tratamentos

As aplicações dos tratamentos nas quantidades apresentadas na (Tabela 6) com as fontes ureia ( $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ) (45% de N), sulfato de amônio ( $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ ), (21 % de N e 24% de enxofre) e nitrogênio revestido, de nome comercial Sulfammo Meta Full 29 (fonte de nitrogênio na forma amídica e nítrica revestido com carbonato de cálcio e magnésio de origem marinha) (29% de N, 5% Ca, 2% de Mg, 9% de S, 0,3% de B) foram realizadas em duas coberturas a lanço na superfície aos 10 e 20 dias após o transplante das mudas de alface (Figura 10A e B).

**Tabela 6.** Percentual de nitrogênio nos fertilizantes e quantidade dos adubos aplicados em duas coberturas para fornecimento de 100 Kg de N  $\text{ha}^{-1}$ .

Adubo	Percentual de N (%)	Quantidade (Kg de adubo $\text{ha}^{-1}$ )
Ureia	45,00	222,23
Sulfato de amônio	21,00	476,19
Nitrogênio revestido	29,00	344,83



**Figura 10.** Adubação em cobertura a lanço na superfície aos 10 (A) e 20 (B) dias do transplântio das mudas de alface

### **3.14 Condução e colheita das plantas**

Para a condução da cultura foram realizados tratos culturais como, capinas com a finalidade de manter a cultura livre de plantas invasoras e controle preventivo de pragas e doenças. A colheita da alface ocorreu aos 55 dias da sementeira (Figura 11), quando as plantas apresentavam o máximo desenvolvimento e sem incidência de pendoamento, indicando o ponto de colheita comercial.



**Figura 11.** Colheita da alface no final do ciclo vegetativo aos 55 dias da sementeira

### **3.15 Variáveis biométricas de crescimento**

#### **3.15.1 Diâmetro das Plantas (DP)**

O diâmetro da planta foi determinado no final do ciclo da alface, utilizando-se paquímetro e régua. O DP foi obtido através da média de dois diâmetros perpendiculares da parte aérea, das seis plantas úteis da parcela.

#### **3.15.2 Altura das Plantas (AP)**

A altura das plantas (AP) foi obtida na fase final do estágio vegetativo da cultura utilizando-se régua, sendo tomado como base o colo da planta, e o ápice da folha mais alta, com as seis plantas da área útil.

#### **3.15.3 Biomassa Fresca da Parte Aérea (BFPA)**

A BFPA foi determinada por meio de pesagem, imediatamente após a colheita das plantas e retirada das raízes, expressa em  $\text{g planta}^{-1}$ , utilizando as seis plantas centrais da parcela.

#### **3.15.4 Biomassa Seca da Parte Aérea (BSPA)**

A BSPA foi obtida após acondicionamento da biomassa fresca da parte aérea em estufa ventilação forçada a  $65^{\circ}\text{C}$ , durante um período de 72 h, até massa seca constante, expressa em  $\text{g planta}^{-1}$ .

#### **3.15.5 Produtividade Agronômica (PRODA)**

A PRODA foi obtida ao multiplicar a biomassa fresca da parte aérea pela população de plantas presentes em área equivalente à área útil, expressa em  $\text{t ha}^{-1}$ , segundo BENINCASA (2003).

### **3.15.6 Área Foliar (AF)**

A área foliar foi obtida com o uso de papel milimetrado, através do contorno de seis folhas coletadas das plantas úteis das parcelas experimentais. A área média estimada das seis folhas coletadas foi relacionada à biomassa seca da parte aérea para determinação da área foliar total da planta.

### **3.15.7 Taxa de Crescimento Absoluto (TCA)**

De acordo com BENINCASA (2003) a TCA foi determinada pelo incremento de massa seca das folhas entre duas amostras coletadas na fase transplântio (seis mudas das bandejas) e na fase de colheita (seis plantas úteis das parcelas) no intervalo de 30 dias, expressa em  $\text{g dia}^{-1}$ .

### **3.15.8 Índice de Área Foliar (IAF)**

Calculado pela razão entre a área foliar total por unidade de área do terreno (BENINCASA, 2003).

### **3.15.9 Taxa Assimilatória Líquida (TAL)**

Obtida pela razão entre o incremento de matéria seca das amostras de folhas coletadas por unidade de área foliar, expressa em  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ , segundo a metodologia de (BENINCASA, 2003).

## **3.16 Variáveis químicas observadas no solo após o plantio**

### **3.16.1 pH em água**

A acidez ativa do solo foi determinada através da relação de solo: água 1: 2,5. Para determinação do pH uma quantidade de  $10 \text{ cm}^3$  de solo de (TFSA) foi misturada com  $25 \text{ cm}^3$  de água destilada. Essa mistura foi agitada e deixada em repouso por uma hora. A leitura do pH foi realizada num aparelho

conhecido como potenciômetro, o qual mede diferença de voltagem entre dois eletrodos (EMBRAPA,1997).

### **3.16.2 Alumínio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, cobre, zinco e manganês**

Uma solução extratora concentrada de KCl foi usada para deslocar e manter em solução os íons adsorvidos no complexo de troca, posteriormente o alumínio é determinado por titulação segundo a EMBRAPA (1997). O titulador utilizado foi o hidróxido de sódio e o indicador foi a fenolftaleína. O indicador é incolor em soluções ácidas, mas se torna rosa em meio alcalino. Ao se gotear a solução de NaOH no extrato, as hidroxilas reagem com alumínio formando hidróxido de alumínio que é insolúvel. Quando todo alumínio foi consumido, a última gota de NaOH alcalinizou o extrato e a fenolftaleína se tornou rosa indicando o final da reação.

O extrator químico Mehlich-1 foi utilizado para deslocar o fósforo do complexo de troca para a solução, posteriormente o elemento foi obtido por espectrofotometria de absorção molecular. Para a quantificação do teor de fósforo extraído foi utilizado um processo analítico chamado de colorimetria, o qual se baseia na formação de uma solução com composto colorido do qual faz parte o elemento que se quer analisar. Quanto maior for a quantidade do elemento presente no extrato, mais composto colorido é formado, conforme metodologia da (EMBRAPA, 1997).

A determinação de potássio foi feita com o uso do mesmo extrato obtido para o fósforo. A quantificação deste elemento no extrato foi realizada por fotometria de chama, utilizando ainda a metodologia da EMBRAPA (1997). O aparelho atua quantificando os fótons luminosos emitidos pelos átomos de potássio excitados pelo calor de uma chama de GLP (gás comum de cozinha), que atinge temperaturas de cerca de 700°C.

Utilizou-se solução extratora de KCl para deslocar os íons alumínio, cálcio e magnésio do complexo de troca; o ferro, cobre, zinco e manganês foram deslocados do complexo sortivo pelo método da solução extratora Mehlich-1, posteriormente a quantificação dos elementos foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica (EMBRAPA,1997).



### **3.17 Variáveis químicas avaliadas nas folhas**

#### **3.17.1 Teores de nitrogênio total, fósforo e potássio foliar**

No final do experimento, após a colheita das plantas, as amostras das folhas diagnósticas das plantas úteis da parcela foram secas em estufa para determinação dos teores de nitrogênio, fósforo e potássio foliar.

A determinação de nitrogênio pelo método Kjeldahl foi realizada em três etapas, foram elas: digestão, destilação e titulação. Na digestão o nitrogênio orgânico foi mineralizado pelo ácido sulfúrico na presença de catalisadores em temperaturas elevadas, após esta fase procedeu-se a destilação na qual o nitrogênio mineralizado foi volatilizado na forma de amônia pela ação de uma base forte, em seguida foi recebido pelo ácido bórico e finalmente realizou-se a titulação para quantificar o N total. Para determinação de fósforo inicialmente a amostra foi digerida em solução de ácido nítrico e perclórico. O extrato preparado apresentou-se incolor. Para quantificar o fósforo utilizou-se o método colorimétrico, que se baseia na leitura da intensidade da cor do complexo amarelado formado da reação do fósforo com a mistura de molibdato de amônio e vanadato de amônio. O potássio foi extraído com a mesma solução utilizada para fósforo e foi quantificado por fotometria de chama (BEZERRA NETO & BARRETO, 2011).

#### **3.18 Análises estatísticas**

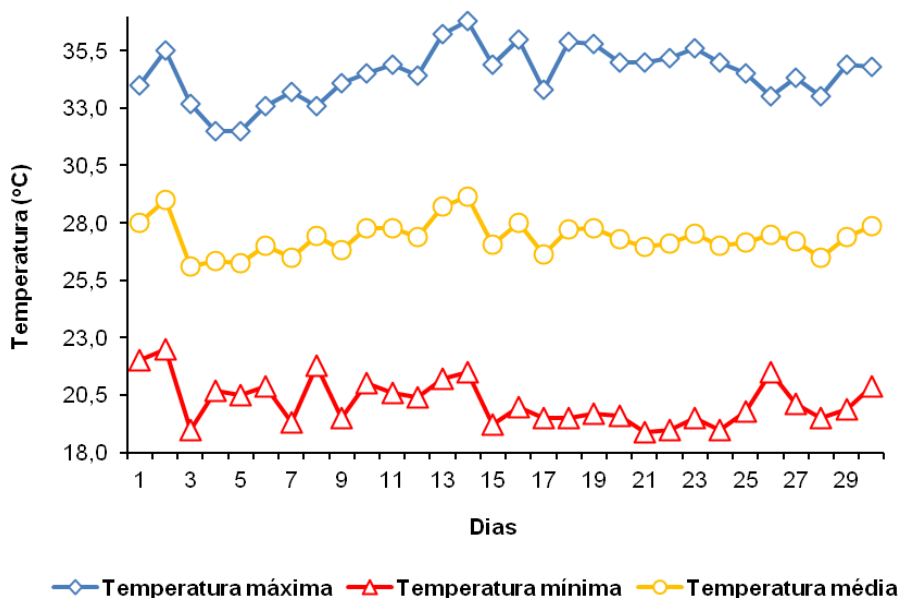
O Sistema computacional SISVAR Versão 5.3 (FERREIRA, 2008) foi utilizado nas análises estatísticas. Os dados obtidos foram submetidos à análise variância e de regressão, ao nível de até 5% de probabilidade pelo teste “F”.

Os modelos que melhor representavam os fenômenos foram selecionados em função do teste “t” de Student para testar os coeficientes de regressão, para os níveis de 0,1; 1 e 5% de significância e dos coeficientes de determinação  $R^2$ .

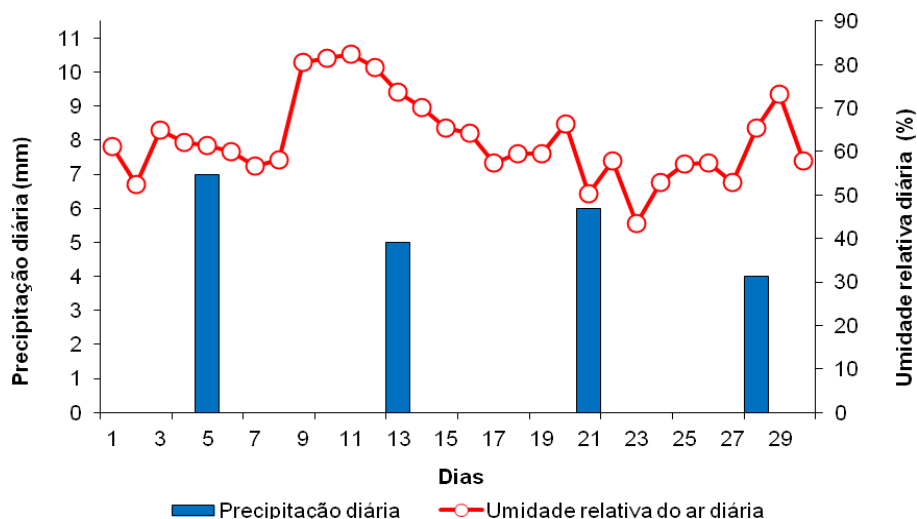
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Variáveis meteorológicas

Os resultados máximos, médios, mínimos da temperatura determinados durante período experimental foram de (33,4; 25,3; e 20,2°C) respectivamente (Figura 12). As temperaturas mínimas diárias ao longo do ciclo da alface oscilaram de 18,9 a 22,5°C, enquanto que as temperaturas máximas variaram de 32,1 a 38,4°C. As variações diárias na temperatura não causaram problemas fitossanitários na alface durante o ensaio. A umidade relativa do ar oscilou de 52,0 a 82,4%, enquanto que a precipitação máxima foi de 7,2 mm e a mínima de 4,5 mm (Figura 13), portanto não houve problemas de lixiviação de nutrientes. A cultivar selecionada para a pesquisa foi a “Vitória de Santo Antão” (resistente ao pendoamento precoce) e seu ciclo foi de 55 dias. Em trabalho realizado por FILGUEIRA (2003) foi constatado que as cultivares de verão, resistem à temperatura média de aproximadamente 25,0°C, sem emitir pendão floral. Temperaturas acima desta faixa afetam o desenvolvimento da alface, tornando-as fibrosas, diminuindo o ciclo das plantas, além de acelerar o seu florescimento. Durante a fase experimental a média da temperatura observada foi de 25,2°C, valor este aceitável pela cultivar escolhida.

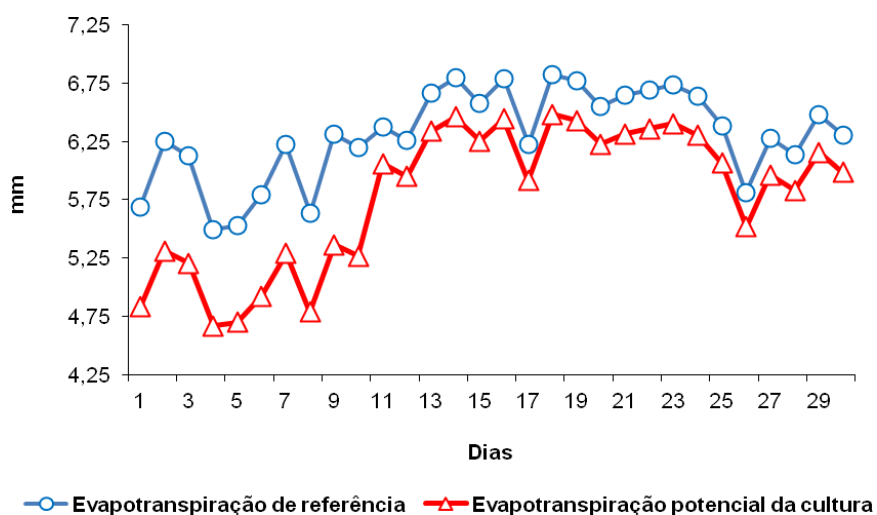


**Figura 12.** Valores máximos, médios e mínimos diários da temperatura (°C) obtidos durante o período experimental em Chã Grande - PE



**Figura 13.** Valores médios diários da umidade relativa do ar (%) e precipitação (mm) obtidos durante o período experimental em Chã Grande - PE

Para a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>pc</sub>) foram encontrados valores médios de 6,31 mm dia<sup>-1</sup>, 5,79 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente. A ET<sub>o</sub> e ET<sub>pc</sub> obtida na área experimental registraram valores mínimos de 5,67 e 4,83 mm, e máximos de 6,95 e 6,48 mm (Figura 14). Os valores encontrados para ET<sub>pc</sub> foram utilizados para o cálculo da lâmina líquida e manejo da irrigação.



**Figura 14.** Valores da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e evapotranspiração potencial da cultura (ET<sub>pc</sub>) obtidos durante o período experimental em Chã Grande - PE

## 4.2 Variáveis químicas do solo analisadas após o plantio

Os resultados apresentados na (Tabela 7) indicam que houve diferença significativa ao nível de 5 a 0,1% de probabilidade da interação do fertilizante (F) x dose (D) para as variáveis pH, alumínio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Na tabela também é possível constatar variação significativa do fator isolado F e D aos níveis de 5 a 0,1% de significância para todas as variáveis avaliadas, exceto para potássio K, no fator isolado F. Nesta tabela também encontram-se os valores dos coeficientes de variação que foram menores que 14,6% comprovando a boa precisão dos dados obtidos durante a fase experimental.

**Tabela 7.** Análise da variância para as variáveis pH, alumínio (Al), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no solo

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios					
		pH	Al	P	K	Ca	Mg
F	2	0,45**	0,09**	603,19**	0,0009 <sup>NS</sup>	0,26**	0,02**
D (kg ha <sup>-1</sup> )	4	0,31***	0,09***	11808,15**	0,003**	0,03*	0,003*
F x D	8	0,03***	0,009***	80,63*	0,0001*	0,03**	0,007**
Resíduo	45	0,004	0,001	98,71	0,00033	0,009	0,001
CV%		6,23	14,60	7,93	13,31	6,43	5,91

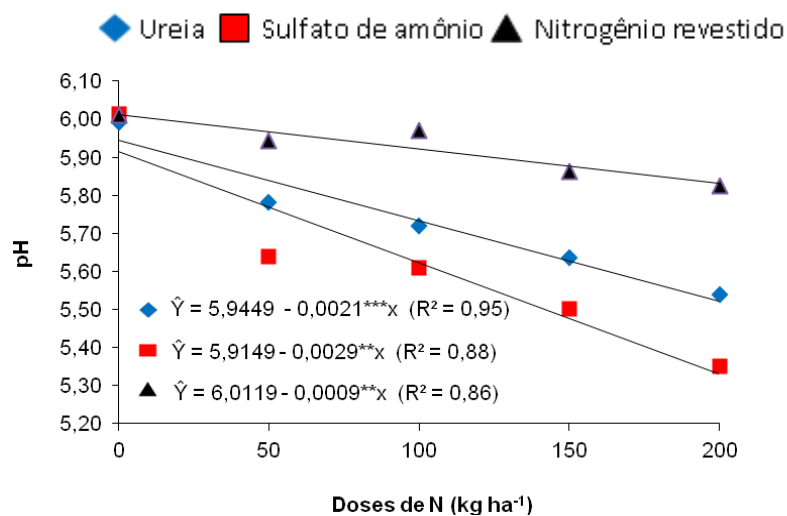
F, D, GL, CV: Fertilizante, Dose, Grau de Liberdade e Coeficiente de Variação.

\*, \*\* e \*\*\* significativos ao nível de 5, 1 e 0,1 % de significância pelo teste F.

<sup>NS</sup> Não significativo.

Para analisar o comportamento das variáveis químicas do solo em função das doses de nitrogênio foram testados modelos de regressão para as fontes de adubos no final do ciclo da alfaca. Nas equações foram admitidos parâmetros significativos de até 5% de probabilidade.

Na (Figura 15) apresenta-se a variação significativa do pH com as doses crescentes de N para as fontes de adubos. Os dados observados para a variável pH se ajustaram aos modelos de regressão linear. Os altos coeficientes de determinação oscilando de (0,86 a 0,95) comprovam que o aumento da acidez do solo pode ser explicado pelo uso de quantidades crescentes de fertilizantes, conforme efeito decrescente dos gráficos do polinômio.



**Figura 15.** Análise de regressão do pH em água do solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

A fonte de sulfato de amônio (F<sub>2</sub>) causou maior efeito acidificante no solo para todas as doses fornecidas, seguido da ureia (F<sub>1</sub>) e nitrogênio revestido (F<sub>3</sub>). Em estudo realizado por COSTA et al. (2008), foi constatado que o sulfato de amônio apresenta elevada capacidade de acidificar o solo. De acordo com esses autores, a volatilização da NH<sub>3</sub> proveniente da ureia aplicada em superfície reduz as quantidades de NH<sub>4</sub><sup>+</sup> nitrificado e conseqüentemente a formação de H<sup>+</sup>. Assim, o sulfato de amônio apresenta maior potencial de produzir íons H<sup>+</sup>.

Além disso, no solo, o sulfato de amônio [(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>] se dissocia e o sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) atua como carreador de cátions para as camadas subsuperficiais do solo. Dessa forma, a remoção de cátions das camadas superficiais promove aumento da acidificação do solo (OLIVEIRA et al., 2002).

Os valores médios de pH em água observados no solo no final da fase experimental foram equivalentes a 5,73; 5,62 e 5,92 para adubação com as fontes F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Utilizando-se os dados estimados dos modelos de regressão linear, observou-se que houve redução em 0,42 unidades ao se comparar os valores obtidos pela equação do pH na D<sub>1</sub> de (0 Kg de N ha<sup>-1</sup>) e na D<sub>5</sub> de (200 Kg de N ha<sup>-1</sup>) para a fonte F<sub>1</sub>; a aplicação de F<sub>2</sub> causou decréscimo de 0,58 unidades quando se relaciona os dados estimados na D<sub>1</sub> e na D<sub>5</sub>; enquanto

que o adubo  $F_3$  diminuiu em 0,18 unidades quando se compara os valores encontrados na  $D_1$  e na  $D_5$ .

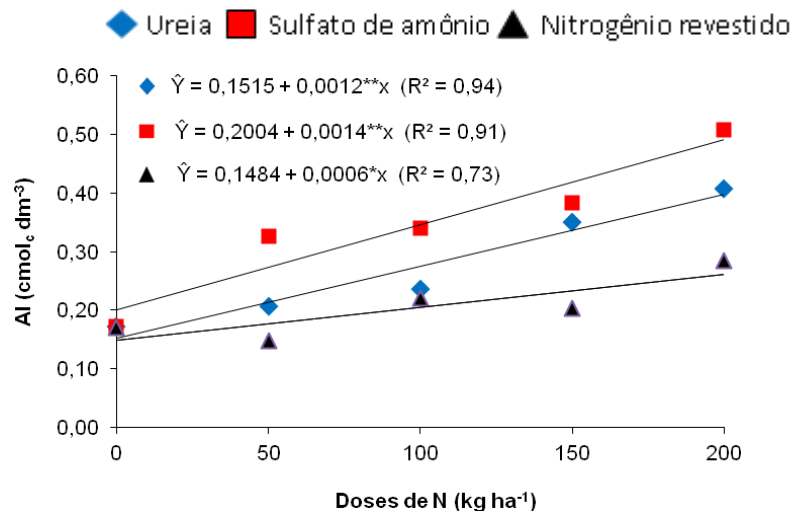
A aplicação da dose mais alta de  $F_3$  causou efeito menos pronunciado na diminuição do pH, provavelmente, por causa da composição química do fertilizante. A fonte de liberação gradual apresenta o nitrogênio, na forma amídica e nítrica, revestido com carbonato de cálcio e magnésio de origem marinha, o que pode ter reduzido a sua capacidade de acidificar a solução do solo quando comparado às demais fontes.

Com base valores estimados pelos modelos de regressão podemos concluir que a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes nitrogenados tende a acidificar mais o solo.

Os resultados da pesquisa são compatíveis aos encontrados pelos autores SOUSA & SILVA (2009) que avaliaram o efeito de fontes nitrogenadas (ureia, sulfato de amônio e nitrogênio revestido) no pH de um Latossolo Vermelho Distroférico, e obtiveram que aos 60 dias após aplicação destas houve efeito significativo no pH do solo, havendo uma maior acidificação promovida pela aplicação de sulfato de amônio, seguido pela utilização de nitrogênio revestido e ureia, com valores de pH em água de 5,06, 5,45 e 5,57, respectivamente.

Os dados do presente trabalho também concordam com os obtidos por COSTA et al. (2008), onde observaram maior acidificação do solo cultivado com gramíneas com o uso de sulfato de amônio, quando comparado com a ureia.

No desdobramento da interação  $F \times D$ , os valores observados para a variável alumínio (Al) se ajustaram aos modelos de regressão linear em função das doses de N e das fontes (Figura 16). Para as equações verificou-se efeito crescente na concentração de Al em função das doses de N aplicadas, independente do tipo de fertilizante utilizado.



**Figura 16.** Análise de regressão do alumínio (Al) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

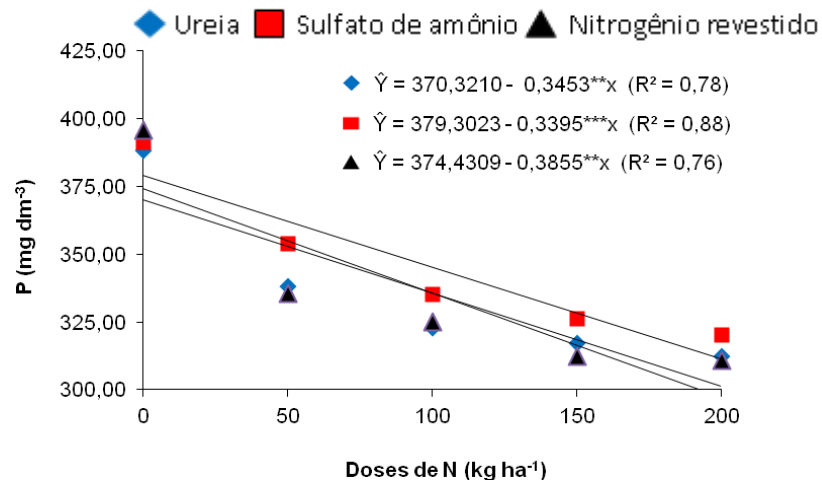
\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1; 5%, respectivamente;

O aumento nos teores de Al no solo deve-se possivelmente a redução do pH do solo causada pela liberação de íons H<sup>+</sup> no meio após aplicação dos fertilizantes nitrogenados. De acordo com SOUZA et al. (2007), a acidez do solo ocorre devido a reação de dissolução do Al [Al(OH)<sub>3</sub> + 3H<sup>+</sup> → Al<sup>3+</sup> + 3H<sub>2</sub>O]. Dessa forma, com a redução do pH do solo, o alumínio dissocia-se, contribuindo assim para o aumento dos teores de Al no solo, bem como da acidez. Este comportamento retrata que o uso abusivo de adubos nitrogenados tende a acidificar o solo causando diminuição da absorção de nutrientes. Outros autores como COSTA et al. (2008) e VALE (2009) também observaram incremento da concentração de Al no solo com a adição de fertilizantes nitrogenados em plantas forrageiras.

Os dados médios de Al observados no solo na fase final do ensaio experimental para a fertilização com F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> foram iguais a 0,27; 0,34 e 0,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Para os valores estimados pelas equações de regressão de Al, no manejo de F<sub>1</sub>, houve incremento de 160,0% em comparação aos dados calculados pelos modelos de Al na D<sub>1</sub> de (0,15 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> de (0,39 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); a fonte F<sub>2</sub> elevou em 140,0% comparando as concentrações estimadas na D<sub>1</sub> de (0,20 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> de (0,48 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>); enquanto que a aplicação de F<sub>3</sub> aumentou em 92,8% em relação aos valores obtidos na D<sub>1</sub> de (0,14 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> de (0,27 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

As concentrações de Al trocável no solo sofreram alterações em função das doses e fontes de fertilizantes aplicados, no entanto, quando nitrogênio foi fornecido na forma amídica e amoniacal, pode-se verificar claramente a relação inversa do pH com os níveis de Al, pois o aumento da acidez do solo promovida pela aplicação de quantidades crescentes de N destas fontes promoveram maior incremento dos teores de Al no solo.

Os valores observados de fósforo (P) no solo também foram influenciados pela aplicação dos tratamentos e se ajustaram ao modelo de regressão linear. Na (Figura 17) pode-se observar que o incremento das doses de N causou redução no teor de P no solo para todas as fontes de nitrogênio.



**Figura 17.** Análise de regressão do fósforo (P) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1; 5%, respectivamente;

O decréscimo de P no solo após colheita das plantas pode ser atribuído à formação de compostos insolúveis de ferro (Fe) e alumínio (Al). As fontes nitrogenadas por apresentarem elevado poder acidificante, possivelmente, provocaram aumento na concentração de Al e Fe, levando a formação de precipitados com fósforo que apresentam baixa solubilidade em pH mais ácido.

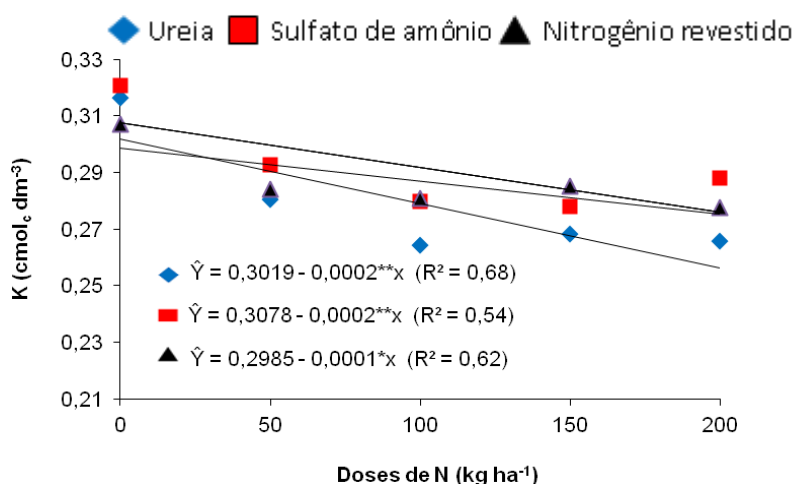
SARMENTO et al. (2008), avaliando o efeito da adubação nitrogenada no *Panicum maximum*, atribuíram a redução dos teores de P no final do experimento a redução do pH do solo com consequente formação de fosfatos insolúveis de Fe e de Al. A explicação dada por esses autores pode ser utilizada para compreensão dos resultados obtidos neste trabalho.



Os valores médios de fósforo (P) observados no solo após o cultivo das plantas para fertilização com F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> foram equivalentes a 335,79; 345,34 e 335,87 mg dm<sup>-3</sup>. Verificaram-se reduções em 18,65%, 17,91% e 20,60%, comparando os dados estimados pelos modelos de regressão de P obtidos na dose de (0 kg de N ha<sup>-1</sup>) e na dose de (200 kg de N ha<sup>-1</sup>) para as fontes F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>.

Observou-se também que o incremento das quantidades de N aplicadas, possivelmente, aumentaram a disponibilidade do nitrogênio na solução do solo, na forma de íons amônio e nitrato, o que pode ter promovido também maior absorção de fósforo pelas plantas e, em consequência causou redução dos teores de P no solo, devido o efeito sinérgico entre N e P. PRIMAVESI et al. (2006) verificaram aumento da extração de P pelo capim-mombaça com o incremento da aplicação de nitrogênio, em virtude da maior produção de matéria seca.

Foi verificado efeito significativo para os valores observados do potássio (K) no solo para as doses aplicadas dos adubos nitrogenados (Figura 18). Os modelos de regressão ajustados apresentaram efeito linear decrescente para a concentração de K com o aumento da quantidade de nitrogênio fornecida.



**Figura 18.** Análise de regressão do potássio (K) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1; 5%, respectivamente

A redução dos teores de K no solo com o aumento das doses pode ser resultado da interação do nitrato com o potássio. O íon NO<sub>3</sub><sup>-</sup> oriundo da fonte

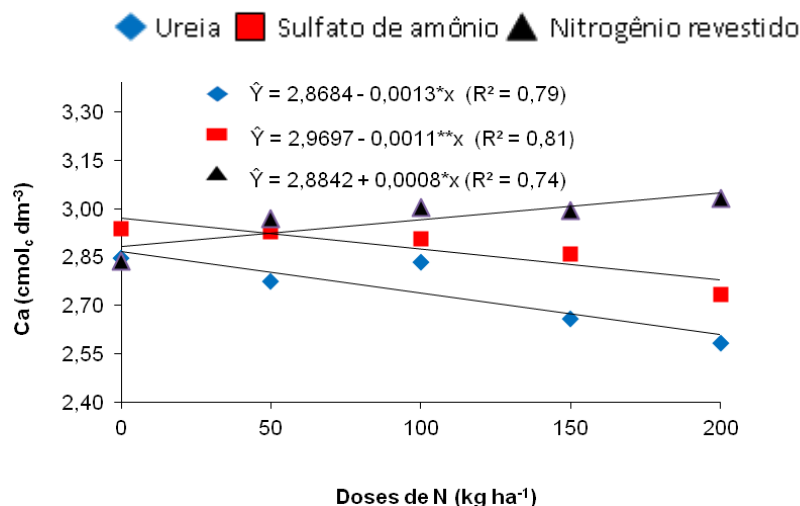
$F_3$  ou resultante da nitrificação de  $F_1$ , bem como o  $SO_4^{2-}$ , advindo do sulfato de amônio, provavelmente, podem ter movimentado o K para camadas abaixo da zona radicular, devido a força de atração eletrostática entre estes elementos. De acordo com ROSOLEM et al. (2003), os ânions  $SO_4^{2-}$  e  $NO_3^-$  provenientes da mineralização dos fertilizantes podem promover, em determinadas condições, a movimentação descendente dos cátions básicos ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $K^+$ ) no perfil, em virtude da associação iônica na solução do solo.

Os dados médios de K observados no solo na fase final do ciclo da hortaliça foram iguais a 0,28; 0,29 e 0,28  $cmol_c\ dm^{-3}$  no manejo com  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$ . Verificou-se decréscimo em 15,39% em comparação aos valores estimados pelo modelo de P encontrados na  $D_1$  de (0,30  $cmol_c\ dm^{-3}$ ) e na  $D_5$  de (0,26  $cmol_c\ dm^{-3}$ ) para  $F_1$ ; em  $F_2$  houve redução em 14,81% comparando os dados calculados de K na  $D_1$  de (0,31  $cmol_c\ dm^{-3}$ ) e na  $D_5$  de (0,27  $cmol_c\ dm^{-3}$ ); constatou-se diminuição em 7,14% em relação aos valores obtidos na  $D_1$  de (0,30  $cmol_c\ dm^{-3}$ ) e na  $D_5$  (0,28  $cmol_c\ dm^{-3}$ ) para fertilização com  $F_3$ .

Com os comportamentos dos modelos de regressão observa-se também que a aplicação de doses crescentes dos fertilizantes diminuíram a concentração de potássio no solo, em virtude do maior fornecimento de N promover maior absorção de K, devido o efeito sinérgico entre estes elementos.

Foi observada diferença dos níveis de cálcio (Ca) no solo em função das doses crescentes de N e das fontes (Figura 19). Os valores observados para Ca se ajustaram ao modelo linear decrescente para os manejos de adubação com  $F_1$  e  $F_2$  independente da dose de N aplicada, no entanto, houve aumento da concentração de Ca no solo com a aplicação da fonte  $F_3$  com o aumento das doses de N fornecidas. Os dados observados para  $F_3$  se ajustou ao modelo de regressão linear crescente.

De acordo com os comportamentos dos modelos de regressão linear é possível identificar que o manejo com  $F_3$  fornece quantidade razoável de Ca, possivelmente, devido à película protetora que envolve o fertilizante ser composta de carbonato de cálcio e magnésio de origem marinha. Para as demais fontes de nitrogênio não houve incremento da concentração de Ca com a aplicação de doses crescentes de N, pois os mesmos não apresentam Ca na composição química.



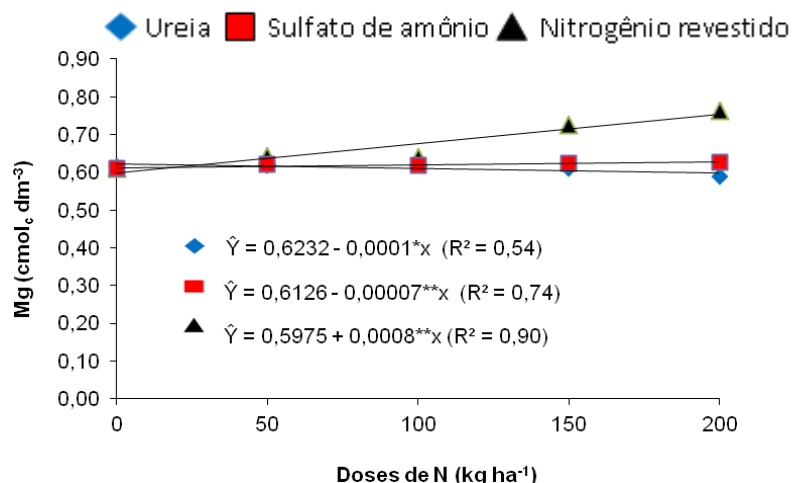
**Figura 19.** Análise de regressão do cálcio (Ca) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Os valores médios de Ca observados no solo na etapa final do experimento foram iguais a 2,17; 2,87 e 2,96 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> para as tratamentos que receberam F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Observou-se redução em 9,96% em relação aos dados estimados pelo modelo de regressão de Ca na D<sub>1</sub> de (2,87 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (2,61 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) para o uso de F<sub>1</sub>, na adubação com F<sub>2</sub> houve diminuição em 7,22% comparando os valores estimados na D<sub>1</sub> de (2,97 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>2</sub> de (2,77 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), no manejo com F<sub>3</sub> verificou-se incremento em 5,55% relacionando os dados obtidos na D<sub>1</sub> de (2,88 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> de (3,04 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

A redução de Ca no solo para os adubos F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> é resultante, possivelmente da extração do elemento pela parte aérea da planta e da movimentação do cátion divalente para a camada abaixo do sistema radicular, devido à ligação fraca entre o cálcio e os colóides do solo.

O comportamento das concentrações de magnésio (Mg) no solo, em função dos tratamentos aplicados está apresentado na (Figura 20). Os valores observados para Mg foram testados e ajustados aos modelos de regressão linear. Os bons coeficientes de determinação das equações comprovam que a variação da concentração de Mg no solo pode ser representada pelo aumento da quantidade de N aplicada na superfície do solo.



**Figura 20.** Análise de regressão do magnésio (Mg) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Os dados médios de Mg observados no solo com o manejo de adubação em F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> foram equivalentes a 0,61; 0,61 e 0,67 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Houve diminuição em 3,33% comparando as concentrações estimadas pela equação de regressão de Ca na D<sub>1</sub> de (0,62 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (0,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) com a aplicação de F<sub>1</sub>, para a fertilização de F<sub>2</sub> houve decréscimo em 1,67% em relação aos teores encontrados na D<sub>1</sub> de (0,61 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>2</sub> de (0,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>), no manejo de adubação com F<sub>3</sub> observou-se incremento em 26,66% a partir dos dados obtidos na D<sub>1</sub> de (0,60 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> de (0,76 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

O modelos de regressão linear comprovam que houve diminuição da concentração de Mg no solo para o manejo de adubação com F<sub>1</sub> e F<sub>2</sub> em função do aumento das doses, este comportamento também foi observado nos resultados obtidos por SARMENTO et al. (2008), que verificaram redução dos teores de Mg com o aumento das doses de N aplicadas com o uso de fertilizante de liberação rápida. Porém, no presente trabalho houve incremento dos níveis de Mg no solo com a aplicação de F<sub>3</sub>, devido o adubo de liberação gradual apresentar magnésio na sua composição química.

Observa-se na (Tabela 8) diferença significativa ao nível de 0,1 e 5% de probabilidade da interação do fertilizante (F) x dose (D) e dos fatores isolados F e D para ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) no solo após

colheita das plantas. Para a mesma tabela verifica-se influência significativa na interação F x D ao nível de 1 a 0,1% de probabilidade. Para o efeito isolado dos fatores F e D, observa-se que houve variação significativa ao nível de 5 a 0,1% de significância para as variáveis ferro, cobre, zinco e manganês, porém não foi constatado efeito significativo para o fator isolado F na variável Cu. Os coeficientes de variação inferiores a 12,36% indicam a boa precisão dos dados obtidos durante a etapa experimental.

**Tabela 8.** Análise da variância para ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) no solo

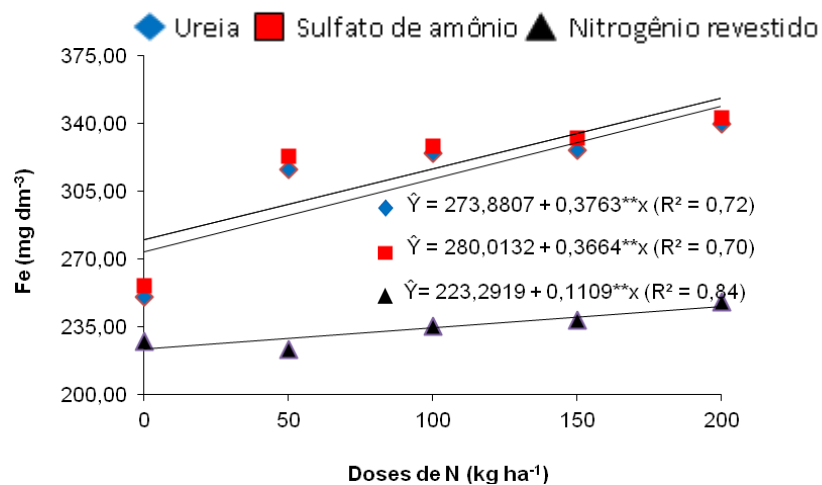
Fontes de variação	GL	Quadrados médios			
		Fe	Cu	Zn	Mn
F	2	42478,43**	0,28 <sup>NS</sup>	0,07**	305,04**
D (kg ha <sup>-1</sup> )	4	7633,96**	0,44**	0,09**	274,31***
F x D	8	1216,99***	0,07**	0,01**	77,91**
Resíduo	45	151,03	0,01	0,006	4,45
CV%		7,27	12,36	6,84	8,39

F, D, GL, CV: Fertilizante, Dose, Grau de Liberdade e Coeficiente de Variação.

\*, \*\* e \*\*\* significativos ao nível de 5, 1 e 0,1 % de significância pelo teste F.

<sup>NS</sup> Não significativo.

Na (Figura 21) apresenta-se a variação da concentração de ferro (Fe) no solo em função das doses de N para as três fontes de adubos. Os valores observados para Fe se ajustaram ao modelo de regressão linear. Os bons coeficientes de determinação entre (0,70 a 0,84) indicam que o aumento do teor de Fe no solo com o incremento das doses de N pode ser representado pelos gráficos de comportamento crescente.



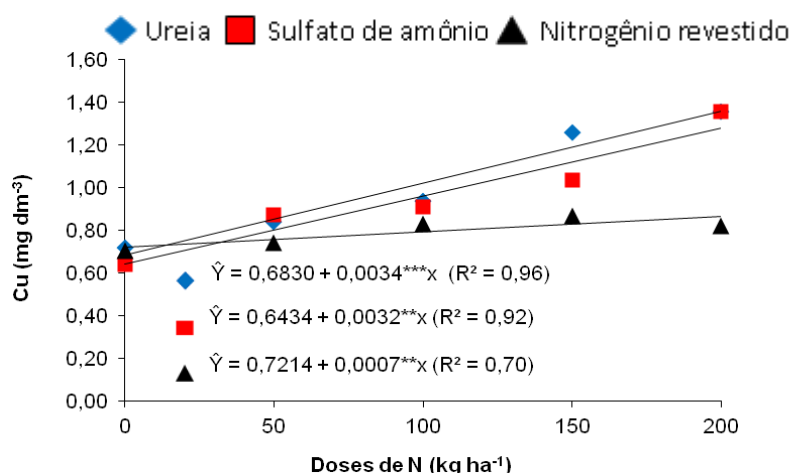
**Figura 21.** Análise de regressão do ferro (Fe) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Os valores médios de Fe observados no solo após colheita das plantas foram iguais a 311,51; 316,65 e 234,38 mg dm<sup>-3</sup> para os manejos de adubação com ureia (F<sub>1</sub>), sulfato de amônio (F<sub>2</sub>) e nitrogênio revestido (F<sub>3</sub>). Houve incremento em 27,47% em relação às concentrações estimadas pela equação de regressão de Fe na D<sub>1</sub> de (273,88 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (349,14 mg dm<sup>-3</sup>) para adubação de F<sub>1</sub>, com o uso de F<sub>2</sub> houve aumento em 26,17% em relação aos teores calculados na D<sub>1</sub> de (280,01 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> de (353,29 mg dm<sup>-3</sup>), no manejo de adubação com F<sub>3</sub> observou-se acréscimo de 10,03% comparando os valores obtidos na D<sub>1</sub> de (223,09 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> de (245,47 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>).

Observa-se que houve aumento na concentração de Fe no solo a partir dos valores estimados pelos modelos de regressão, independente do tipo de fertilizante aplicado. Os maiores incrementos de Fe foram alcançados com a aplicação das fontes de nitrogênio na forma amídica e amoniacal, enquanto que os valores estimados mais baixos para concentração de Fe no solo foram obtidos com o uso de F<sub>3</sub> para todas as doses crescentes de N. Estes resultados podem ser justificados pela diminuição do pH, que influencia na solubilidade dos micronutrientes catiônicos, aumentando a disponibilidade destes elementos na solução do solo (MALAVOLTA, 1980).

O teor de cobre (Cu) no solo foi influenciado pelas doses e fontes de nitrogênio. Os dados observados para a variável no solo se ajustaram ao modelo de regressão linear crescente (Figura 22).



**Figura 22.** Análise de regressão do cobre (Cu) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

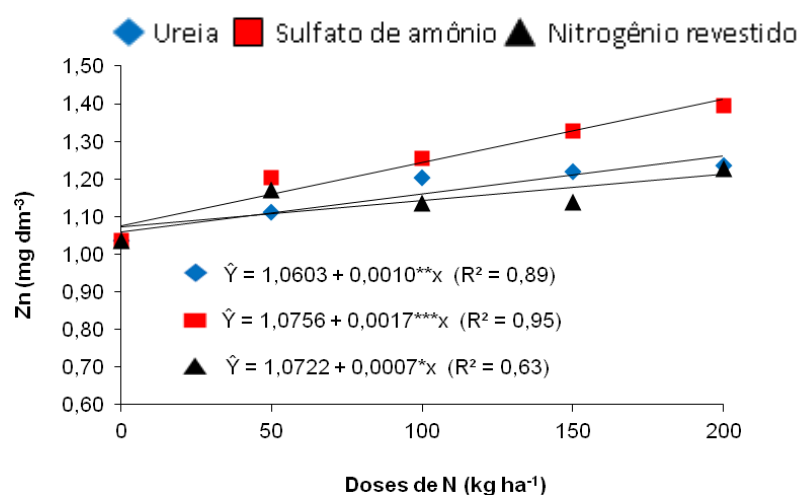
\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Verificou-se aumento em 100,00% ao se comparar os respectivos valores estimados pelo modelo de regressão linear crescente de Cu verificados na D<sub>1</sub> de (0,68 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (1,36 mg dm<sup>-3</sup>) para F<sub>1</sub>, houve incremento em 100,00% em relação aos teores obtidos na D<sub>1</sub> de (0,64 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> de (1,28 mg dm<sup>-3</sup>) com F<sub>2</sub>, observou-se acréscimo de 19,44% quando se compara aos valores calculados na D<sub>1</sub> de (0,72 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> de (0,86 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>) para F<sub>3</sub>.

A partir dos valores estimados pelas equações de regressão linear para as diferentes fontes de nitrogênio foi constatado que o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados tende a aumentar os níveis de Cu no solo, pois a aplicação de grandes quantidades de nitrogênio eleva a acidez do solo e, em consequência aumenta a solubilidade do micronutriente.

O Cu desempenha na planta várias funções dentre elas, ativação de enzimas, formação do tubo polínico e transporte de elétrons. Em solos que apresentam pH baixo o Cu está presente em maior concentração na solução, o que pode promover problemas de fitotoxidez em alguns casos. O aumento da concentração de Cu no solo está relacionado à acidificação pelo uso de adubos nitrogenados (MALAVOLTA, 1980).

O teor de zinco (Zn) no solo foi influenciado pelas doses de N e fontes de nitrogênio e os dados observados para a variável em estudo se ajustaram ao modelo de regressão linear crescente (Figura 23).



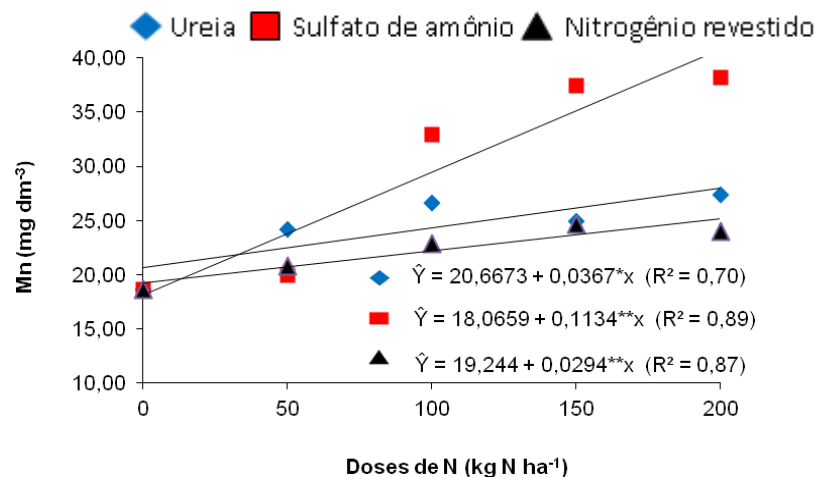
**Figura 23.** Análise de regressão do zinco (Zn) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

A variação dos teores de Zn no solo em função da adubação nitrogenada apresentou comportamento semelhante aos outros micronutrientes catiônicos (Fe e Cu). A medida que adicionou-se maiores quantidades de nitrogênio na superfície do solo houve maior incremento dos teores de Zn no solo para as fontes usadas.

Os dados médios de Zn observados no solo no final do ciclo da alface foram equivalentes a 1,16; 1,24 e 1,13 mg dm<sup>-3</sup> para F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Houve acréscimo em 18,86% quando se compara os valores estimados pelo modelo de Zn calculados na D<sub>1</sub> de (1,06 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (1,26 mg dm<sup>-3</sup>) para F<sub>1</sub>, verificou-se incremento de 31,77 % na comparação das concentrações obtidas na D<sub>1</sub> de (1,07 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (1,41 mg dm<sup>-3</sup>) com F<sub>2</sub>, observou-se aumento em 13,08% na comparação dos teores estimados na D<sub>1</sub> de (1,07 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (1,21 mg dm<sup>-3</sup>) de F<sub>3</sub>. A partir dos dados estimados pelas equações de regressão linear verifica-se que a utilização de doses mais elevadas de nitrogênio para qualquer tipo de fertilizante utilizado promove aumento dos níveis de Zn no solo, o que pode causar diminuição da produção da alface. Este fato também pode ser explicado pela redução do pH, que aumenta a solubilidade do elemento no solo, segundo MALAVOLTA (1980).

A relação do manganês (Mn) e doses de N para os tipos de fertilizantes foram testadas e os valores observados pela variável se ajustaram ao modelo de regressão linear crescente (Figura 24).



**Figura 24.** Análise de regressão de manganês (Mn) no solo para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente



Os valores médios de Mn observados no solo após a colheita da hortaliça foram iguais a 24,34; 29,41 e 21,73 mg dm<sup>-3</sup> para o uso de F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. obteve-se acréscimo de 35,55% quando se compara os valores estimados pelo modelo de Mn obtidos na D<sub>1</sub> de (20,67 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (28,00 mg dm<sup>-3</sup>) de F<sub>1</sub>, verificou-se incremento de 125,54 % na comparação dos dados calculados na D<sub>1</sub> de (18,06 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (40,74 mg dm<sup>-3</sup>) em F<sub>2</sub>, observou-se aumento em 30,35% na comparação dos valores obtidos na D<sub>1</sub> de (19,27 mg dm<sup>-3</sup>) e na D<sub>5</sub> (25,12 mg dm<sup>-3</sup>) com F<sub>3</sub>.

Avaliando os modelos de regressão nota-se que a utilização de doses mais altas de nitrogênio causou maior incremento dos teores do micronutriente no solo, no entanto o uso da fonte F<sub>2</sub> eleva ainda mais as concentrações de Mn, devido o seu alto poder acidificante. Este efeito pode ser desencadeado pelo aumento da acidez do solo, que eleva a solubilidade dos micronutrientes catiônicos, segundo MALAVOLTA (1980).

#### 4.3 Variáveis químicas avaliadas nas folhas

Na (Tabela 9) houve efeito significativo em níveis de significância variando de 5 a 0,1% de probabilidade da interação do fertilizante (F) x doses (D) e dos fatores isolados F e D para os macronutrientes nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas.

**Tabela 9.** Análise da variância para nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) nas folhas

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios		
		N	P	K
F	2	17,18**	0,43**	122,26**
D (kg ha <sup>-1</sup> )	4	125,60**	1,03**	613,13**
F x D	8	5,47***	0,20*	31,70**
Resíduo	45	0,63	0,07	3,07
CV%		5,24	4,34	7,68

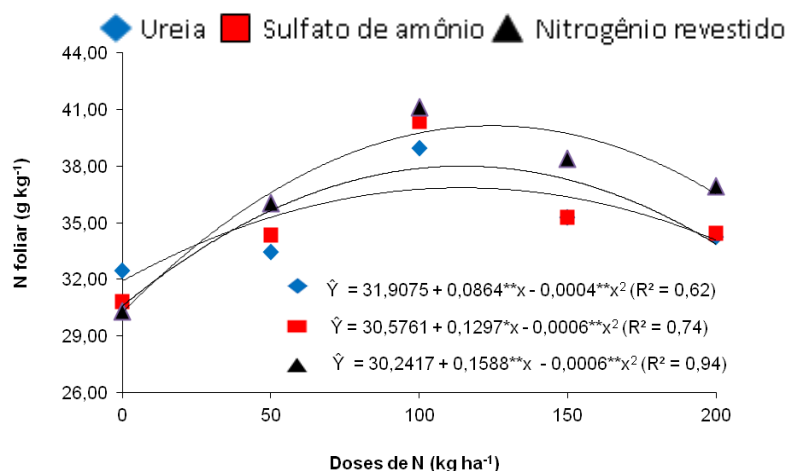
F, D, GL, CV: Fertilizante, Dose, Grau de Liberdade e Coeficiente de Variação.

\* \*\* e \*\*\* significativos ao nível de 5, 1 e 0,1 % de significância pelo teste F.

<sup>NS</sup> Não significativo

Na (Figura 25) observa-se o acúmulo de nitrogênio (N) foliar em função das doses de N aplicadas e das fontes. Os valores obtidos para N se ajustaram ao modelo de regressão quadrático. Houve inicialmente incremento dos teores

de N foliar até a dose ótima de nitrogênio, a partir desta dosagem o aumento das quantidades de N adicionadas na superfície do solo promoveu redução significativa na concentração de N total foliar.



**Figura 25.** Análise de regressão do nitrogênio (N) foliar para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Os dados médios de N observados na matéria seca das folhas da alface foram equivalentes a 34,88; 35,05 e 36,56 g kg<sup>-1</sup> para o manejo de adubação com ureia (F<sub>1</sub>), sulfato de amônio (F<sub>2</sub>) e nitrogênio revestido (F<sub>3</sub>). Pela derivada primeira da equação de regressão de F<sub>1</sub>, estimou-se a dose de 108,00 kg de N ha<sup>-1</sup> que foi responsável pela máxima concentração de N no tecido foliar (36,57 g kg<sup>-1</sup>), verificaram-se aumentos de 14,63 e 10,18% quando se comparam o respectivo valor máximo estimado com os encontrados na D<sub>1</sub> (31,91 g kg<sup>-1</sup>) e na D<sub>5</sub> (33,19 g kg<sup>-1</sup>).

Na segunda equação polinomial de F<sub>2</sub> utilizando a primeira derivada foi calculada à dose de 108,08 kg de N ha<sup>-1</sup> sendo aquela responsável pelo máximo teor de N nas folhas (37,58 g kg<sup>-1</sup>), observaram-se incrementos na ordem de 22,89 e 15,55% ao se relacionar o valor máximo estimado com os verificados na D<sub>1</sub> (30,58 g kg<sup>-1</sup>) e na D<sub>5</sub> (32,52 g kg<sup>-1</sup>).

Para a terceira equação quadrática de F<sub>3</sub> através da primeira derivada também foi estimada à dose de 132,33 kg de N ha<sup>-1</sup> como a responsável pela máxima quantidade de N foliar (40,76 g kg<sup>-1</sup>), obtiveram-se acréscimos de 34,78 e 7,26% quando se compara o valor máximo estimado com os

verificados na D<sub>1</sub> (30,24 g kg<sup>-1</sup>) e na D<sub>5</sub> (38,00 g kg<sup>-1</sup>). As doses ótimas disponibilizaram maior acúmulo de N total na ordem de 36,57 a 40,76g kg<sup>-1</sup>, valores estes recomendados para a cultura da alface, que apresenta nas folhas bem nutridas, concentração de 34,0 a 40,0 g kg<sup>-1</sup>, segundo (BEZERRA NETO & BARRETO, 2011).

Com os modelos de regressão quadrática conclui-se que o aumento da quantidade de fertilizantes nitrogenados adicionados no solo eleva a disponibilidade de N na solução do solo e, em consequência ocorre maior acúmulo de nitrogênio no tecido vegetal até uma determinada dose ótima, entretanto, a concentração de N foliar pode diminuir com a aplicação de doses elevadas. O teor mais elevado de N no tecido foliar foi verificado com a aplicação de F<sub>3</sub> para todas as doses, possivelmente, devido à fonte especial liberar o nitrogênio de forma gradativa para o solo, durante todo o estágio vegetativo da alface.

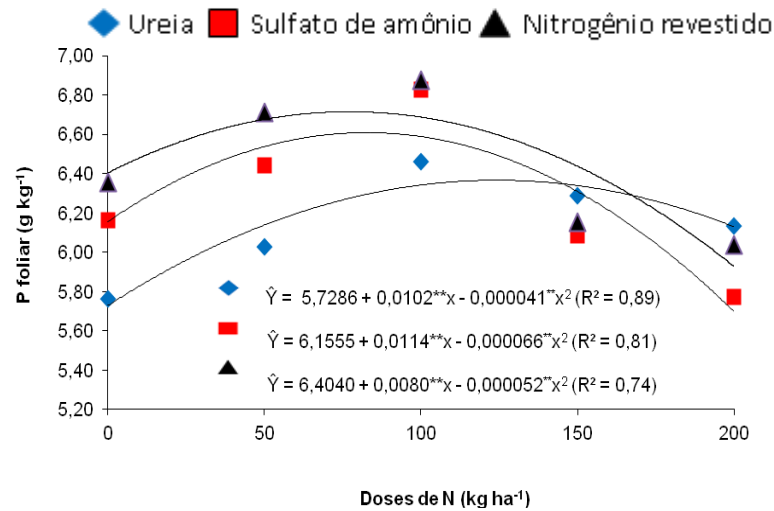
TURAZI et al. (2006) trabalhando com a cultura da alface, cultivar Verônica, com diferentes tipos de adubos, cama de frango, esterco bovino, adubação mineral e combinações dos adubos orgânicos com mineral, nas condições de Brasília - DF, verificaram que as plantas que receberam adubação com cama de frango com adubação mineral apresentaram os maiores teores de nitrogênio foliar.

Os teores máximos de N foliar encontrados na presente pesquisa (36,57 a 40,76 g kg<sup>-1</sup>), apresentam-se acima dos valores médios verificados por SILVA et al. (2005), 19,2 g kg<sup>-1</sup>, e BALBINOT JÚNIOR et al. (2006), que encontraram valores variando de 20 a 34 g kg<sup>-1</sup>.

Após avaliação da concentração e o acúmulo de macronutrientes em alface cultivar Verônica, BENINNI et al. (2005) constataram que, no ponto de colheita, a parte aérea das plantas cultivadas no sistema convencional apresentou concentração de nitrogênio de 34,24 g kg<sup>-1</sup>, resultados compatíveis aos obtidos aqui neste trabalho.

Na (Figura 26) é possível verificar a variação de fósforo (P) foliar em função das doses crescentes de N e das fontes. Os valores observados para P se ajustaram ao modelo de regressão quadrático. À medida que aumentou a quantidade de N aplicada na superfície do solo, houve maior incremento de P

no tecido foliar até a dosagem ótima, em seguida ocorreu decréscimo da concentração da variável nutricional avaliada.



**Figura 26.** Análise de regressão de fósforo (P) foliar para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Para  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  os dados médios de P observados na matéria seca do tecido vegetal foliar foram iguais a 6,13; 6,26 e 6,43 g kg<sup>-1</sup>. Pela derivada primeira da equação polinomial de  $F_1$ , estimou-se a dose de 123,78 kg de N ha<sup>-1</sup> que foi responsável pelo máximo teor de P encontrado no tecido foliar (6,36 g kg<sup>-1</sup>), obtiveram-se incrementos de 10,99 e 3,07% quando se comparam o respectivo valor máximo estimado com os verificados na  $D_1$  (5,73 g kg<sup>-1</sup>) e na  $D_5$  (6,17 g kg<sup>-1</sup>).

Para a segunda equação quadrática de  $F_2$  utilizando-se a primeira derivada foi calculada à dose de 78,57 kg de N ha<sup>-1</sup> como aquela responsável pela máxima concentração de P nas folhas (6,64 g kg<sup>-1</sup>), observaram-se aumentos de 7,96 e 11,41% ao se relacionar o valor máximo estimado com os verificados na  $D_1$  (6,15 g kg<sup>-1</sup>) e na  $D_5$  (5,96 g kg<sup>-1</sup>).

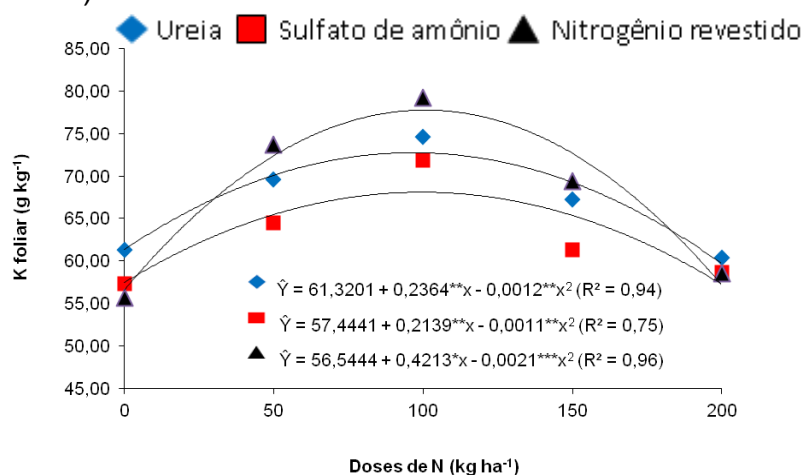
Para a terceira equação de regressão de  $F_3$  calculando-se a primeira derivada foi estimada à dose de 76,76 kg de N ha<sup>-1</sup> como aquela responsável pela máxima quantidade de P foliar (6,71 g kg<sup>-1</sup>), verificaram-se incrementos de 4,84 e 11,83% quando se compara o valor máximo estimado com os encontrados na  $D_1$  (6,4 g kg<sup>-1</sup>) e na  $D_5$  (6,0 g kg<sup>-1</sup>).

Os maiores teores de P acumulados nas folhas ocorreram nos tratamentos que receberam F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> (6,64 e 6,71 g kg<sup>-1</sup>), devido estas fontes serem menos sensíveis as perdas por volatilização, o que contribuiu para o maior efeito do sinergismo entre o íon amônio e o fósforo. As melhores doses estimadas pelos modelos de regressão das fontes de N disponibilizaram maiores teores de P entre 6,36 a 6,71 g kg<sup>-1</sup> no tecido vegetal, concentrações estas indicadas para a alface, que apresenta nas folhas bem nutridas, concentração de 4,0 a 6,0 g kg<sup>-1</sup>, conforme (BEZERRA NETO & BARRETO, 2011).

Dentre os macronutrientes essenciais o fósforo é um componente integral de compostos importantes das células vegetais, incluindo-se fosfato-açúcares, bem como os fosfolipídios, componentes das membranas vegetais, portanto para maior produção de massa foliar da alface também é resultante do maior acúmulo de P no tecido vegetal.

SOUZA et. al. (2005), avaliando o efeito residual do composto orgânico com ou sem suplementação mineral, sobre as características químicas das folhas de alface, verificaram que os teores de fósforo aumentaram quadraticamente em função das doses de composto orgânico aplicadas. Este comportamento foi similar ao constatado neste trabalho.

Os dados médios observados para potássio (K) foliar se ajustaram ao modelo de regressão quadrático em função das doses de N e fontes de adubos. (Figura 27).



**Figura 27.** Análise de regressão do potássio (K) foliar para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Inicialmente no primeiro estágio da curva do polinômio do segundo grau a concentração de K aumentou com o incremento das doses, posteriormente no estágio seguinte ocorreu diminuição dos níveis de K no tecido foliar para todas as fontes de nitrogênio, independente da dose fornecida.

Com as adubações de  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  os valores médios de K observados na massa seca das folhas da alface foram equivalentes a 66,60; 62,71 e 67,30 g  $kg^{-1}$ . Pela derivada primeira da equação de regressão de  $F_1$ , calculou-se a dose ótima de 98,50 kg de N  $ha^{-1}$  que foi responsável pelo máximo teor de K encontrado no tecido foliar (72,96 g  $kg^{-1}$ ), obtiveram-se incrementos de 18,39 e 20,39% quando se comparam o respectivo valor máximo estimado com os verificados na  $D_1$  (61,32 g  $kg^{-1}$ ) e na  $D_5$  (60,60 g  $kg^{-1}$ ).

Para a segunda equação quadrática de  $F_2$  utilizando-se a primeira derivada estimou-se à dose ótima de 97,22 kg de N  $ha^{-1}$  como responsável pela máxima concentração de K nas folhas (67,84 g  $kg^{-1}$ ), observaram-se aumentos de 18,08 e 20,64% ao se relacionar o valor máximo estimado com os verificados na  $D_1$  (57,45 g  $kg^{-1}$ ) e na  $D_5$  (56,23 g  $kg^{-1}$ ).

Para a terceira equação polinomial de  $F_3$ , aplicando-se a primeira derivada foi estimada à dose ótima de 100,31 kg de N  $ha^{-1}$  sendo responsável pela máxima quantidade de K foliar (77,67 g  $kg^{-1}$ ), verificaram-se incrementos de 37,37 e 36,74% quando se compara o valor máximo estimado com os encontrados na  $D_1$  (56,54 g  $kg^{-1}$ ) e na  $D_5$  (56,80 g  $kg^{-1}$ ). As doses agrônomicas estimadas pelas equações de regressão das fontes de N alcançaram maiores concentrações de K foliar oscilando de 67,84 a 77,67 g  $kg^{-1}$ , teores estes recomendados para a alface bem nutrida, com a concentração foliar de 50,0 a 80,0 g  $kg^{-1}$ , de acordo com (BEZERRA NETO & BARRETO, 2011).

O uso de quantidades adequadas de potássio na adubação aumenta à absorção de nitrogênio, portanto o fenômeno da interação entre nitrogênio e potássio e de suma importância para a produção de hortaliças folhosas, pois além de promover aumento da produtividade também pode proporcionar máxima eficiência na utilização do nitrogênio pelas plantas.

O aumento da concentração de K no tecido vegetal aumenta também a produção de massa fresca e seca no tecido foliar, pois no metabolismo do nitrogênio, a produção de aminoácidos depende da disponibilidade de potássio

presente na planta, pois o mesmo está envolvido na fase final do metabolismo do nitrogênio.

Entretanto, alguns trabalhos relatam que o potássio está envolvido no início dos processos metabólicos do nitrogênio, como incorporação do nitrogênio mineral e especialmente na redutase do nitrato (RUAN et al., 1999).

CARVALHO et al. (1991) estudaram o efeito da aplicação do nitrogênio e do potássio em um experimento com capim braquiaria e observaram que houve efeito positivo da adubação nitrogenada na produção de massa seca dessa gramínea e que esse efeito dependeu da aplicação do potássio. Além disso, estes autores constataram que, com baixo nível de aplicação de potássio, a resposta ao nitrogênio foi limitada, mas com o aumento do nível de potássio, ocorreu acentuada resposta ao nitrogênio.

VILLAS BOAS et al. (2004) verificaram que a quantidade de K na planta variou significativamente em função dos tipos de compostos orgânicos aplicados, sendo maior no tratamento com composto orgânico de palha de feijão.

#### 4.4 Variáveis biométricas de crescimento

Na (Tabela 10) houve efeito significativo em níveis de significância variando de 5 a 0,1% de probabilidade da interação do fertilizante (F) x doses (D) e dos fatores isolados F e D para as variáveis biométricas de crescimento diâmetro de planta, altura de planta, biomassa fresca da parte aérea, biomassa seca da parte aérea e produtividade agrônômica. Os coeficientes de variação da tabela foram inferiores a 12,35% indicando que os dados obtidos no experimento apresentam-se com boa precisão.

**Tabela 10.** Análise da variância para o diâmetro de planta (DP), altura de planta (AP), biomassa fresca da parte aérea (BFPA), biomassa seca da parte aérea (BSPA) e produtividade agrônômica (PRODA)

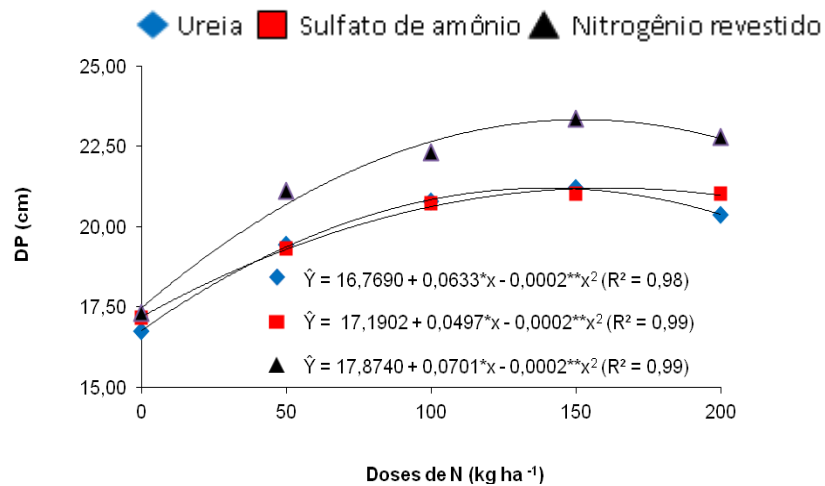
Fonte de variação	GL	Quadrados Médios				
		DP	AP	BFPA	BSPA	PRODA
F	2	17,13**	7,35**	14664,91**	37,05***	120,85**
D (kg ha <sup>-1</sup> )	4	45,30**	5,01*	34449,25**	134,50**	408,17***
F x D	8	0,87***	0,48**	2695,87***	26,63**	45,36***
Resíduo	45	0,89	0,79	424,29	1,96	3,59
CV%		8,56	9,86	4,71	6,82	12,35

F, D, GL, CV: Fertilizante, Dose, Grau de Liberdade e Coeficiente de Variação.

\* \*\* e \*\*\* significativos ao nível de 5, 1 e 0,1 % de significância pelo teste F.

N<sup>s</sup> Não significativo

Os aumentos das quantidades de nitrogênio aplicados na superfície do solo causaram variação significativa na variável diâmetro de plantas (DP). Os dados observados para DP se ajustaram ao modelo de regressão quadrático em função das doses crescentes e fontes de N (Figura 28). No primeiro estágio do gráfico do polinômio quadrático nota-se que o aumento das doses de N promoveu incremento do DP, porém no segundo estágio a aplicação de quantidades crescentes de N proporcionou redução do crescimento da variável biométrica em estudo.



**Figura 28.** Análise de regressão do diâmetro de plantas (DP) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Para adubação com ureia ( $F_1$ ), sulfato de amônio ( $F_2$ ) e nitrogênio revestido ( $F_3$ ) os valores médios de DP observados no final do ciclo da alfaca foram iguais a 19,70; 19,85 e 21,37 cm. Pela derivada primeira da equação polinomial de  $F_1$ , calculou-se a dose ótima de 158,25 kg de N  $ha^{-1}$  a qual foi responsável pelo máximo comprimento do DP da parte aérea (21,78 cm), obtiveram-se aumentos de 29,87 e 1,63% quando se comparam o respectivo valor máximo estimado com os verificados na  $D_1$  (16,77 cm) e na  $D_5$  (21,43 cm).

Pela derivada primeira da segunda equação quadrática de  $F_2$  estimou-se à dose ótima de 124,25 kg de N  $ha^{-1}$  como responsável pelo máximo DP (20,06 cm), observaram-se aumentos de 16,69 e 6,81% comparando o valor máximo estimado com os verificados na  $D_1$  (17,19 cm) e na  $D_5$  (18,78 cm).

Para a terceira equação de regressão de  $F_3$ , aplicando-se a primeira derivada foi estimada à dose ótima de 128,66 kg de N  $ha^{-1}$  sendo responsável



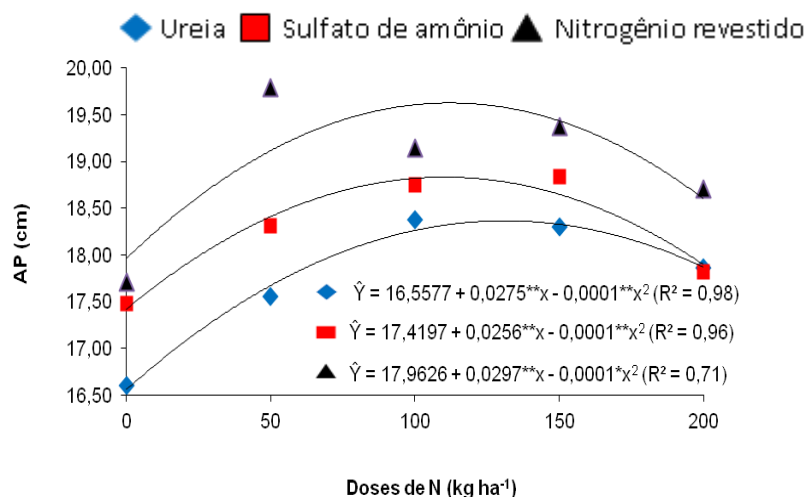
pelo máximo DP da parte aérea (22,43 cm), verificaram-se incrementos de 28,39 e 7,27% quando se compara o valor máximo estimado com os encontrados na D<sub>1</sub> (17,47 cm) e na D<sub>5</sub> (20,91 cm).

A partir dos modelos de regressão apresentados pode-se inferir que o uso de F<sub>3</sub> é mais eficiente para o cultivo da alface, pois este adubo tende a manter os níveis adequados de nitrogênio na solução do solo durante todo o ciclo de crescimento da alface.

A cultura da alface apresenta exigências nutricionais diferentes durante o seu estágio fenológico. Em geral o requerimento de nitrogênio é baixo durante a primeira metade do ciclo, sendo que a taxa de absorção de nutrientes aumenta durante as últimas semanas que antecedem a colheita, portanto a escolha de fertilizantes nitrogenados mais eficientes, como é o caso das fontes F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>, podem ser uma solução para atender as exigências nutricionais da hortaliça, notadamente no final do ciclo vegetativo.

Em experimento realizado no estado do Paraná, SANTOS et al. (2012) avaliaram o efeito da adubação nitrogenada nas variáveis biométricas da alface americana. Ao fim do ciclo experimental foi obtido o DP da parte aérea. Os resultados da variável biométrica mostraram resposta positiva. Os resultados encontrados neste experimento para a cultura da alface foram compatíveis aos obtidos na presente pesquisa. MOURA (2009) trabalhando com adubações de solo e doses de N em cobertura em Diamantina - MG verificou efeito positivo no aumento do diâmetro da alface com a aplicação de doses crescentes de N e os dados obtidos se ajustaram ao modelo quadrático. Comportamento similar foi encontrado aqui neste trabalho.

Os valores observados para altura de planta (AP) com a aplicação de doses de nitrogênio para as três fontes de adubos seguiram a tendência quadrática (Figura 29). De acordo com os modelos de regressão verifica-se que houve aumento na altura de plantas (AP) da alface no primeiro estágio do gráfico do polinômio quadrático, em seguida a curva apresentou efeito decrescente para a AP com o incremento das doses para os adubos testados.



**Figura 29.** Análise de regressão para a altura de plantas (AP) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Os dados médios de AP observados na colheita da alface foram equivalentes a 17,73; 18,24 e 18,94 cm para fertilização com F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Pela derivada primeira da equação de regressão de F<sub>1</sub>, calculou-se a dose ótima de 137,50 kg de N ha<sup>-1</sup> a qual foi responsável pela máxima AP (18,44 cm), obtiveram-se aumentos de 11,35 e 2,16% quando se comparam o respectivo valor máximo estimado com os verificados na D<sub>1</sub> (16,56 cm) e na D<sub>5</sub> (18,05 cm).

Pela derivada primeira da segunda equação quadrática de F<sub>2</sub> estimou-se à dose ótima de 128,00 kg de N ha<sup>-1</sup> como responsável pela máxima AP (19,06 cm), observaram-se aumentos de 9,41 e 2,80% comparando o valor máximo estimado com os verificados na D<sub>1</sub> (17,42 cm) e na D<sub>5</sub> (18,54 cm).

Para a terceira equação polinomial de F<sub>3</sub>, aplicando-se a primeira derivada foi estimada à dose ótima de 148,50 kg de N ha<sup>-1</sup> sendo aquela responsável pela máxima AP da parte aérea (20,16 cm), verificaram-se incrementos de 12,25 e 1,31% quando se compara o valor máximo estimado com os alcançados na D<sub>1</sub> (17,96 cm) e na D<sub>5</sub> (19,90 cm).

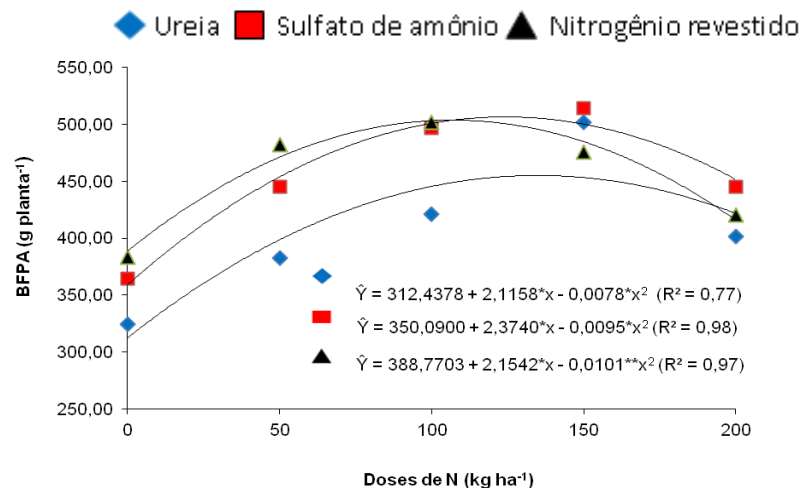
A partir dos valores estimados pelos modelos de regressão é possível apontar que as plantas que foram adubadas com F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> apresentaram maior AP em relação à fonte F<sub>1</sub>. Este comportamento ocorreu porque o adubo F<sub>2</sub> não sofreu volatilização após ser aplicado no solo. O fertilizante F<sub>3</sub> mostrou-se também mais eficiente que à fonte amídica, pois fornecimento de nitrogênio

ocorreu de forma gradativa durante todo o ciclo da cultura. Entretanto, independente do tipo de fertilizante manejado, a aplicação de doses mais elevadas podem promover diminuição da variável biométrica AP.

FILGUEIRA (2000) estudando o efeito da aplicação de fontes e doses de nitrogênio na AP verificou aumento na variável biométrica de 11,50 cm a 16,50 cm, com o parcelamento da ureia convencional em duas vezes e sulfato de amônio em três vezes em relação à altura da testemunha, concordando com os resultados aqui apresentados. Nas hortaliças o acréscimo em altura, provavelmente, esta associado à maior absorção do nitrogênio disponível na solução do solo.

Em trabalho realizado por BEZERRA NETO et al. (2011) testando o efeito de diferentes quantidades e tempo de decomposição da jirirana verde (adubação orgânica) como fonte de nitrogênio na produção da alface cultivar Babá de Verão. Verificaram que a variável, altura de plantas (AP) se ajustou ao modelo quadrático em função das quantidades de jirirana aplicadas ao solo e de seus tempos de decomposição. O aumento no valor de AP da alface foi registrado até no máximo de 13,65 cm, decrescendo, em seguida, até a quantidade mais alta de adubo orgânico incorporado.

Os valores observados de biomassa fresca da parte aérea (BFPA) com a aplicação de doses de nitrogênio para as fontes de adubos se ajustaram ao modelo quadrático (Figura 30).



**Figura 30.** Análise de regressão da biomassa fresca da parte aérea (BFPA) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Os valores médios de BFPA observados para as plantas colhidas foram iguais a 406,32; 453,17 e 453,28 g planta<sup>-1</sup> para F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Pela derivada primeira da equação polinomial de F<sub>1</sub>, calculou-se a dose ótima de 135,62 kg de N ha<sup>-1</sup> a qual foi responsável pela máxima produção de BFPA (455,91 g planta<sup>-1</sup>), obtiveram-se aumentos de 45,92 e 7,63% quando se comparam o valor máximo estimado com os verificados na D<sub>1</sub> (312,43 g planta<sup>-1</sup>) e na D<sub>5</sub> (423,59 g planta<sup>-1</sup>)

Com a derivada primeira da segunda equação quadrática de F<sub>2</sub> estimou-se à dose ótima de 124,94 kg de N ha<sup>-1</sup> como responsável pela máxima produção de BFPA (498,40 g planta<sup>-1</sup>), observaram-se acréscimos de 42,36 e 12,02% comparando o valor máximo estimado com os verificados na D<sub>1</sub> (350,09 g planta<sup>-1</sup>) e na D<sub>5</sub> (444,89 g planta<sup>-1</sup>),

Para a terceira equação de regressão de F<sub>3</sub>, aplicando-se a primeira derivada foi estimada à dose ótima de 106,64 kg de N ha<sup>-1</sup> sendo esta responsável pela máxima produção de BFPA (503,63 g planta<sup>-1</sup>), verificaram-se incrementos de 29,54 e 21,17% quando se compara o valor máximo estimado com os encontrados na D<sub>1</sub> (388,77 g planta<sup>-1</sup>) e na D<sub>5</sub> (415,61 g planta<sup>-1</sup>)

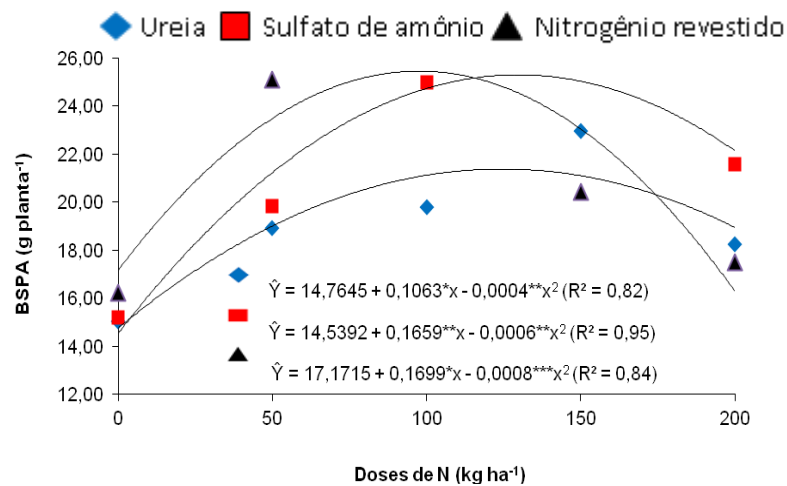
Segundo os valores estimados pelos modelos quadráticos observa-se que a produção de BFPA aumentou significativamente com o incremento da quantidade de N aplicada até dosagens de (135,62; 124,94 e 106,64 kg de N ha<sup>-1</sup>) para F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>, a partir destas dosagens a aplicação de N em cobertura causou redução na produção de BFPA, indicando que o uso indiscriminado de fertilizantes, particularmente, nitrogenados pode promover a queda da produtividade da alface e aumento dos custos de produção.

Em relação à eficiência de fertilizantes revestidos em culturas agrícolas, CHENG et al. (2002), também concluíram que a utilização de ureia recoberta contribuiu positivamente na biomassa fresca das plantas de repolho quando comparado com tratamentos em que foi utilizada ureia convencional, além de sua eficiência.

Os resultados da pesquisa são compatíveis com o trabalho realizado por STEINER et al. (2012), que relatam o efeito da adubação com o uso de fontes de origem orgânica e mineral na produção de alface roxa, nas condições de Marechal Cândido - PR. Este autores concluíram que a aplicação de 180, 200

e 230 kg de N ha<sup>-1</sup> respectivamente, na forma de ureia, dejetos de suíno e cama de aviário aumentaram a produção de massa fresca da alface, estimada pelos modelos de regressão quadrático.

A produção de biomassa seca da parte aérea (BSPA) promovida pela aplicação de doses crescentes de nitrogênio pode ser representada pelo modelo quadrático (Figura 31). A variável biométrica foi influenciada positivamente no primeiro estágio da curva do polinômio para as diferentes doses, devido o comportamento crescente do gráfico, no segundo estágio o modelo quadrático apresentou efeito negativo para a produção de BFPA para os três fertilizantes analisados.



**Figura 31.** Análise de regressão da biomassa seca da parte aérea (BSPA) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Os dados médios de BSPA observados nas plantas foram equivalentes a 18,99; 21,54 e 21,09 g planta<sup>-1</sup> com aplicação de F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>. Pela derivada primeira da equação de regressão de F<sub>1</sub>, calculou-se a dose ótima de 132,87 kg de N ha<sup>-1</sup> a qual foi responsável pela máxima produção de BFPA (21,85 g planta<sup>-1</sup>), obtiveram-se aumentos de 48,03 e 9,14% quando se comparam o respectivo valor máximo estimado com os verificados na D<sub>1</sub> (14,76 g planta<sup>-1</sup>) e na D<sub>5</sub> (20,02 g planta<sup>-1</sup>).

Pela derivada primeira da segunda equação quadrática de F<sub>2</sub> estimou-se à dose ótima de 138,25 kg de N ha<sup>-1</sup> como responsável pela máxima produção de BSPA (26,01 g planta<sup>-1</sup>), observaram-se incrementos de 79,00 e 9,70%

comparando o valor máximo estimado com os verificados na dosagem  $D_1$  ( $14,53 \text{ g planta}^{-1}$ ) e na  $D_5$  ( $23,71 \text{ g planta}^{-1}$ ),

Para a terceira equação de regressão de  $F_3$ , aplicando-se a primeira derivada foi estimada à dose ótima de  $106,18 \text{ kg de N ha}^{-1}$  sendo responsável pela máxima produção de BSPA ( $26,19 \text{ g planta}^{-1}$ ), verificaram-se acréscimos de 52,53 e 36,76% quando se compara o valor máximo estimado com os encontrados na  $D_1$  ( $17,17 \text{ g planta}^{-1}$ ) e na  $D_5$ . ( $19,15 \text{ g planta}^{-1}$ ).

Os valores estimados pelos modelos de regressão quadrático dos adubos  $F_2$  e  $F_3$  demonstram a maior potencialidade destes para a produção de BSPA com a utilização de menores dosagens em relação a fonte  $F_1$ .

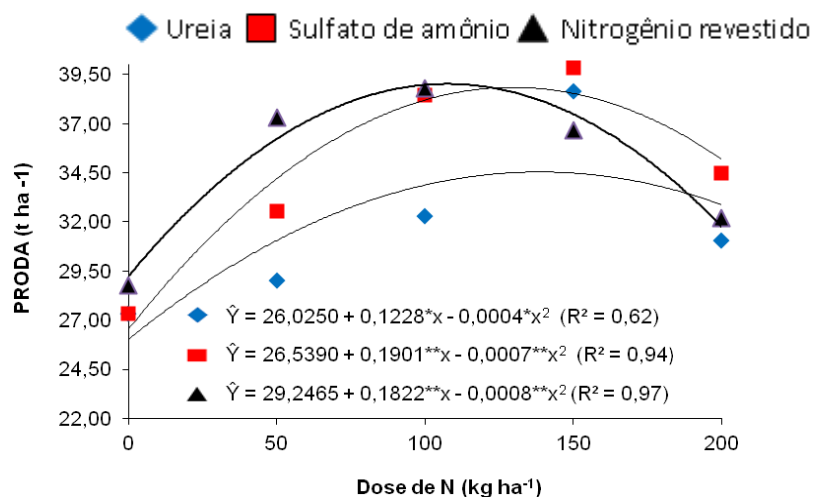
O manejo de adubação com a fonte de nitrogênio de liberação gradual alcançou valor mais alto para a produção de BSPA ( $26,19 \text{ g planta}^{-1}$ ) com o uso da menor dosagem ( $106,18 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ), possivelmente, devido a maior eficiência da fonte. Este fenômeno pode ter ocorrido devido as condições de temperatura e umidade do solo na área experimental terem contribuído para o aumento da solubilidade da película que envolve o adubo, o que promoveu fornecimento contínuo de nitrogênio, aumentando a disponibilidade do macronutriente no solo, o que contribuiu para a maior produção da BSPA da alface lisa.

Os resultados obtidos para BSPA nesta pesquisa concordam com os encontrados por NICOULAUD et al. (1990) que observaram aumentos significativos na produção da matéria seca em plantas de alface usando cama de aviário sob diferentes doses, sendo os mais altos rendimentos alcançados com as doses de 24 a  $36 \text{ t ha}^{-1}$ , o mesmo foi verificado por SAMINÉZ et al. (2002) com a aplicação de  $30 \text{ t ha}^{-1}$  de esterco bovino.

Comportamento similar foi obtido por SILVA et. al (2010) estudando o efeito da aplicação de compostos orgânicos como fonte de nitrogênio, para a cultivar Verônica conduzida em ambiente protegido em Botucatu - SP, constataram que as quantidades crescentes de adubos aplicadas proporcionaram aumentos na BSPA em dois ciclos sucessivos.

Os valores observados de produtividade agrônômica (PRODA) pela adição de doses crescentes de nitrogênio se ajustaram ao esquema quadrático (Figura 32). Na primeira fase de produção estimada pelos modelos quadráticos de PRODA observa-se que os aumentos das doses promoveram incremento

da produtividade da alface, enquanto que na segunda fase de produção o aumento da quantidade de N fornecida causou efeito negativo para a variável biométrica em estudo.



**Figura 32.** Análise de regressão da produtividade agrônômica (PRODA) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Para  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  os valores médios de PRODA observados no final do experimento foram iguais a 31,66; 34,53 e 34,74 t ha<sup>-1</sup>. Pela derivada primeira da equação quadrática de  $F_1$ , calculou-se a dose ótima de 153,50 kg de N ha<sup>-1</sup> a qual foi responsável pela máxima PRODA (35,44 t ha<sup>-1</sup>), obtiveram-se aumentos de 36,20 e 2,49% quando se comparam o respectivo valor máximo estimado com os verificados na  $D_1$  (26,02 t ha<sup>-1</sup>) e na  $D_5$  (34,58 t ha<sup>-1</sup>).

Pela derivada primeira da segunda equação quadrática de  $F_2$  estimou-se à dose ótima de 135,78 kg de N ha<sup>-1</sup> como responsável pela máxima PRODA (39,44 t ha<sup>-1</sup>), observaram-se acréscimos de 48,66 e 7,90% comparando o valor máximo estimado com os obtidos na dosagem  $D_1$  (26,53 t ha<sup>-1</sup>) e na  $D_5$  (36,55 t ha<sup>-1</sup>).

Para a terceira equação de regressão de  $F_3$ , aplicando-se a primeira derivada foi estimada à dose ótima de 113,87 kg de N ha<sup>-1</sup> sendo responsável pela máxima produção de BSPA (39,62 t ha<sup>-1</sup>), verificaram-se incrementos de 35,49 e 17,63% quando se compara o valor máximo estimado com os encontrados na  $D_1$  (29,24 t ha<sup>-1</sup>) e na  $D_5$  (33,68 t ha<sup>-1</sup>).

A partir dos dados estimados pelos modelos de regressão quadráticos de PRODA podemos identificar que as fontes  $F_2$  e  $F_3$  podem ser recomendadas para o cultivo da alface nas condições edafoclimáticas onde a pesquisa foi realizada. O uso de doses menores de (135,78 e 113,87 kg de N  $ha^{-1}$ ) de  $F_2$  e  $F_3$  em comparação à fonte  $F_1$  foram responsáveis pelas máximas PRODA de (39,44 e 39,62 t  $ha^{-1}$ ), porém, as aplicações de dosagens superiores à ótima estimada pelo modelo quadrático podem acarretar em queda produtividade da alface e elevação dos custos de produção.

A máxima PRODA com aplicação de  $F_3$  foi alcançada com a utilização de dose menor (113,87 kg de N  $ha^{-1}$ ) em relação às demais fontes, possivelmente, a fonte de liberação gradual apresentou maior eficiência no fornecimento de nitrogênio, principalmente nas últimas semanas que antecedem a colheita da alface, no qual a demanda deste macronutriente aumenta consideravelmente.

MANTOVANI et al. (2005) observaram aumento significativo da produtividade das cultivares de alface estudadas com a elevação de doses de N. Estes autores também constaram que, para as cultivares crespas, Vera e Verônica, a máxima produtividade foi alcançada nas doses de 163 e 176 kg de N  $ha^{-1}$ , respectivamente, superiores as doses encontradas neste trabalho. A máxima produtividade alcançada pelas diferentes cultivares de alface com as doses de até 176 kg de N  $ha^{-1}$  aconteceu, possivelmente, devido às condições edafoclimáticas diferentes onde o experimento foi desenvolvido.

RESENDE et al. (2005) em estudo com alface americana sob fertirrigações diárias de nitrogênio obteve valores máximos produtividade com a aplicação de 89,1 kg de N  $ha^{-1}$ . Os resultados obtidos no presente estudo também corroboraram com o trabalho realizado por GADELHA (2003) testando o efeito da aplicação de urina de vaca em diferentes doses na produção de alface, constatou que a aplicação de 20 ml de solução de urina, gerou acréscimo de 10,32% na massa fresca da parte aérea, em relação à testemunha, alcançando produtividade de 51,6 t  $ha^{-1}$ .

Na (Tabela 11) verificou-se diferença significativa em níveis de 5 a 0,1% de probabilidade da interação do fertilizante (F) x doses (D) e dos fatores isolados F e D para as variáveis biométricas de crescimento área foliar, índice de área foliar e taxa de crescimento absoluto, exceto para a variável taxa



assimilatória líquida. Os coeficientes de variação da tabela foram menores que 14,62% indicando que os dados obtidos no experimento apresentam-se com uma boa precisão.

**Tabela 11.** Análise da variância para área foliar (AF), índice de área foliar (IAF), taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa assimilatória líquida (TAL)

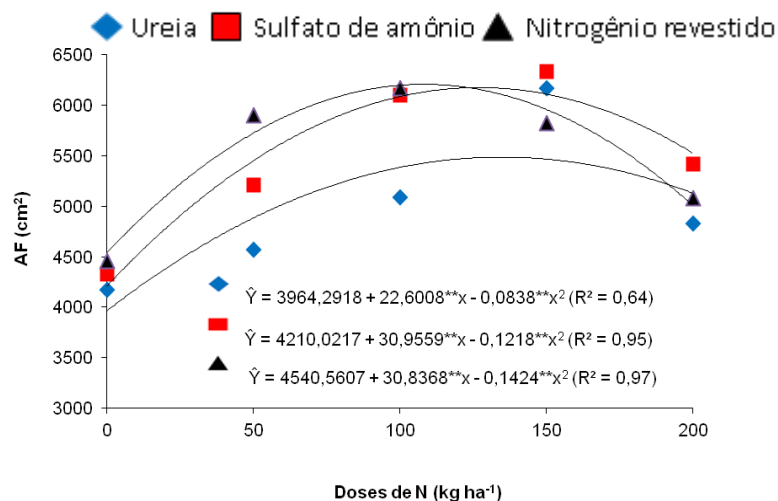
Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		AF	IAF	TCA	TAL
F	2	1775686,18**	2,15***	0,03**	0,005 <sup>NS</sup>
D (kg ha <sup>-1</sup> )	4	5697979,12***	7,29**	0,14**	0,06 <sup>NS</sup>
F x D	8	541659,76**	0,81**	0,036**	0,03 <sup>NS</sup>
Resíduo	45	89869,02	0,06	0,0009	0,002
CV%		11,64	14,62	10,92	9,77

F, D, GL, CV: Fertilizante, Dose, Grau de Liberdade e Coeficiente de Variação.

\* \*\* e \*\*\* significativos ao nível de 5, 1 e 0,1 % de significância pelo teste F.

<sup>NS</sup> Não significativo

O aumento das doses de nitrogênio das fontes de adubos influenciaram nos valores observados de área foliar (AF) que se ajustaram ao modelo de regressão quadrático (Figura 33). Com o gráfico do polinômio quadrático observa-se que o aumento da AF pode ser atribuído à maior extração de nitrogênio da parte aérea da planta com o uso de dosagens adequadas ao crescimento da cultura da alface.



**Figura 33.** Análise de regressão da área foliar (AF) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Os dados médios de AF observados nas plantas foram equivalentes a 4966,77; 5478,38 e 5487,23 cm<sup>2</sup> no manejo de ureia (F<sub>1</sub>), sulfato de amônio (F<sub>2</sub>) e nitrogênio revestido (F<sub>3</sub>). Pela derivada primeira da equação de

regressão de  $F_1$ , calculou-se a dose ótima de 134,85 kg de N  $ha^{-1}$  a qual foi responsável pelo máximo crescimento da AF (5488,14  $cm^2$ ), obtiveram-se aumentos de 38,41 e 6,93% quando se comparam o respectivo valor máximo estimado com os verificados na  $D_1$  (3964,29  $cm^2$ ) e na  $D_5$  (5132,45  $cm^2$ ).

Pela derivada primeira da segunda equação quadrática de  $F_2$  estimou-se à dose ótima de 127,07 kg de N  $ha^{-1}$  como responsável pelo máximo crescimento da AF (6176,90  $cm^2$ ), observaram-se acréscimos de 46,72 e 11,71% comparando o valor máximo estimado com os verificados na dosagem  $D_1$  (4210,02  $cm^2$ ) e na  $D_5$  (5529,18  $cm^2$ ).

Para a terceira equação de regressão de  $F_3$ , aplicando-se a primeira derivada foi estimada à dose ótima de 108,27 kg de N  $ha^{-1}$  sendo responsável pelo máximo crescimento de AF (6209,99  $cm^2$ ), verificaram-se incrementos de 36,76 e 23,90% quando se compara o valor máximo estimado com os encontrados na  $D_1$  (4540,56  $cm^2$ ) e na  $D_5$  (5011,92  $cm^2$ ).

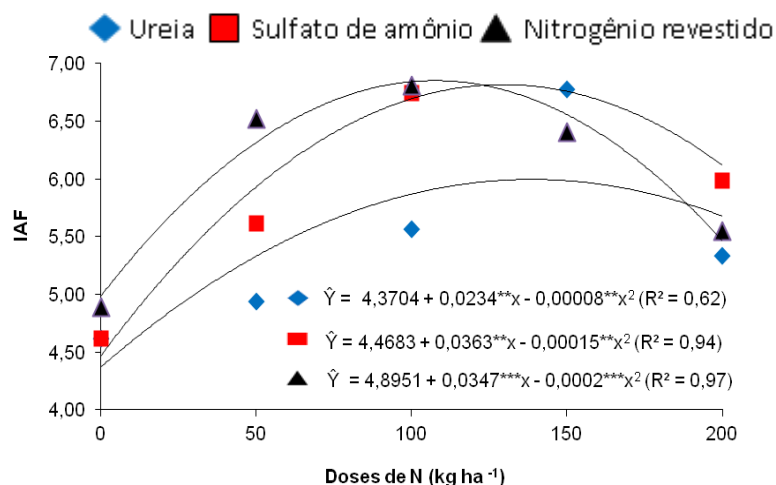
Os dados estimados pelas equações polinomiais de AF demonstram que o uso de doses superior a ótima estimada pela derivada primeira causa redução da área foliar para as fontes de fertilizantes o que reduz a interceptação da energia radiante e, em consequencia a fotossíntese e desenvolvimento da parte aérea da alface.

Os valores encontrados para AF indicam que os tratamentos que usaram as fontes  $F_2$  e  $F_3$  registraram valores superiores aos tratamentos que receberam  $F_1$ , independente da dose aplicada. O maior incremento da AF para o uso de  $F_2$  e  $F_3$ , eventualmente, ocorreu devido estas fontes serem mais eficientes no fornecimento de nitrogênio para a solução do solo, o que pode ter promovido maior absorção e exportação do macronutriente para a parte aérea da alface e, em consequência aumento da área foliar.

O aumento da área foliar em alface com a utilização de doses crescentes de composto e vermicomposto, como fontes diferentes de nitrogênio foram relatados pelos pesquisadores (RICCI, 1993; SOUZA et al., 2005).

O índice de área foliar (IAF) foi influenciado pelas diferentes doses e fontes de N (Figura 34). A partir dos efeitos dos gráficos dos polinômios quadráticos é possível verificar que para o primeiro estágio de crescimento o IAF é crescente, porém no segundo estágio o IAF apresentou um

comportamento decrescente com a aplicação de maiores quantidades de nitrogênio.



**Figura 34.** Análise de regressão do índice de área foliar (IAF) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Para as fontes F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub> os valores médios do IAF observados foram iguais a 5,44; 5,99 e 6,03. Pela derivada primeira da equação de regressão de F<sub>1</sub>, calculou-se a dose ótima de 146,25 kg de N ha<sup>-1</sup> a qual foi responsável pelo máximo IAF (6,08), obtiveram-se aumentos de 39,13 e 3,93% quando se compararam o respectivo valor máximo estimado com os verificados na D<sub>1</sub> (4,37) e na D<sub>5</sub> (5,85).

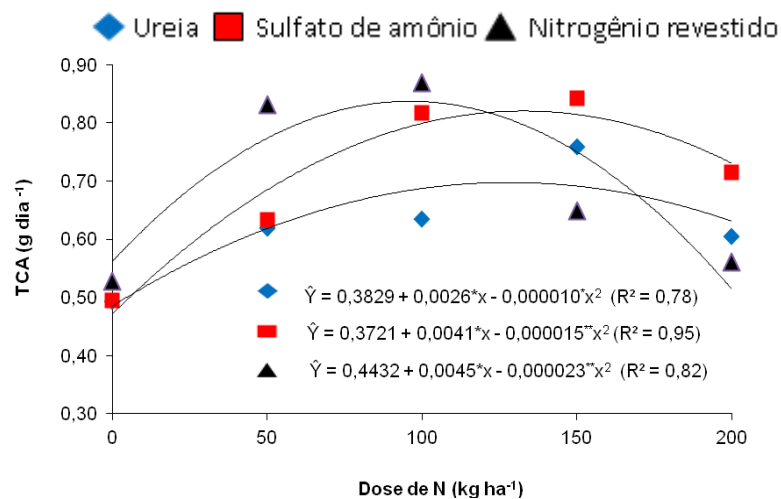
Pela derivada primeira da segunda equação quadrática de F<sub>2</sub> estimou-se à dose ótima de 121,00 kg de N ha<sup>-1</sup> como responsável pelo máximo IAF (6,66), verificaram-se aumentos de 48,99 e 16,23% comparando o valor máximo estimado com os verificados na dosagem D<sub>1</sub> (4,47) e na D<sub>5</sub> (5,73).

Para a terceira equação de regressão de F<sub>3</sub>, aplicando-se a primeira derivada foi estimada à dose ótima de 86,75 kg de N ha<sup>-1</sup> sendo responsável pelo máximo IAF (6,40), verificaram-se acréscimos de 30,61 e 66,67% quando se compara o valor máximo estimado com os encontrados na D<sub>1</sub> (4,90) e na D<sub>5</sub> (3,84).

Para as doses ótimas de (146,25; 121,00 e 86,75 kg de N ha<sup>-1</sup>) foram alcançados os máximos IAF de 6,08; 6,66 e 6,40 para os fertilizantes F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> e F<sub>3</sub>, no entanto, a partir das doses ótimas o uso excessivo de fertilizantes

nitrogenados promoveram diminuição do IAF. No valor de IAF ótimo ocorreu maior interceptação da luz incidente com um mínimo de autosombreamento, o que possivelmente promoveu maior taxa de crescimento da cultura e aumento da produtividade.

Na (Figura 35) encontra-se a taxa de crescimento absoluto (TCA) para as diferentes doses e fontes de nitrogênio. Os valores observados para a variável biométrica em estudo apresentaram tendência quadrática em função das quantidades crescentes de nitrogênio fornecidas. Com os gráficos ajustados dos polinômios quadráticos observa-se que houve aumento da TCA no primeiro estágio de produção, na dose  $D_1$  de ( $0 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ) até a dose ótima que é estimada pela derivada primeira das equações, a partir deste ponto a aplicação de doses mais altas no segundo estágio de produção causou efeito negativo na TCA.



**Figura 35.** Análise de regressão da taxa de crescimento absoluto (TCA) para as doses crescentes de N das diferentes fontes de nitrogênio

\*\*\*, \*\*, \* - Significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente

Para a aplicação de  $F_1$ ,  $F_2$  e  $F_3$  os dados médios de TCA observados após a colheita das plantas foram iguais a 0,62; 0,70 e 0,69  $\text{g dia}^{-1}$ . Pela derivada primeira da equação polinomial de  $F_1$ , calculou-se a dose ótima de 130,0  $\text{kg de N ha}^{-1}$  a qual foi responsável pela máxima TCA ( $0,55 \text{ g dia}^{-1}$ ), obtiveram-se aumentos de 44,74 e 10,00% quando se comparam o respectivo

valor máximo estimado com os verificados na  $D_1$  ( $0,38 \text{ g dia}^{-1}$ ) e na  $D_5$  ( $0,50 \text{ g dia}^{-1}$ ).

A partir da derivada primeira da segunda equação quadrática de  $F_2$  estimou-se à dose ótima de  $136,66 \text{ kg de N ha}^{-1}$  como responsável pela máxima TCA ( $0,64 \text{ g dia}^{-1}$ ), observaram-se acréscimos de 72,97 e 12,28 % comparando o valor máximo estimado com os verificados na dosagem  $D_1$  ( $0,37 \text{ g dia}^{-1}$ ) e na  $D_5$  ( $0,57 \text{ g dia}^{-1}$ ).

Com a terceira equação de regressão de  $F_3$ , aplicando-se a primeira derivada foi estimada à dose ótima de  $97,83 \text{ kg de N ha}^{-1}$  sendo esta responsável pela máxima TCA ( $0,66 \text{ g dia}^{-1}$ ), verificaram-se incrementos de 50,00 e 65,00% quando se compara o valor máximo estimado com os encontrados na  $D_1$  ( $0,44 \text{ g dia}^{-1}$ ) e na  $D_5$  ( $0,40 \text{ g dia}^{-1}$ ).

A partir dos valores estimados pelas equações de regressão de TCA verifica-se que o uso da fonte  $F_3$  promoveu maior velocidade de crescimento diário da parte aérea da planta, durante a fase experimental, em relação às demais fontes, seguido do manejo da adubação com  $F_2$  e  $F_1$ . Este efeito pode ser explicado pela maior eficiência do fertilizante gradual em fornecer o nitrogênio de forma contínua durante todo o estágio de desenvolvimento vegetativo da alface.

## 5. Conclusões

- Para os resultados encontrados nas condições edafoclimáticas da presente pesquisa, as variáveis avaliadas foram influenciadas pelos fertilizantes de liberação rápida e gradual quando submetidas a diferentes doses de N;
- Com o incremento das doses aplicadas de ureia e sulfato de amônio houve redução do pH e dos teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, enquanto que o uso da fonte Sulfammo Meta Full 29 elevou as concentrações dos macronutrientes secundários no solo após o cultivo;
- O uso de quantidades crescentes de nitrogênio das fontes de adubos aumentaram linearmente os níveis de ferro, cobre, zinco e manganês no solo;
- Os teores estimados de nitrogênio, fósforo e potássio nas folhas de alface variaram significativamente em função das doses de nitrogênio fornecidas pelas fontes de fertilizantes e apresentaram ajustes polinomiais quadráticos;
- A dose de máxima eficiência do fertilizante Sulfammo Meta Full 29 foi de 113,87 kg de N ha<sup>-1</sup>, a do sulfato de amônio foi de 135,78 kg de N ha<sup>-1</sup> e da ureia convencional foi de 153,50 kg de N ha<sup>-1</sup> para a máxima produtividade agrônômica.
- A variável biométrica taxa assimilatória líquida não apresentou diferença estatística significativa para as condições experimentais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFAIA, S. S. Caracterização e distribuição das formas do nitrogênio orgânico em três solos da Amazônia Central. *Acta Amazônica*, v. 36, p.135 - 140, 2006.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 301 p. Irrigation and Drainage Paper, 56.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendações de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema de plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 26, p. 241 - 248, 2002.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; TÔRRES, A. N. L.; FONSECA, J. A.; TEIXEIRA, J. R. Crescimento e teores de nutrientes em tecido de alface pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel num solo ácido. *Revista de Ciência Agroveterinaria*, v. 5, p. 9 - 15, 2006.
- BANDYOPADHYAY, K. K.; SAKAR, M. C. Nitrogen use efficiency, 15 N balance, and nitrogen losses in flooded Rice in an Inceptisol. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 36, p. 1661 - 1679, 2005.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2001. 8 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular Técnica, 49).
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes e métodos de aplicação de nitrogênio em feijoeiro Irrigado submetido a três níveis de acidez do solo. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 28, p. 785 - 792, 2004.

- BENINCASA MMP (2003) Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Jaboticabal, FUNEP. 41p.
- BENINNI E. R. Y.; TAKAHASHI H. W.; NEVES C. S. V. J. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. Semina. v. 26, p. 273 - 282, 2005.
- BERNARDI, A. C. C.; VERRUNA-BERNADI, M. R.; WERNECK, C. G.; HAIM, P. G; MONTE, M. B. M. Produção, aparência e teores de nitrogênio, fósforo e potássio em alface cultivada em substrato com zeólita. Horticultura Brasileira, v. 23, p. 920 - 924, 2005.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8.ed. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. Análises químicas e bioquímicas de plantas. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2011. 267 p.
- BEZERRA NETO, F., GÓES S. B., SÁ, J. R., LINHARES, P. C. F., GÓES G. B., MOREIRA, J. Desempenho agrônomo da alface em diferentes quantidades e tempos de decomposição de jitrana verde. Revista Brasileira de Ciências Agrárias. v. 6, p. 236 - 242, 2011.
- BONO, J.; RODRIGUES, A.; MAUAD, M.; ALBUQUERQUE, J.; YAMAMOTO, C.; CHERMOUTH, K.; FREITAS, M. Modo de aplicação de fertilizantes nitrogenados na qualidade fisiológica de sementes de milho. Revista Agrarian, v. 1, p. 91 - 102, 2008.
- CANTARELLA, H. Perdas de N por volatilização podem comprometer a adubação. Petrofértil Rural, v. 13, p. 1,1992.
- CANTARELLA, H. Calagem e adubação do milho. In: BÜLL, L.T. & CANTARELLA, H., eds. Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba, POTAFOS, 1993. p.148 - 196.



- CARDOSO, A. I. I.; HIRAKI, H. Avaliação de doses e épocas de aplicação de nitrato de cálcio em cobertura na cultura do rabanete. *Horticultura Brasileira*, v. 19, p. 328 - 331, 2001.
- CARVALHO, M. M.; MARTINS, C. E.; VERNEQUE, R. S. Respostas de uma espécie de brachiaria a fertilização com nitrogênio e potássio em um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 15, p. 195 - 200, 1991.
- CAVALCANTI, F. J. de A. (Coord.). *Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2a. aproximação. 2 ed. rev.* Recife: IPA, 2008. 212 p.
- CHENG, W.; NAKAGIMA, Y.; SUDO, S.; AKIYAMA, H.; TSURURA, H. N<sub>2</sub>O and no emissions from a field of Chinese cabbage as influenced by bande application of urea or controlled-release urea fertilizers. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v. 63, p.231 - 238, 2002.
- CHRISTIANSEN, J. E. *Irrigation by sprinkling.* Berkeley, University of California: Agricultural Experiment Station, 1942. 124 p. (Bulletin, 670).
- COMETTI, N. N.; MATIAS, G. C. S.; ZONTA, E.; MARY, W.; FERNANDES, M. S. Compostos nitrogenados e açúcares solúveis em tecidos de alface orgânica, hidropônica e convencional. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 22, n. 4, p. 748 - 753, 2004.
- COSTA, K. A. P.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P.; RODRIGUES, C.; SEVERIANO, E. C. Doses e fontes de nitrogênio em pastagem de capim-marandu. I- alterações nas características químicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, p.1591 - 1599, 2008.
- CPRM – Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea - Diagnóstico do Município de Chã Grande, Pernambuco, outubro de 2005.

- DUETE, R. R. C. Estudo de doses, parcelamento e formas de nitrogênio na adubação de milho usando 15N. 2000. 152 f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2 edição. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212 p.
- FAQUIN, V.; ANDRADE, A. T. Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional de hortaliças. Lavras: UFLA/FAEPE, 2004. 88 p.
- FERNANDEZ-ESCOBAR R.; BENLLOCH M.; HERRERA E.; GARCÍA NOVELO J. M. Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching. *Scientia Horticulturae*, v. 101, p. 39 - 49, 2004.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, p. 36 - 41, 2008.
- FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2º edição. Viçosa: UFV, 2003. 402 p.
- GADELHA R. S. S, CELESTINO R. C. A & SHIMOYA A. Efeito da utilização de urina de vaca na produção da alface. *Pesquisa Agropecuária & Desenvolvimento Sustentável*, v. 1, p. 179 - 182, 2003.
- 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 cultivada em condições do Semi-Árido. *Horticultura Brasileira*, v. 24, p. 190 - 194, 2006.

- GIRARDI E. A & MOURÃO FILHO F. A. A. Emprego de fertilizantes de liberação lenta na formação de pomares de citros. *Revista Laranja*, v. 24, p. 507 - 518, 2003.
- GOLDEN, B. R.; NORMAN, R. J.; WILSON, JR. C. E.; DELONG, R.E. Evaluation of Polymer-Coated Urea for Direct-seeded, Delayed-Rice Production. *Soil Science Society of American Journal*, v. 73, p. 375 - 383, 2009.
- GOMES, R. F.; SILVA, A. G.; ASSIS, R. L. & PIRES, F. R. Efeitos de doses e épocas de aplicação de nitrogênio nos caracteres agrônômicos da cultura do milho sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 31, p. 931 - 938, 2007.
- HARGREAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering Agriculture*, v. 1, p. 96 - 99, 1985.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. *Sprinkler and trickle irrigation*. New York: Van Nostrand Reinhold. 1990. 280 p.
- LARA CABEZAS, W. A. R.; KORNDORFER, G. H.; MOTTA, S. A. Volatilização de N-NH<sub>3</sub> na cultura de milho: I- Efeito da irrigação e substituição parcial da ureia por sulfato de amônio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 21, p. 481 - 487, 1997.
- LEDO, F. J. S., CASALI, V. W. D.; MOURA, W. M.; PEREIRA, P. R. G.; CRUZ, C. D. Eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de alface. *Revista Ceres*, v. 47, p. 273 - 285, 2000.
- MAIA, C. E.; CANTARUTTI, R. B. Acumulação de nitrogênio e carbono no solo pela adubação orgânica e mineral contínua na cultura do milho. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola ambiental [online]*, v. 8, p. 39 - 44, 2004.
- MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

- MALAVOLTA, E.; GOMES, F. P.; ALCARDE, J. C. Adubos e Adubações. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição das plantas. São Paulo, Ceres, 1980, 251 p.
- MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Manejo da irrigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Centro de Pesquisa de Milho e Sorgo. – Brasília: EMBRAPA-SSI, 1994. p. 129 - 158.
- MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, ME. 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.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. Irrigação por aspersão em hortaliças: qualidade da água, aspectos do sistema e método pratico de manejo. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica: Embrapa Hortaliças, 2008c. 150
- MCPHARLIN, I. R.; AYLMOORE, P. M.; JEFFERY, R. C. Nitrogen requirements of lettuce under sprinkler irrigation and trickle fertigation on a spearwood sand. Journal of Plant Nutrition, v. 18, p. 219 - 241, 1995.
- MERRIAM, J. L.; KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

NICOULAUD, B. A. L.; MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Rendimento e absorção de nutrientes por alface em função de calagem e adubação mineral e orgânica em solo. "Areia quartzosa hidromórfica". Horticultura Brasileira, v. 8, p. 6 - 9, 1990.

NUTRIÇÃO EM FOCO 2009. Disponível na internet em: <http://www.nutricaoemfoco.com/2009/08/04/a-alface/> Acesso em: 24 maio 2009.

OLIVEIRA, F. H. T.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F. Fertilidade do solo no sistema plantio direto. In: TOPICOS EM CIENCIA DO SOLO, 3, 2002, Viçosa. Resumos... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. p. 393 - 486.

PEREIRA, O. C. N.; BERTONHA, A.; FREITAS, P. S. L. GONÇALVES, A. C. A.; REZENDE, R.; SILVA, F. F. Evapotranspiração da alface em função de água e nitrogênio. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 25, n. 2, p. 387 - 391, 2003.

PEREIRA, H. S.; LEO, A. F.; VERGINASSI, A.; CARNEIRO, M. A. C. Ammonia volatilization of urea in the out-of-season corn. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 33, p.1685 - 1694, 2009.

PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; CORREA, L. A.; SILVA, A. G.; CANTARELLA, H. Nutrientes na fitomassa de capim-marandu em função de fontes e doses de nitrogênio. Ciência e Agrotecnologia, v. 30, n. 3, p. 562 - 568, 2006.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres/POTAFOS, 1991. 343 p.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; BAYER, C. Teste de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. Ciência Rural, v. 34, p. 1279 - 1287, 2004.

- RAUN, W.R.; JOHNSON, G. V. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, v. 91, p. 357 - 363, 1999.
- 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*, v. 23, p. 976 - 981, 2005 a.
- REZENDE, B. L. A.; COSTA, C. C.; CECÍLIO FILHO, A. B.; MARTINS, M. I. E. G. Custo de produção e rentabilidade da alface crespa, em ambiente protegido, em cultivo solteiro e consorciado com tomateiro, Jaboticabal, Estado de São Paulo. *Informações econômicas*, v. 35, 2005.
- RIBEIRO, A. C. Como evitar a perda do nitrogênio de adubo por volatilização. *Boletim Informativo da SBCS, Campinas*, v. 21, p. 43 - 446, 1996.
- RICCI M. S. F. 1993. Crescimento e teores de nutrientes em cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) adubados com vermicomposto. Viçosa: UFV. 101 p (Tese mestrado).
- ROBERTSON, G.P. & GROFFMAN, P.M. Nitrogen transformation. In: PAUL, E.A., ed. *Soil microbiology, biochemistry, and ecology*. New York, Springer, 2007. p. 341 - 364.
- ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 38, p. 301 - 309, 2003.
- RUAN, J.; WU, X.; HARDTER, R. Effects of potassium and magnesium nutrition on the quality components of different types of tea. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 79, p. 47 - 52, 1999.

- SAMINÉZ, T. C. de O.; RESENDE, F. V.; COUTO, J. R.; PAULA, W. S. de; SOUZA, T. A. de; CARNEIRO, R. G. Produção de alface em função de diferentes fontes de matéria orgânica sob sistema orgânico de produção. Horticultura Brasileira. Brasília v. 20, nº 2, suplemento 1, 280 p , 2002.
- SANCHEZ, S. V. Avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP). 63 f. 2007, Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.
- SANTOS, A. B. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e fertilizante potássico na cultura do arroz irrigado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, p. 12 - 16, 2002.
- SANTOS, R. F., BORSOI, A., TOMAZZONI, J. L., VIANA, °H., MAGGI, M. F. Aplicação de nitrogênio na cultura da alface. Revista Varia Scientia Agrárias. v. 02, p. 69 - 77, 2012.
- SARMENTO, P.; RODRIGUES, L.R.A.; CRUZ, M.C.P.; LUGAO, S.M.B.; CAMPOS, F.P.; CENTURION, J.F.; FERREIRA, M.E. Atributos químicos e físicos de um argissolo cultivado com Panicum maximum Jacq. cv. IPR-86 Milênio, sob lotação rotacionada e adubado com nitrogênio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 32, p. 183 - 193, 2008.
- SCIVITTARO, W. B. S.; OLIVEIRA, R. P. MORALES, C. F. G.; RADMANN, E. B. Adubação nitrogenada na formação de porta-enxertos de limoeiro 'cravo' em tubetes. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 26, p. 131 - 135, 2004.
- SHAVIV, A. 2000. Advances in Controlled Release of Fertilizers. Advances in Agronomy. San Diego, v. 71, p. 1 - 49, 2000, Word version, before printing.

- SHOJI, S., DELGADO, J., MOSIER, A., MIURA, Y. Use of controlled release fertilizers and nitrification inhibitors to increase nitrogen use efficiency and to conserve air and water quality. *Commun. Soil Science*, v. 32, p. 1051 - 1070, 2001.
- SILVA, J. O.; SOUZA, P. A.; GOMES JUNIOR, J.; PEREIRA, P. R. G; ROCHA, F. A. Crescimento e composição mineral da alface no sistema hidropônico por capilaridade. *Irriga*, v.10, n.2, p. 146 - 154 2005.
- SILVA, F. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L.; SILVA, R. B. Resposta da alface à adubação nitrogenada com diferentes compostos orgânicos em dois ciclos sucessivos. *Actasciagron*, v. 32, n. 1, p. 131 - 137, 2010.
- SILVA, F. B. R.; SILVA, M. A. V.; BARROS, A. H. C.; SANTOS, J. C. P.; SILVA, A. B.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N.; PARAHYBA, R. B. V.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SOUZA NETO, N. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, O. F.; LUZ, L. R. Q. P.; LEITE, A. P.; COSTA, L. G. M.; SILVA, C. P. Zoneamento Agroecológico de Pernambuco - ZAPE. Recife: Embrapa Solos - Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento - UEP Recife; Governo do Estado de Pernambuco (Secretaria de Produção Rural e Reforma Agrária). (Embrapa Solos. Documentos; n<sup>o</sup>. 35). ZAPE Digital, CD-ROM. 2001.
- SOUZA, P. A.; NEGREIROS, M. Z.; MENEZES, J. B.; BEZERRA NETO, F.; SOUZA, G. L. F. M.; CARNEIRO, C.R; QUEIROGA, R. C. F. Características químicas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico. *Horticultura Brasileira*, v. 23, n. 3, p. 754 - 757, 2005.
- SOUSA, R. A.; SILVA, T. R. B. Acidificação de um Latossolo Vermelho Distroférico em função da aplicação de nitrogênio oriundo de ureia, sulfato de amônio e sulfammo. *Cultivando o Saber*, v. 2, p. 78 - 83, 2009.



SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap.5, p. 205 - 274.

STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 22 Edição, 2012, 1490 p.

STEINER, F.; ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F. Produção de alface 'Piraroxa' afetada pela adubação nitrogenada com fertilizante orgânico e mineral. Scientia Agraria Paranaensis. v. 11, p. 77 - 83, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia Vegetal. 4ª ed., Porto Alegre: Artmed. 2009. 848 p.

TAVARES, H. L.; JUNQUEIRA, A. M. R. Produção hidropônica de alface cv. Verônica em diferentes substratos. Horticultura Brasileira, v.17, p. 240 - 243, 1999.

TOMPSON, T. L.; DOERGE, T A. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated leaf lettuce: I. Plant Response. Soil Science Society of America Journal, Madison, v. 60, p. 163-168, 1996.

TRENKEL, M.E. 2007. Ullmann's Agrochemicals. Fertilizers, 3 (Chap. 4.4 and 4.5). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

TURAZI, C. M. V.; JUNQUEIRA, A. M. R.; OLIVEIRA, S. A.; BORGIO, L. A. Acúmulo de nitrato em alface em função da adubação, horário de colheita e tempo de armazenamento. Horticultura Brasileira, v. 24, p. 65 - 70, 2006.

VALE, D. W. Efeito da aplicação de nitrogênio nos atributos químicos do solo, na nutrição e na produção de cana-de-açúcar. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2009.

VILLAS BÔAS, R. L.; PASSOS, J. C.; FERNANDES, M.; BÜLL, L. T.; CEZAR, V. R. S.; GOTO, R. Efeito de doses e tipos de compostos orgânicos na produção de alface em dois solos sob ambiente protegido. Horticultura Brasileira, v. 22, p. 28 - 34, 2004.

WILSON, M.L., C.J. ROSEN, and J.F. MONCRIEF. Potato response to a polymer-coated urea on an irrigated, coarse-textured soil. Agronomic Journal, v. 101, p. 897 - 905, 2009.

ZAGO, V. C. P., EVANGELISTAS, M. R.; ALMEIDA, D. L.; GUERRA, J. G.; NEVES, M. C. P.; RUMJANEK, N. C. Aplicação de esterco bovino e ureia na couve reflexos nos teores de nitrato e na qualidade. Horticultura Brasileira, v. 17, p. 207 - 211, 1999.