

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE UREIA DE  
DISPONIBILIDADE GRADUAL EM FUNÇÃO DA  
TEMPERATURA E DO TEMPO DE INCUBAÇÃO**

**CATIA BEATRIS KLEIN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, abril de 2015

**UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE UREIA DE  
DISPONIBILIDADE GRADUAL EM FUNÇÃO DA  
TEMPERATURA E DO TEMPO DE INCUBAÇÃO**

**CATIA BEATRIS KLEIN**

**Orientador: Prof. Ph. D. Pedro Alexandre Varella Escosteguy**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UPF, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Área de Concentração em Produção Vegetal.

Passo Fundo, abril de 2015



A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação.

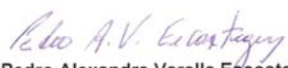
**“LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE UREIA DE DISPONIBILIDADE GRADUAL EM  
FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE INCUBAÇÃO”**

Elaborada por

Cátia Beatris Klein

Como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestra em  
Agronomia – Produção Vegetal**

Aprovada em: 06/04/2015  
Pela Comissão Examinadora

  
Dr. Pedro Alexandre Varella Escosteguy  
Presidente da Comissão Examinadora  
Orientador

  
Dra. Simone Meredith Scheffer Basso  
Coordenadora PPGAgro

  
Dr. Leandro Souza da Silva  
UFMS

  
Dr. Hélio Carlos Rocha  
Diretor FAMV

  
Dr. Edson Campanhola Bortoluzzi  
FAMV/UPF

CIP – Catalogação na Publicação

---

K64l Klein, Catia Beatris

Liberação de nitrogênio de ureia de disponibilidade gradual em função da temperatura e do tempo de incubação / Catia Beatris Klein . – 2015.

83 f. : il., color. ; 25 cm.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, 2015.

Orientador: Prof. Ph.D. Pedro Alexandre Varilla Escosteguy.

---

Catalogação: Bibliotecária Marciéli de Oliveira - CRB 10/2113

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por tudo e por estar sempre presente;

Aos meus pais, Ary e Lori, pelo apoio;

Ao cônjuge Michel, por estar ao meu lado em todos os momentos, sendo prestativo e me apoiando nas dificuldades;

À Universidade de Passo Fundo, por possibilitar a realização desse curso;

A CAPES pela concessão da modalidade taxa de bolsa de estudos.

Ao Prof. Ph.D. Pedro Escosteguy pela incansável orientação, pelos ensinamentos, pelo incentivo à pesquisa e pela dedicação e comprometimento junto ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UPF;

Aos colegas, mestrandos e doutorandos, pela parceria na transferência do conhecimento;

Aos estagiários do Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, pelo auxílio na execução dos experimentos;

A todos os professores do PPGAgro da UPF, pelo ensinamento passado e pelo incentivo à pesquisa científica;

À Empresa de Fertilizantes Produquímica, pelo fornecimento dos fertilizantes e ao auxílio prestado;

A todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho;

Muito obrigada!

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	xi
RESUMO .....	12
ABSTRACT .....	14
1 INTRODUÇÃO .....	16
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	18
2.1 Transformações do nitrogênio do solo.....	18
2.2 Fertilizantes nitrogenados .....	20
2.3 Eficiência dos fertilizantes nitrogenados .....	21
2.3.1 Influência da temperatura.....	23
3 MATERIAIS E MÉTODOS .....	27
3.1 Condições experimentais .....	27
3.2 Implantação e condução do experimento.....	28
3.3 Avaliações.....	30
3.3.1 Nitrogênio liberado dos grânulos .....	30
3.3.2 Nitrogênio e pH do solo .....	32
3.4 Análise estatística .....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	35
4.1 Liberação de nitrogênio dos grânulos .....	35
4.2 Nitrogênio total do solo .....	41
4.3 Nitrogênio mineral do solo .....	49
4.4 pH em água do solo .....	64
5 CONCLUSÕES.....	72
REFERÊNCIAS .....	73

APÊNDICES ..... 79

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Grânulos das ureias testadas nos experimentos....	25
2	Unidade experimental com o Latossolo no interior de caixa tetrapak (a), as quais foram incubadas em câmaras com controle de temperatura (b).....	27
3	Grânulo retirado do solo após a incubação (a) e grânulos pesados, e dentro do tubo de digestão, para análise do teor de nitrogênio (b).....	29
4	Percentual de nitrogênio liberado das ureias U37 (a), U38 (b) e U39 (c), em função do tempo incubação. Média das temperaturas de 5, 15, 25, 35 e 45 °C. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	34
5	Percentual de nitrogênio liberado das ureias U39 (a), U38 (b), U37 (c), em função da temperatura. Média do tempo de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	36
6	Percentual de nitrogênio liberado das ureias U37 (a), U38 (b) e U39 (c), em função da temperatura, aos 210, 150 e 90 dias de incubação, respectivamente desses fertilizantes em um Latossolo. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.	38
7	Percentual de nitrogênio total de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	41
8	Percentual de nitrogênio total de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	43



<b>Figura</b>		<b>Página</b>
9	Percentual de nitrogênio total de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	45
10	Nitrogênio mineral de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	51
11	Nitrogênio mineral de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	53
12	Nitrogênio mineral de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	55
13	Nitrogênio recuperado de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual (U39) contendo 39% desse nutriente, em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	57
14	Percentual de nitrogênio recuperado da Ureia 39, em função do número de dias de incubação. Média das temperaturas de 5, 15, 25, 35 e 45 °C. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	58

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
15	Percentual de nitrogênio recuperado da Ureia 39, em função da temperatura. Média dos 90 dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	58
16	Nitrogênio recuperado de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual (U38) contendo 38% desse nutriente, em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	59
17	Nitrogênio recuperado de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual (U37) contendo 37% desse nutriente, em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	60
18	Nitrogênio recuperado de um Latossolo incubado com ureia comum (Ureia) contendo 45% desse nutriente, em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	61
19	Valor do pH em água de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	64
20	Valor do pH em água de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	66
21	Valor do pH em água de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.....	68

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1	Atributos químicos e físicos do Latossolo Vermelho distrófico húmico utilizado no experimento.....	26

## **LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO DE UREIA DE DISPONIBILIDADE GRADUAL EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DO TEMPO DE INCUBAÇÃO**

**CATIA BEATRIS KLEIN<sup>1</sup>**

**RESUMO** – As condições ambientais afetam a liberação de nitrogênio (N) de fertilizantes de disponibilidade gradual. Neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito da temperatura e do tempo de incubação na liberação de N de três ureias de disponibilidade gradual. O percentual de N das ureias correspondeu a 39 (Experimento 1; U39), 38 (Experimento 2; U38) e 37% de N total (Experimento 3; U37). Os experimentos foram realizados em laboratório, na Universidade de Passo Fundo, em 2014. As unidades experimentais foram caixas tetra pak contendo 200 g de um Latossolo e os fertilizantes nitrogenados (exceto no tratamento Testemunha). Esses materiais foram incubados em câmaras com controle de temperatura. As ureias utilizadas foram revestidas com enxofre elementar (S<sup>0</sup>) e polímeros orgânicos biodegradáveis. A concentração dessas substâncias foi de 11 e 1,5% (U39), 14 e 2,5% (U38) e 16 e 3,0% (U37), respectivamente. Os fatores testados foram a temperatura e o tempo de incubação. Os experimentos foram em blocos casualizados (três repetições). As temperaturas testadas foram: 5, 15, 25, 35 e 45 °C. A liberação do N foi monitorada até os 90 (Experimento 1), 150

---

<sup>1</sup> Eng. Agr., mestranda do Programa de Pós-graduação em Agronomia (PPGAgro) da FAMV/UPF, Área de Concentração em Produção Vegetal.

(Experimento 2) e 210 dias (Experimento 3), após a incubação. Foi avaliado o efeito desses fatores no percentual de N liberado do grânulo. Os teores de N mineral e total e o valor do pH do solo foram avaliados quanto ao efeito desses fatores e quanto ao efeito das fontes de N (disponibilidade gradual x ureia). Nos três experimentos, as temperaturas de 5 e de 15 °C proporcionaram menor percentual de N liberado (19 a 40%, a 5 °C; ou 36 a 44%, a 15 °C, dependendo da ureia testada), menor incremento de N total e mineral para o solo e menor diminuição do valor de pH. No final do tempo de incubação, o percentual de N liberado foi maior a 35 °C (71 e 90%, U37 e U38, respectivamente) ou a 45 °C (96%, U39). A liberação de N das ureias de liberação gradual aumenta com o acréscimo do tempo e da temperatura de incubação. Esse efeito foi maior aos 90 (U39), 150 (U38) e 210 (U37) dias e com as temperaturas de 25 a 45 °C.

**Palavras-chave:** ureia coberta com polímero e enxofre; fertilizantes de eficiência aumentada; fertilizantes nitrogenados.

**NITROGEN RELEASE OF ENHANCED EFFICIENCY UREA  
AS A FUNCTION OF TEMPERATURE AND TIME OF  
INCUBATION**

**ABSTRACT** – The environmental conditions affect the release of nitrogen (N) from slow release fertilizers. The objective of this work was to evaluate the effect of temperature and incubation time on N release of three slow release ureas. The percentage of total N of the tested ureas was 39 (Experiment 1; U39), 38 (Experiment 2; U38), and 37% (Experiment 3; U37). The experiments were carried out in laboratory at the University of Passo Fundo, Brazil, in 2014. The experimental units were tetra pak boxes containing 200 g of an Oxisol and the tested ureas (except the Control). These materials were incubated in chambers with temperature control. The tested ureas were coated with elemental sulfur ( $S^0$ ) and biodegradable polymers. The concentration of these substances were 11 and 1.5% (U39), 14 and 2.5% (U38), 16 and 3.0% (U37), respectively. Temperature and time of incubation were the evaluated factors. The experiment was a randomized block design (three replications). The tested temperatures were 5, 15, 25, 35 and 45 °C. The N release was evaluated for up to 90 (Experiment 1), 150 (Experiment 2), and 210 days (Experiment 3) of incubation. The effect of incubation time and the temperature on the percentage of N released from the granule and on the content of mineral and total soil N and pH were evaluated. The N source (Slow release x conventional urea) effect on these variables was also evaluated. In all experiments, the lowest release of N was found at 5 (19 to 40%) and 15 °C (36 to 44%), depending on the tested urea. The

lowest temperatures also decreased total and mineral N increments on soil N and the pH value. At the end of the experiments, N released from the fertilizers was higher at 35 °C (71 and 90%, U37 and U38, respectively) or at 45 °C (96%, U39). Nitrogen release increases with time and temperature of incubation. This effect was higher at 90 (U39), 150 (U38) and 210 (U37) days and at 25 to 45 °C.

**Key words:** polymer and sulfur-coated urea; enhanced efficiency fertilizer; nitrogen fertilizers.

## 1 INTRODUÇÃO

A eficiência dos fertilizantes depende de fatores ambientais e da qualidade desses. A ureia é o fertilizante nitrogenado mais consumido no mundo, em razão da maior concentração de N e do menor preço por unidade deste nutriente (MATTOS JUNIOR et al., 2002). Contudo, pode apresentar baixa eficiência agrônômica devido as perdas acentuadas pelas condições ambientais e pelo manejo do solo (KISS & SIMIHAIAN, 2002). A poluição gerada pela baixa eficiência dos fertilizantes é uma preocupação mundial, pois o nitrogênio que não é absorvido pelas plantas pode contaminar o ambiente (SINGH et al., 2012).

Atualmente, há no mercado produtos com disponibilidade gradual de nutrientes, como é o caso da ureia recoberta por enxofre elementar e uma camada de polímero biodegradável não hidrossolúvel. Os fertilizantes de liberação gradual permitem reduzir as perdas de N, devido a barreira física das formas solúveis, evitando-se, assim, a atuação dos mecanismos de perdas e espera-se que a taxa de liberação do nutriente em comparação ao fertilizante tradicional seja reduzida e, conseqüentemente, poderá haver redução das perdas e melhor aproveitamento do nutriente pela planta.

Embora as ureias com disponibilidade gradual vem sendo utilizadas no mercado brasileiro, não há publicações científicas que indiquem a quantidade liberada e o tempo de liberação de N, em diferentes regiões climáticas. Isso preocupa, pois a temperatura pode afetar a liberação de N desses fertilizantes. Esses produtos podem ser usados em culturas com ciclo curto ou se a liberação foi muito lenta,



devem ser utilizadas em culturas perenes. Com o conhecimento da dinâmica de liberação, em função da temperatura, e do tempo que ocorre essa liberação, esses fertilizantes podem ser utilizados com maior eficiência e risco de contaminação ambiental.

Com o trabalho são esclarecidos alguns pontos importantes sobre a dinâmica de liberação de grânulos de fertilizantes nitrogenados de disponibilidade gradual em função da temperatura do solo. Os resultados contribuem em explicar como ocorre a liberação do N do grânulo em função da variação de temperaturas do solo entre 5 e 45 °C e também qual o percentual de N liberado no solo em função desta variação e do tempo após a aplicação do fertilizantes.

Com o trabalho objetivou-se avaliar a liberação de N de fertilizantes contendo enxofre elementar e revestido com polímeros, em função da temperatura do solo e do tempo de incubação.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Transformações do nitrogênio do solo

A disponibilidade de N as plantas é determinada pelo balanço entre os processos de mineralização, imobilização, nitrificação, lixiviação, volatilização e desnitrificação (ANGHINONI, 2007). Entre esses processos, a disponibilidade desse nutriente é principalmente controlada pela mineralização e pela imobilização de N. A mineralização de N consiste em uma série de reações bioquímicas, que transformam o N na forma orgânica do solo em N na forma de amônio, o qual é rapidamente oxidado a nitrato pelas bactérias nitrificadoras. Por outro lado, a imobilização do N consiste na assimilação de N por microrganismos, para a síntese celular, e está relacionada com a proporção carbono e nitrogênio (C/N) do substrato orgânico (AITA & GIACOMINI, 2007). Muitos estudos comprovam que, aproximadamente, entre 1,5 e 3,5% do N orgânico é mineralizado por ano (BRADY & WEIL, 2008).

A mineralização do N orgânico do solo é favorecida em pH entre 6 e 7, ambiente aeróbico, umidade em torno de 50 a 70% da capacidade de retenção de água pelo solo e temperatura entre 25 e 35 °C (HAVLIN et al., 2013). Espera-se que ocorra um acréscimo na taxa de mineralização de duas a três vezes a cada 10 °C, no intervalo de 10 a 40 °C (CANTARELLA, 2007).

Após a mineralização do N ocorre a nitrificação que é a oxidação do N amoniacal a nitrato. Esse processo é realizado por bactérias quimioautotróficas. A taxa de nitrificação é afetada pela acidez e temperatura do solo. A nitrificação é praticamente nula em

temperaturas inferiores a 4 °C e é maximizada entre 25 e 40 °C (CANTARELLA, 2007).

A ureia, logo após aplicada ao solo, rapidamente é decomposta pela urease, formando amônio (STAFANATO et al., 2013). Em condições de pH próximo a 7,0 o amônio é transformado em amônia, que pode volatilizar, assim como devido a fase alcalina da ureia (CANTARELLA, 2007). No entanto, as perdas por volatilização dessa forma de N dependem das condições ambientais, do pH do solo, da umidade, entre outros, podendo ocorrer perdas de até 70% em casos extremos (KISS & SIMIHAIAN, 2002).

Além da volatilização, as perdas de N por lixiviação podem ser importantes em solos arenosos, em áreas com clima úmido ou com irrigação inadequada (SINGH et al., 2012). A forma de N que mais lixivia é nitrato. Essa substância pode contaminar as águas subterrâneas, degradando a qualidade das águas (LIANG et al., 2011). O excesso de nitrato em águas superficiais causa a eutrofização (LUNAU et al., 2013).

Fertilizantes nitrogenados liberam gases no solo que posteriormente podem ir para a atmosfera. O óxido de nitrogênio (NO) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) são os principais componentes da chuva ácida (BRADY & WEIL, 2008). O principal gás liberado é o N<sub>2</sub>O, considerado 300 vezes mais impactante para a destruição da camada de ozônio do que o CO<sub>2</sub> (BRADY & WEIL, 2008). As emissões de N<sub>2</sub>O dos solos ocorrem devido aos processos microbiológicos de desnitrificação e nitrificação (CONRAD, 1996). O sistema de manejo do solo e do fertilizante tem grande influência nos fluxos de N<sub>2</sub>O. Nos últimos trinta anos na China, a emissão de gases de efeito estufa

triplicou, sendo os fertilizantes nitrogenados responsáveis por 7% da emissão de gases (CHEN, 2013).

Além das perdas econômicas decorrente das perdas do N aplicado com os fertilizantes convencionais, como a ureia, as transformações desse nutriente no solo também podem causar impactos ambientais (BRADY & WEIL, 2008), como mencionado anteriormente. Esse aspecto tem motivado o desenvolvimento de tecnologias que decrescem as perdas de N, como os fertilizantes nitrogenados de liberação gradual (JU et al., 2009), considerados como alternativa para manter a utilização de fertilizantes e reduzir a poluição ambiental (MACHADO et al., 2011), como a contaminação de águas subterrâneas e superficiais (SHAVIV, 2001).

## **2.2 Fertilizantes nitrogenados**

A fonte primária do N no solo é a atmosfera, onde a concentração de N corresponde a 78%, ocorrendo, principalmente, na forma de  $N_2$  (BRADY & WEIL, 2008). Essa forma de N é altamente estável e não é absorvida diretamente pela maioria das plantas. Nos solos há quantidades consideráveis de N, principalmente, em formas orgânicas. Uma pequena parte do N total do solo encontra-se nas formas minerais de amônio ( $NH_4^+$ ), nitrato ( $NO_3^-$ ) e nitrito ( $NO_2^-$ ), sendo estas as formas absorvidas pelas plantas (RAIJ, 2011).

O N é o nutriente que com maior frequência limita a nutrição de plantas (FERNANDES, 2010). A principal fonte de N utilizada como fertilizante na agricultura mundial é a ureia ( $CO(NH_2)_2$ ) (TRENKEL, 2010). Esse fertilizante apresenta vantagens, como a alta concentração de N e o menor preço de N por unidade de

fertilizante, em relação aos ofertados no mercado (MATTOS JUNIOR et al., 2002). A ureia tem outras vantagens, como a alta solubilidade (PEREIRA et al., 2013), a menor corrosividade e a compatibilidade com muitos fertilizantes (FRANCO & SARAIVA NETO, 2007). Por outro lado, esse fertilizante apresenta desvantagens, como a possibilidade de perdas de N por volatilização, na forma de amônia ( $\text{NH}_3$ ) (LARA CABEZAS & TRIVELIN, 1990), podendo perder até 80% do N aplicado dessa forma (MARTHA JUNIOR et al., 2004), a fitotoxidez de biureto e as perdas por lixiviação de nitrato (CANTARELLA, 2007).

### **2.3 Eficiência dos fertilizantes nitrogenados**

A eficiência da adubação nitrogenada está relacionada com o fornecimento do nutriente ao solo, com a exigência da cultura e com a expectativa de rendimento, com o contato entre o N e a raiz, com as características do fertilizante nitrogenado e com as transformações desse no solo (MALAVOLTA, 2006).

O N é um dos elementos mais influenciados pelas condições ambientais e de manejo, o qual possui uma dinâmica extremamente complexa devido à diversidade das formas químicas, reações e processos aos quais está envolvido. Isso interfere na eficiência do N aplicado na forma de fertilizantes minerais, como a ureia. Contudo, quando a ureia é aplicada na superfície do solo ocorrem perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$ .

Atualmente, busca-se maior eficiência no uso dos fertilizantes nitrogenados (HOSNI & SRASRA, 2008). Os fertilizantes com eficiência aumentada são uma das alternativas

propostas para essa finalidade, devido a algumas vantagens, como a redução do número de aplicações do fertilizante durante o ciclo da cultura, proporcionada pela liberação gradual do nutriente (UREÑA-AMATE et al., 2011). Esses fertilizantes também apresentam vantagens ambientais, pois reduzem a poluição do ar, da água e do solo. Isso ocorre, principalmente, pela redução da poluição do  $\text{NO}_3$  e o controle de emissão dos gases causadores do efeito estufa (SHAVIV, 2001).

Até recentemente, os fertilizantes com eficiência aumentada eram denominados fertilizantes de liberação controlada (FLC) ou lenta, cujos termos eram considerados sinônimos (AAPFCO, 1997). Atualmente, são considerados FLC os fertilizantes cuja quantidade e duração da liberação do nutriente é conhecida (SHAVIV, 2005). Conforme esse autor, os fertilizantes de liberação lenta são aqueles em que não se conhece a quantidade e a duração da liberação do nutriente, porém eles liberam o nutriente de forma mais lenta do que os fertilizantes convencionais.

Os fertilizantes nitrogenados de liberação controlada ou lenta são classificados conforme sua composição, como segue (TRENKEL, 2010):

- a) compostos de condensação de ureia: ureia formaldeído, ureia isobutilaldeído e ureia crotonaldeído;
- b) produtos recobertos: ureia recoberta com enxofre, ureia recoberta com polímeros e ureia recoberta com enxofre mais polímeros;

Os fertilizantes recobertos consistem na utilização de compostos que, misturados com a fonte de N, formam fertilizantes de

baixa permeabilidade (VITTI & HEIRINCHS, 2007), devido a barreira física que o composto forma contra a exposição do nutriente (BLAYLOCK, 2007). Os compostos mais frequentemente utilizados para esse propósito são o  $S^0$  e os polímeros impermeáveis com poros finos (poliuretanos, poliésteres, resinas), que se decompõem muito lentamente (TRENKEL, 1997).

O período de liberação de nutrientes dos FLCs ou de lenta liberação varia entre 3 a 16 meses (MORGAN et al., 2009). A taxa de liberação de nutrientes de fertilizantes revestidos com  $S^0$  e/ou polímeros é proporcional a espessura da camada dessas substâncias. Fertilizantes com revestimento mais espesso vão ter menos imperfeições do que os com menor espessura de revestimento (MORGAN et al., 2009), resultando em liberação mais lenta do N da ureia revestida.

O  $S^0$  é utilizado para revestir a ureia porque possui baixa solubilidade em água, baixo custo e é um nutriente secundário (HAVLIN et al., 2013). Também possui a vantagem de gerar acidez ao ser oxidado no solo (HOROWITZ & MEURER, 2007), reduzindo as perdas de N em aplicações na superfície do solo (TRENKEL, 2010), principalmente devido ao menor valor do pH próximo ao grânulo, o que pode decrescer a formação de  $NH_3$ .

### **2.3.1 Influência da temperatura**

O mecanismo de liberação do N dos fertilizantes de lenta ou controlada liberação consiste na penetração de água em micro poros e imperfeições do revestimento com  $S^0$  e polímeros. O revestimento da ureia com polímeros diminui a higroscopicidade do

grânulo e melhora as características físicas e físico-químicas (REIS JUNIOR & SILVA, 2012). Quando o fertilizante é revestido com  $S^0$  e polímeros, o mecanismo de liberação envolvido ocorre em várias etapas. Inicialmente, os microrganismos do solo degradam a primeira camada do polímero, para, então, expor a camada de  $S^0$ . A oxidação do  $S^0$  é efetuado por microrganismos do solo, como as bactérias do gênero *Thiobacillus* sp., fungos do gênero *Fusarium* sp. e actinomicetos (*Streptomyces* sp.) (HAVLIN et al., 2013). Com o aumento da temperatura do solo aumenta a taxa de liberação de N da ureia revestida com  $S^0$  (MORGAN et al., 2009). A temperatura ótima para oxidação de  $S^0$  é entre 25 e 40 °C (HAVLIN et al., 2013).

O vapor de água penetra na camada de resina e dissolve o núcleo do fertilizante. O nutriente dissolvido difunde na camada de revestimento do grânulo, sendo liberado para o solo (MORGAN et al., 2009).

A temperatura afeta a distribuição de fases do solo (sólida, líquida ou gasosa), assim como afeta as propriedades da água, seu movimento e o grau de interação com os minerais do solo. O aumento dos valores da temperatura provoca acréscimo da energia cinética das moléculas de água e a água adsorvida pode se transformar em água livre e vice-versa (DUARTE, 2004). Por outro lado, a redução dos valores da temperatura diminui a solubilidade, o que aumenta a sorção e pode causar a precipitação do soluto (COSTA, 2002).

A temperatura do solo influencia vários processos, como a difusão. Esse processo é descrito pela primeira lei de Fick, em que a difusão de um soluto em uma solução pura é expressa por:



$$F = -D \, dC/dx$$

Em que:

F = fluxo difusivo do soluto ( $\text{mol cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ );

D = coeficiente de difusão do soluto ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ )

$dC/dx$  = gradiente de concentração ( $\text{mol cm}^{-3} \text{ cm}^{-1}$ )

Adaptando a lei de Fick para situação de solos, a equação de difusão pode ser descrita como segue (NYE & TINKER, 1977):

$$D = D_1 \, q \, f_1 \, (dC_1/dC)$$

Em que:

D = coeficiente de difusão de N no solo ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ );

$D_1$  = coeficiente de difusão de N em água ( $\text{cm}^2 \text{ s}^{-1}$ )

q = conteúdo volumétrico de água no solo ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ )

$f_1$  = fator de impedância

$dC_1/dC$  = inverso do fator capacidade do solo

A atividade da urease aumenta em função da temperatura. Gould et al. (1973) observaram que esse efeito foi linear em valores de temperaturas que variaram de 2 a 45 °C. A maior atividade da urease ocorre aos 37 °C (MARTINS et al., 2010). A hidrólise da ureia é maior aos 35 °C, do que em temperaturas inferiores (TASCA et al., 2011). Em temperaturas de 5 a 35 (5, 10, 15, 25 e 35 °C), a hidrólise da ureia foi totalmente concluída em 8, 7, 6, 4 e 1 dias, respectivamente, após a aplicação do fertilizante (O'CONNOR & HENDRICKSON, 1987). Além da difusão, a atividade microbiana do solo varia com a temperatura (HAVLIN et al., 2013), o que pode aumentar a hidrólise da ureia, já que a urease é gerada por microrganismos do solo. Essa enzima é produzida por bactérias, actinomicetos, fungos e também originada de restos vegetais

(REYNOLDS et al., 1987). A enzima é extracelular sofrendo maior interferência da temperatura do ambiente do que enzimas endocelulares (MARTINS et al., 2010). A urease também influencia na taxa de difusão dos nutrientes, sendo considerado o de maior importância na liberação desses de fertilizantes de lenta ou controlada liberação (MORGAN et al., 2009).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Condições experimentais

Foram conduzidos três experimentos, simultâneos, os quais diferiram quanto à espessura da camada de  $S^0$  e de polímero adicionados a ureia. No Experimento 1 foi testada a ureia 39 (U39); no Experimento 2, a ureia 38 (U38); e no Experimento 3, a ureia 37 (U37). Esses fertilizantes são revestidos com  $S^0$  e polímeros (Figura 1) constituídos de ureia perolizada, proveniente do Egito, contendo 39, 38 e 37% de N, 11, 14 e 16% de S e 1,5, 2,5 e 3% de polímero, respectivamente. Os experimentos foram efetuados em laboratório em câmaras incubadoras com controle de temperatura, no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade de Passo Fundo (UPF), no período de janeiro a novembro de 2014.

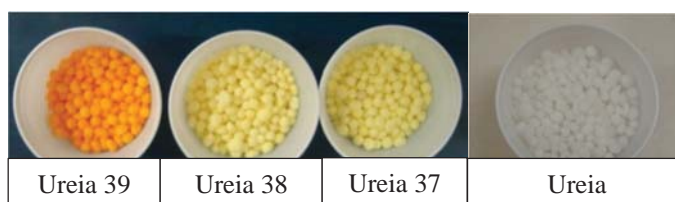


Figura 1- Grânulos das ureias testadas nos experimentos.

Para a implantação do experimento, foi utilizado um Latossolo Vermelho distrófico húmico na camada de 0 - 20 cm, coletada no campo experimental da UPF. A área é cultivada com culturas de grão, em semeadura direta com rotação de culturas (soja, milho, trigo e aveia), há cerca de 12 anos. Não houve necessidade de correção da acidez do solo, pois esse tinha valor de pH próximo a 7,0, o que favorece a volatilização da amônia, sendo esse aspecto interessante para testar a eficiência de fertilizantes nitrogenados. Logo após a amostragem, o solo foi homogeneizado e secado em estufa com

circulação de ar (45 °C e 96 h) e peneirado em malha de 2 mm. Uma alíquota do solo seco e peneirado foi analisada, para caracterização química, conforme Tedesco et al. (1995), e física, conforme Embrapa (1997) (Tabela 1).

Tabela 1. Atributos químicos e físicos do Latossolo Vermelho distrófico húmico utilizado no experimento

Atributo	Valor	Extrator/Procedimento
pH em água	6,7	Água destilada (1:1; solo: água)
pH em SMP	6,9	Solução SMP (1:0,5; solo:SMP)
pH em CaCl <sub>2</sub>	6,3	Solução CaCl <sub>2</sub> 0,01 mol L <sup>-1</sup>
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	30	Solução Sulfocrômica/ colorimetria
Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	24,1	Mehlich1/colorimetria
Potássio (mg kg <sup>-1</sup> )	140,5	Mehlich1/colorimetria
Cálcio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	5,1	KCl 1 mol L <sup>-1</sup> /absorção atômica
Magnésio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	2,8	KCl 1 mol L <sup>-1</sup> /absorção atômica
Alumínio (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	0,0	KCl 1 mol L <sup>-1</sup> /titulação
Argila (g kg <sup>-1</sup> )	432	Densímetro
Silte (g kg <sup>-1</sup> )	135	Densímetro
Areia (g kg <sup>-1</sup> )	433	Peneiramento
N total (%)	0,15	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 0,025 mol L <sup>-1</sup> / Kjeldahl
N mineral (mg kg <sup>-1</sup> )	45	KCl 1 mol L <sup>-1</sup> / Kjeldahl

### 3.2 Implantação e condução do experimento

As unidades experimentais foram constituídas de 200 g de solo seco, colocadas em caixas tetra-pak (Figura 2 a), cobertas com filme plástico (polietileno de baixa densidade). O solo foi incubado sem os fertilizantes, para restabelecer a atividade microbiana, durante uma semana, antes de iniciar o experimento. Após a aplicação dos fertilizantes, as unidades experimentais foram incubadas em diferentes temperaturas, no interior das câmaras incubadoras (Figura 2 b).

Antes de incubar as amostras, foi determinada a capacidade máxima de retenção de água gravitacional do solo, para

manter a umidade das unidades experimentais em 70% desta capacidade, durante o período de incubação das amostras nas câmaras com controle de temperatura. Essa determinação foi efetuada colocando-se 200 g de solo seco em garrafa pet de 500 mL. O bocal da garrafa foi posicionado para baixo, após apoiar esse recipiente em estante. A tampa foi furada revestida com tecido filtrante. O solo foi encharcado e após cessar a drenagem da água, a massa de solo foi determinada calculando-se o teor de água retido.

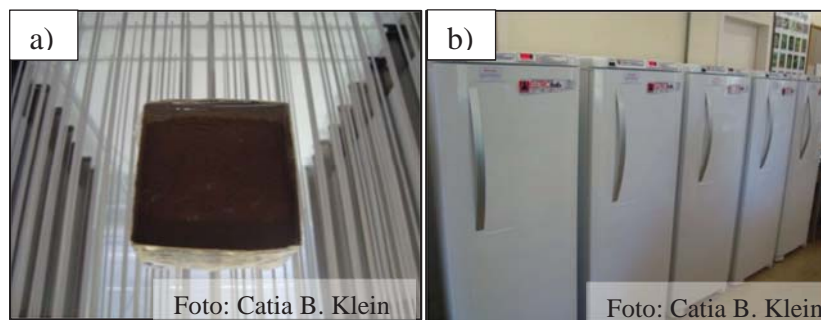


Figura 2 - Unidade experimental com o Latossolo no interior de caixa tetrapak (a), as quais foram incubadas em câmaras com controle de temperatura (b).

O efeito na liberação de N da ureia de liberação gradual foi testado em função de cinco temperaturas (5, 15, 25, 35 e 45 °C) e do tempo de incubação. Esse último fator consistiu na avaliação quinzenal das variáveis medidas, durante três (Experimento com a U39), cinco (Experimento com a U38) e sete meses (Experimento com a U37). Esses períodos de incubação foram baseados no tempo de garantia da liberação de N, informado pelo fabricante, sendo 30 dias maior que o período informado. Além do solo com fertilizante, foi utilizado um tratamento controle, sem adição de fertilizante e também um segundo controle, com a mesma ureia perolizada utilizada para a

fabricação dos fertilizantes de liberação gradual, proveniente do Egito. A quantidade de fertilizante utilizada em todos os ensaios foi equivalente a dose de 300 kg ureia ha<sup>-1</sup>, considerando o teor de N da ureia de 45%. Essa dose equivale a 270 mg de N kg<sup>-1</sup> de solo, em uma camada de 0-5 cm, com densidade de 1 g cm<sup>-3</sup> e correspondeu a 346 (U39), 355 (U38) e 365 (U37) kg fertilizante ha<sup>-1</sup>. Os grânulos foram incorporados ao solo. Após a aplicação dos fertilizantes no solo, as unidades experimentais foram inseridas nas câmaras incubadoras.

Semanalmente, as unidades experimentais foram pesadas e, quando necessário, adicionada água destilada ao solo para a correção da umidade.

### **3.3 Avaliações**

#### **3.3.1 Nitrogênio liberado dos grânulos**

Quinzenalmente, as unidades experimentais foram retiradas das câmaras incubadoras, para separar, manualmente, as amostras de solo dos grânulos do fertilizante (Figura 3 a). Na sequência, os grânulos foram pesados e submetidos à análise do teor de N total. Esse foi analisado adaptando-se a metodologia de análise de N total de tecido vegetal (TEDESCO et al., 1995). O procedimento de análise adaptado foi testado previamente, obtendo-se alta correlação ( $R^2 = 0,98$ ) com o método oficial de análise de N utilizado no Brasil (KLEIN et al., 2014).

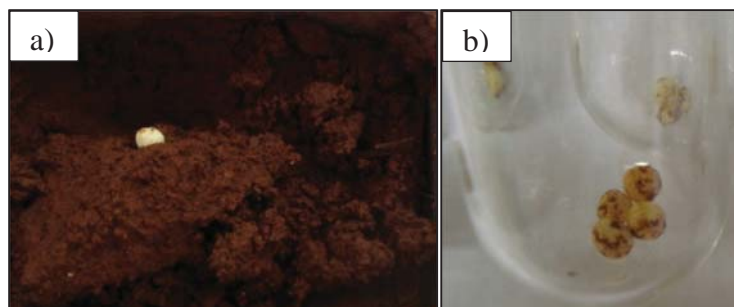


Figura 3 - Grânulo retirado do solo após a incubação (a) e grânulos pesados, e dentro do tubo de digestão, para análise do teor de nitrogênio (b). Foto: Catia B. Klein.

Os grânulos (Figura 3 b) foram digeridos com 1 mL de  $\text{H}_2\text{O}_2$  e 2 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e 0,7 g da mistura de digestão ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CuSO}_4$  e Se), em bloco digestor, a 160-180 °C, até evaporar a água. Após, foi elevada a temperatura para 350-375 °C, observando a mudança da coloração para um amarelo esverdeado. Essa temperatura foi mantida por uma hora. Os tubos de digestão foram retirados do bloco digestor e após o resfriamento o volume foi completado com água destilada até 50 mL. Para a determinação de  $\text{N-NH}_4^+$ , uma alíquota de 20 mL do extrato foi destilada, em micro destilador, após a adição de 10 mL de  $\text{NaOH}$  ( $10 \text{ mol L}^{-1}$ ), sendo o destilado coletado em 5 mL de indicador ácido bórico e titulado com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $0,250 \text{ mol L}^{-1}$ ).

O percentual de N do grânulo foi calculado com a fórmula abaixo:

$$\text{N total (\%)} = \frac{\left( \frac{(\text{mL H}^+ \text{amostra} - \text{mL H}^+ \text{branco}) \times 700 \times 2,5}{1.000.000} \right) \times 100}{\text{g amostra}}$$

O teor de N dos grânulos foi utilizado para estimar o percentual de liberação deste nutriente, ao longo do tempo de incubação, como segue:

$$\text{N liberado (\%)} = 100 - \frac{100 \times \% N \text{ total}}{\% N \text{ inicial do fertilizante}}$$

### 3.3.2 Nitrogênio e pH do solo

Foi determinado o teor de N total, de N mineral, o percentual de N mineral recuperado do fertilizante aplicado ao solo e o valor de pH em água e em CaCl<sub>2</sub> do solo.

A extração de N total foi efetuada com digestão ácida do solo seco, em bloco digestor (350-375 °C), conforme Tedesco et al. (1995), utilizando 0,500 g de solo. Após a digestão, o extrato foi destilado, em meio básico (10 mL de NaOH 10 mol L<sup>-1</sup>) e recolhido em Erlenmeyer contendo 5 mL de indicador ácido bórico. A concentração de N foi determinada com titulação (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>).

Para a análise de N mineral foi utilizada uma alíquota de 10 g de solo úmido e adicionado 100 mL de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>. Essa mistura foi agitada por 30 min. Após a sedimentação do solo, o extrato foi destilado e titulado conforme Tedesco et al. (1995). O resultado obtido estima a soma de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NO<sub>2</sub><sup>-</sup>.

O percentual de N recuperado do fertilizante aplicado foi calculado com a equação abaixo:

$$\text{N (\%)} = \frac{\text{mg N kg}^{-1} \text{ Tratamento} - \text{mg N kg}^{-1} \text{ Controle}}{\text{mg N aplicado kg}^{-1}} \times 100$$



Para a determinação do pH em água do solo, esse foi secado, moído e peneirado em malha com diâmetro de abertura de 2 mm. Foram utilizados 10 g de solo e adicionado 10 mL de água destilada. Essa mistura foi agitada, com bastão de vidro, e deixada em repouso por 30 min. Após agitar novamente, colocou-se o eletrodo para medir o valor de pH das amostras.

Para a determinação do pH em  $\text{CaCl}_2$  foi pesado 10 g de solo seco e adicionado 25 mL de solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ , em seguida permanece em repouso por 30 min e então agitado por 15 min e deixado em repouso por mais 30 min para então determinar o valor de pH no potenciômetro.

### **3.4 Análise estatística**

A análise da variância do N liberado dos grânulos foi em esquema bifatorial, em modelo de parcela subdividida no tempo. Na parcela principal, o fator avaliado foi a temperatura. No Experimento com a U39, o fatorial foi  $5 \times 6$  (5 temperaturas x 6 tempos de incubação; no Experimento com a U38, o fatorial foi  $5 \times 10$  (5 temperaturas x 10 tempos de incubação) e no Experimento com a U37, o fatorial foi  $5 \times 14$  (5 temperaturas x 14 tempos de incubação).

A análise da variância dos atributos de solo (N total, N mineral, pH em água e em  $\text{CaCl}_2$  do solo) foi em esquema trifatorial  $5 \times 6 \times 2$  (5 temperaturas x 6 tempos de incubação x 2 fontes de N: ureia de disponibilidade gradual e ureia comum, no Experimento com a U39. No Experimento com a U38, o esquema trifatorial foi  $5 \times 10 \times 2$ . No Experimento com a U37, esse esquema foi  $5 \times 14 \times 2$ , da mesma forma que efetuado na análise dos resultados do % de N liberado dos

grânulos, na parcela principal, o fator avaliado foi a temperatura do solo, enquanto que o efeito do período de incubação foi avaliado na parcela subdividida.

Quando o valor do Teste F foi significativo, as fontes de N foram comparadas pelo teste de Tukey e o efeito da temperatura por análise de regressão. A probabilidade de erro utilizada na análise de variância, no teste de médias e na análise de regressão foi  $p < 0,05$ .

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Liberação de nitrogênio dos grânulos

A análise de variância do N liberado dos três experimentos não indicou interação bifatorial entre tempo de incubação e as temperaturas testadas, mas houve efeito isolado desses fatores.

Como os valores de N liberado resultaram em alto coeficiente de revisão (C.V.) (32, 28 e 38%, respectivamente), esses foram transformados. Para a transformação utilizou-se a raiz quadrada mais um dos valores observados, o que reduziu os valores de C.V. para 17, 15 e 19%, respectivamente. Na média das temperaturas testadas, a liberação de N das três ureias aumentou linearmente em função do tempo de incubação (Figura 4). Embora os resultados dessas figuras ilustrem o efeito do tempo de incubação obtido com a média das temperaturas testadas, os modelos lineares ajustados indicaram que, no período avaliado, predominou a segunda fase de liberação de N, tipicamente observada com fertilizantes de liberação gradual, em que a disponibilidade desse nutriente aumenta de forma linear. Essa fase é precedida e também seguida de uma fase de liberação mais lenta (SHAVIV, 2005).

A liberação de N da U37 iniciou aos 45 dias (Figura 4), enquanto que a da U38 e U39 iniciou aos 15 dias, quando cerca de 7 e 15% do N foi liberado respectivamente (Figura 4). Possivelmente, isso se deveu a maior concentração de  $S^0$  e polímero da U37. Essa forma de S possui baixa solubilidade em água e o polímero não é hidrossolúvel, formando uma película impermeável em torno do grânulo (TRENKEL, 2010). Isso também pode ter contribuído para a

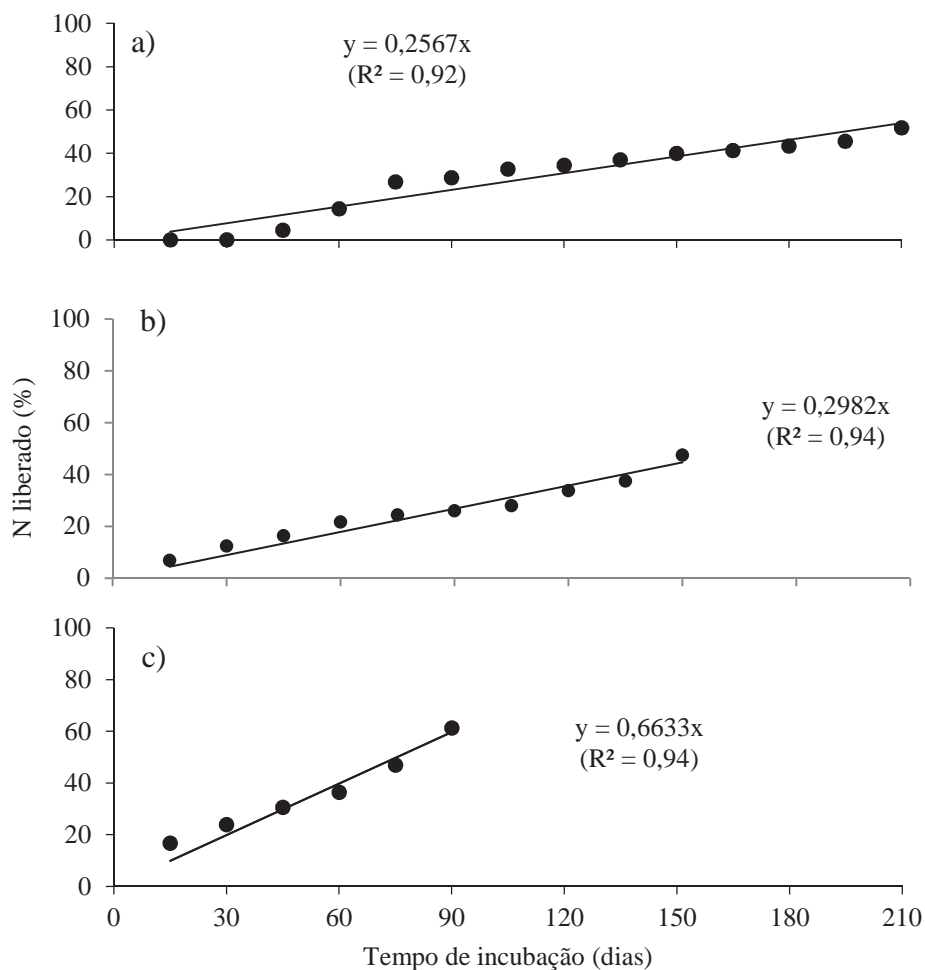


Figura 4 – Percentual de nitrogênio liberado das ureias U37 (a), U38 (b) e U39 (c), em função do tempo incubação. Média das temperaturas de 5, 15, 25, 35 e 45 °C. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.

menor taxa diária (0,26% de N liberado por dia), estimado com o modelo linear ajustado para essa ureia (Figura 4), em relação a U39, cujo valor dessa taxa foi estimado em cerca do dobro da U37 (0,66% de N liberado por dia) (Figura 4). Por outro lado, no final do período de incubação (210, 150 e 90 dias, respectivamente), os percentuais de

N liberados desses produtos foram semelhantes, correspondendo a 52 (U37), 48 (U38) e 61% (U39). Esses percentuais são baixos para fertilizantes solúveis, como a ureia comum, que no trabalho solubilizou 100% do N do grânulo, aos 15 dias. Como os grânulos dessa ureia não eram perceptíveis nas amostras de solo avaliadas aos 15 dias, assumiu-se que todo o N foi liberado, o que é plausível (KISS & SIMIHAIAN, 2002).

Como o percentual de N (Figura 4) representa a média das temperaturas testadas, os baixos valores de liberação da U37, U38 e da U39, ilustrados nessas figuras, devem ser interpretados com cautela. Os valores médios foram influenciados pelos baixos percentuais de liberação de N, principalmente, os obtidos com as menores temperatura testada (5 e 15 °C) (Figura 5). Por outro lado, com a temperatura de 35 °C, que proporcionou a maior liberação de N, os valores obtidos no final do período de incubação foram próximos ao do liberado pela ureia comum (100%), correspondendo a 71% (U37) 88% (U38) e a 96% (U39) (Figura 6).

Outro aspecto que pode ter influenciado os menores valores de liberação da U37, U38 e da U39 pode ter sido à ausência de plantas no experimento. Essas, ao absorverem o N liberado dos grânulos, diminuem o teor desse nutriente na solução do solo, favorecendo a difusão e, conseqüentemente, a liberação de N do fertilizante (MALAVOLTA, 2006). Assim, em situação de cultivos agrícolas adubados com os fertilizantes avaliados, possivelmente, a eficiência seja equivalente ou maior que o da ureia pronta liberação,

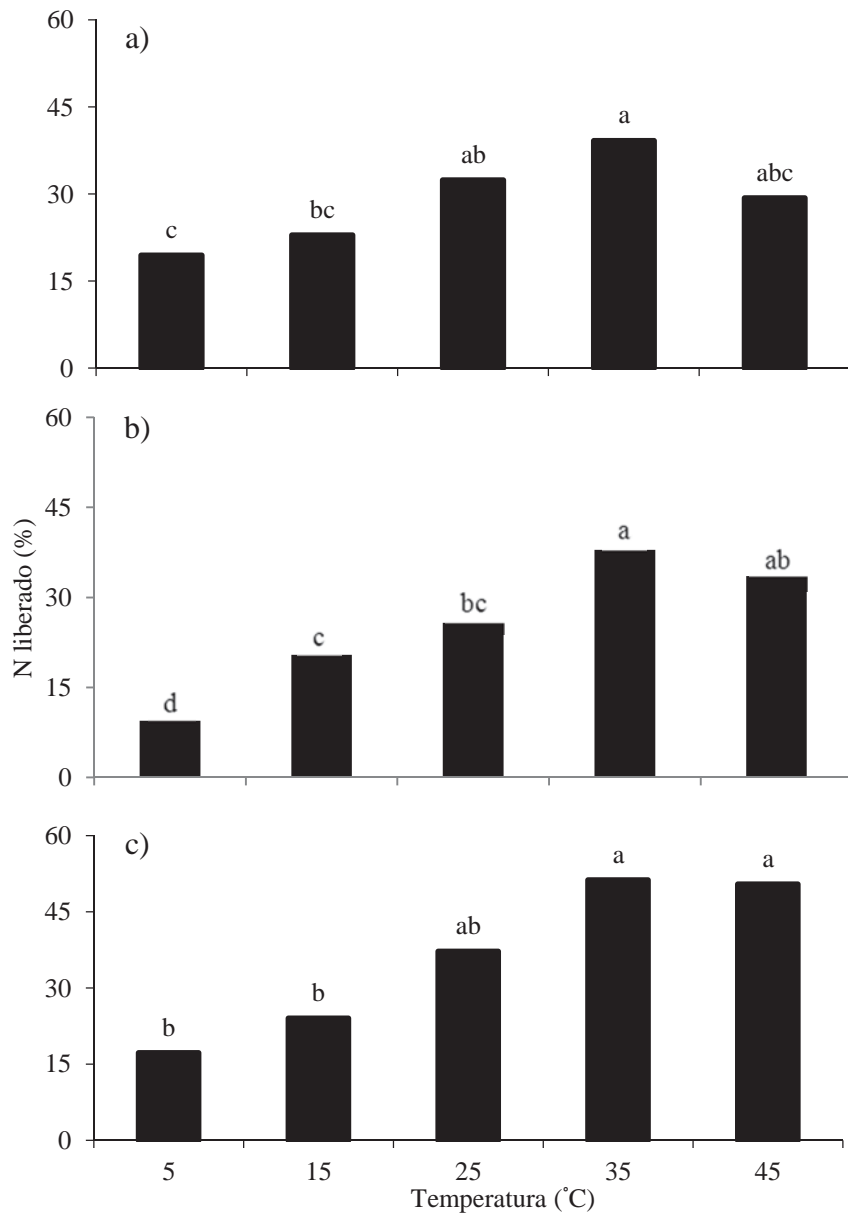


Figura 5 – Percentual de nitrogênio liberado das ureias U39 (a), U38 (b), U37 (c) em diferentes temperaturas. Média do tempo de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.

pois as perdas, principalmente, por volatilização e lixiviação de N, são menores, em relação a essa última fonte (KISS & SIMIHAIAN, 2002).

Os resultados (Figura 6) ilustram que a liberação de N, no final do período de incubação, foi maior que 50% do N inicialmente presente no grânulo nos tratamentos com temperaturas maiores que 25 °C (exceto com a U37, que a 45 °C solubilizou 46% do N). Comparando os resultados desses três fertilizantes, percebe-se que mesmo com menor tempo de incubação da U39 (90 dias), liberou maiores valores de N, inclusive a 45 °C. Como comentado anteriormente, possivelmente, isso está relacionado ao efeito inibitório da camada de S<sup>0</sup> e polímero, cujo teor é menor nesse último fertilizante.

Em geral, os resultados indicam que a maior liberação de N foi proporcionado pelas temperaturas maiores que 15 °C. Isso pode ser explicado pela taxa de nitrificação que é praticamente nula em temperaturas inferiores a 4 °C, e é maximizada entre 25 e 40 °C (CANTARELLA, 2007). Assim, como a mineralização do N orgânico do solo é favorecido em temperatura entre 25 e 35 °C (HAVLIN et al., 2013).

Em geral, os resultados indicaram que a temperatura de 35 °C proporcionou a maior liberação de N e que esse processo decresceu com as demais temperaturas, sendo extremamente baixo a 5 °C. No Sul do Brasil foram verificadas temperaturas baixas do solo, atingiu 5 °C, a 10 cm de profundidade manejado com preparo convencional e 10 °C com semeadura direta (TREVISAN et al., 2002).

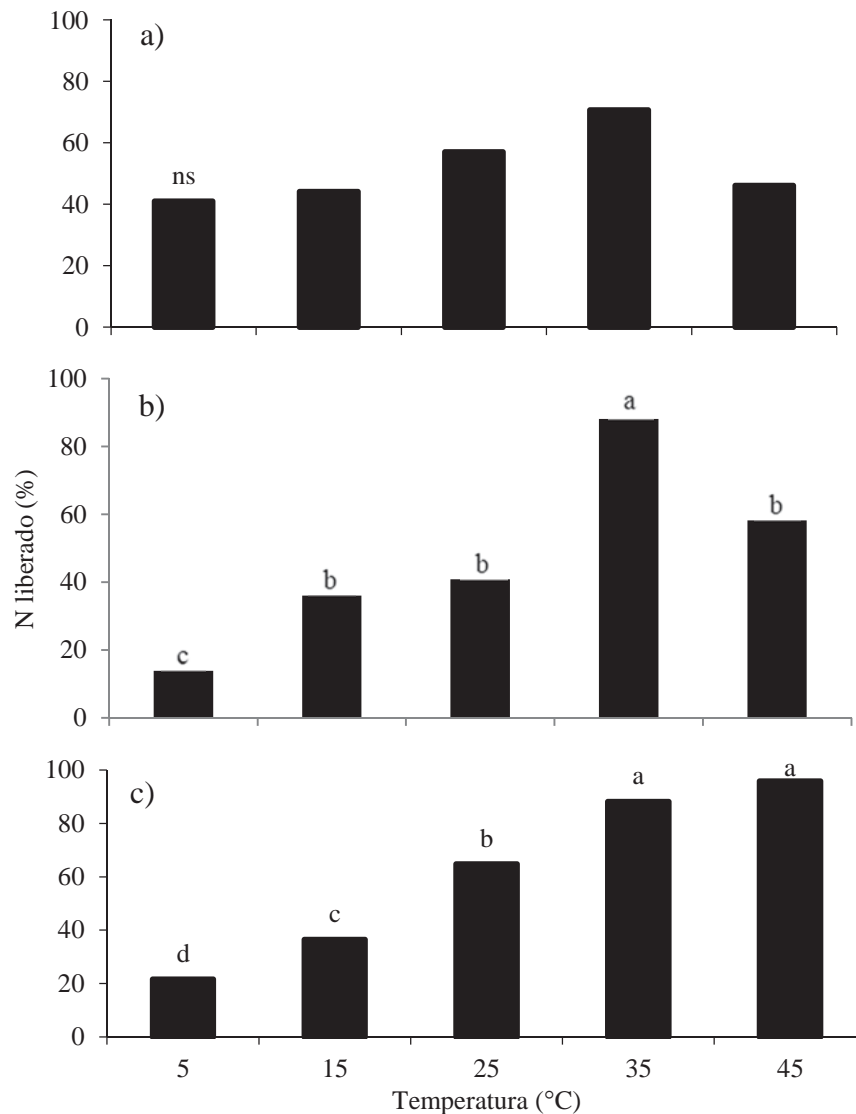


Figura 6 – Percentual de nitrogênio liberado das ureias U37 (a), U38 (b) e U39 (c), em diferentes temperaturas, aos 210, 150 e 90 dias de incubação, respectivamente desses fertilizantes em um Latossolo. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).



No Norte do Rio Grande do Sul, em 2014, a temperatura do solo, medida a 5 cm de profundidade, atingiu valores menores que 10 °C, nos meses de junho e julho; e máximas, nos meses de janeiro e fevereiro, com valores superiores a 30 °C (EMBRAPA, 2014).

Em condições de cultivos agrícolas a campo, no estado do Rio Grande do Sul, a temperatura do solo é influenciada pelo sistema de cultivo. Em um Argissolo Vermelho, manejado com o sistema de semeadura direta, foi obtida temperatura máxima de 36,2 °C, mas a temperatura desse mesmo solo, em tratamento com escarificação, foi de 43,7 °C (SILVA, 2006). Esta diferença foi devido a palha, que evita o aquecimento do solo e também tem efeito na amplitude térmica, pois como o solo esta protegido, os extremos são minimizados.

Como a liberação do N foi gradual e diferiu entre os três produtos, tanto em relação ao tempo como em concentração, a sua utilização a campo deverá ser adequada às culturas com exigência nutricional que coincida com a liberação do fertilizante aplicado, de acordo ainda com as condições climáticas.

#### **4.2 Nitrogênio total do solo**

Nos três experimentos, a análise da variância do teor de N total do solo indicou que esse variou com a interação entre as fontes de N (ureia de liberação gradual, ureia comum e o solo controle), o tempo de incubação e a temperaturas, além do efeito combinado e isolado desses fatores.

Em geral, o teor de N total do solo incubado com a U39, nas diferentes temperaturas testadas (Figura 7), não diferiu do observado com o solo sem adição de fertilizante (controle) e foi menor

que o verificado com a ureia comum. Esse último efeito foi observado, principalmente, em temperaturas de 5, 15 e 45 °C (Figuras 7 a, b, e). Por outro lado, com as temperaturas intermediárias (25 e 35 °C), esse efeito não foi expressivo (Figuras 7 c, d), já que houve teores menores de N total no solo com a ureia comum.

Os resultados (Figura 7) estão coerentes com o percentual de N liberado dos grânulos da U39 (Item 4.1, Figura 4). A baixa liberação dos grânulos desse fertilizante, observada, principalmente, com as temperaturas de 5 (15 %) e de 15 °C (20 %) podem explicar, parcialmente, os menores teores de N total do solo com a U39 em relação a ureia comum.

Em todas as épocas de avaliação, com exceção dos trinta dias, o teor de N total obtido com a média das temperaturas testadas foi maior no solo incubado com a ureia comum, sem haver diferença entre o tratamento controle e a U39 (Figura 7 f).

Como verificado com a U39, em geral, o teor de N total do solo incubado com a U38 e U37, nas diferentes temperaturas testadas (Figuras 8 e 9), não diferiu do obtido no tratamento controle (Figuras 8 e 9). Em geral, isso também foi verificado com a ureia comum, embora em determinados períodos e temperaturas de incubação. O teor de N total do solo incubado com esse fertilizante, em geral, também não diferiu do verificado no solo incubado com a U38 e a U37, exceto no tratamento com temperaturas de 5 °C (U38, Figura 8 a), em que, em geral, os teores de N foram menores com a U38).

Os resultados de N total do solo incubado com U38 e U37 a 5 °C estão coerentes com o percentual de N liberado dos grânulos da U38 que foi 14 % e da U37 que foi 20% (Item 4.1, Figura 5).

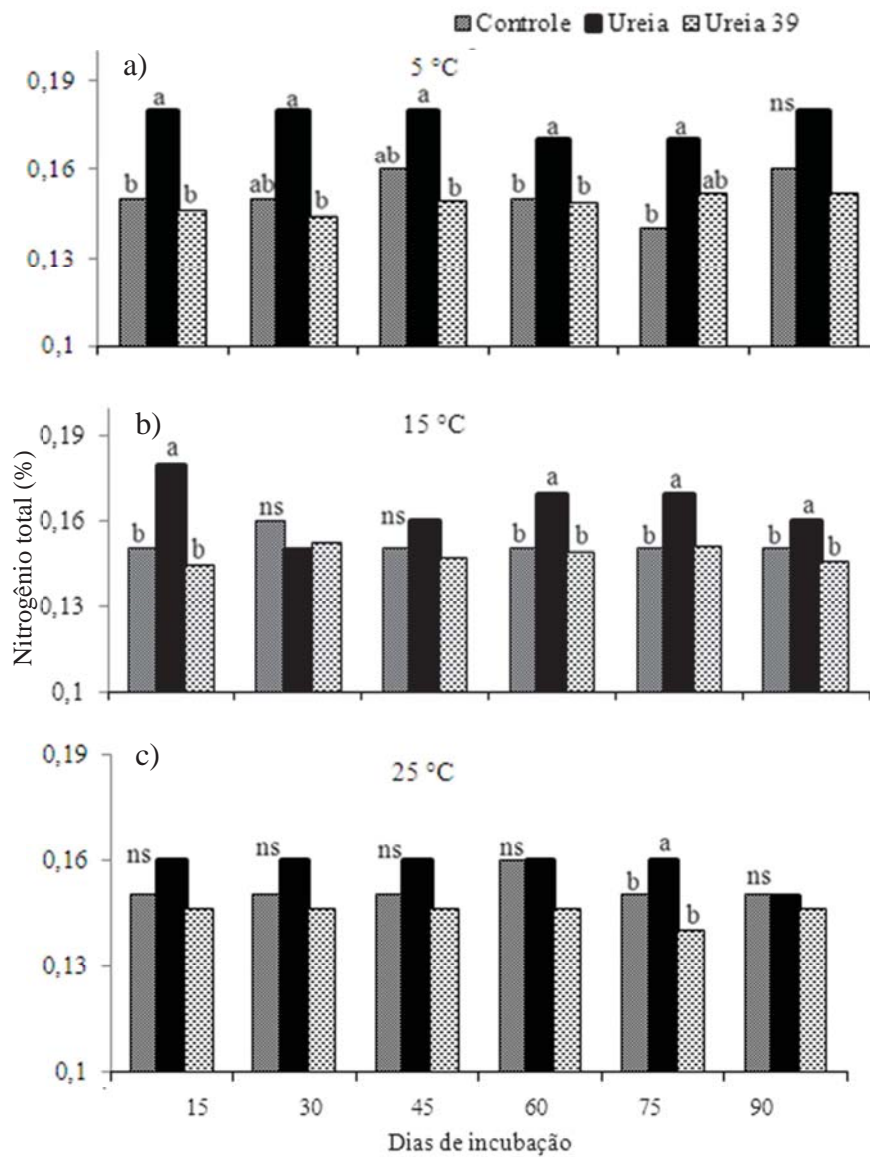


Figura 7 – Percentual de nitrogênio total de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

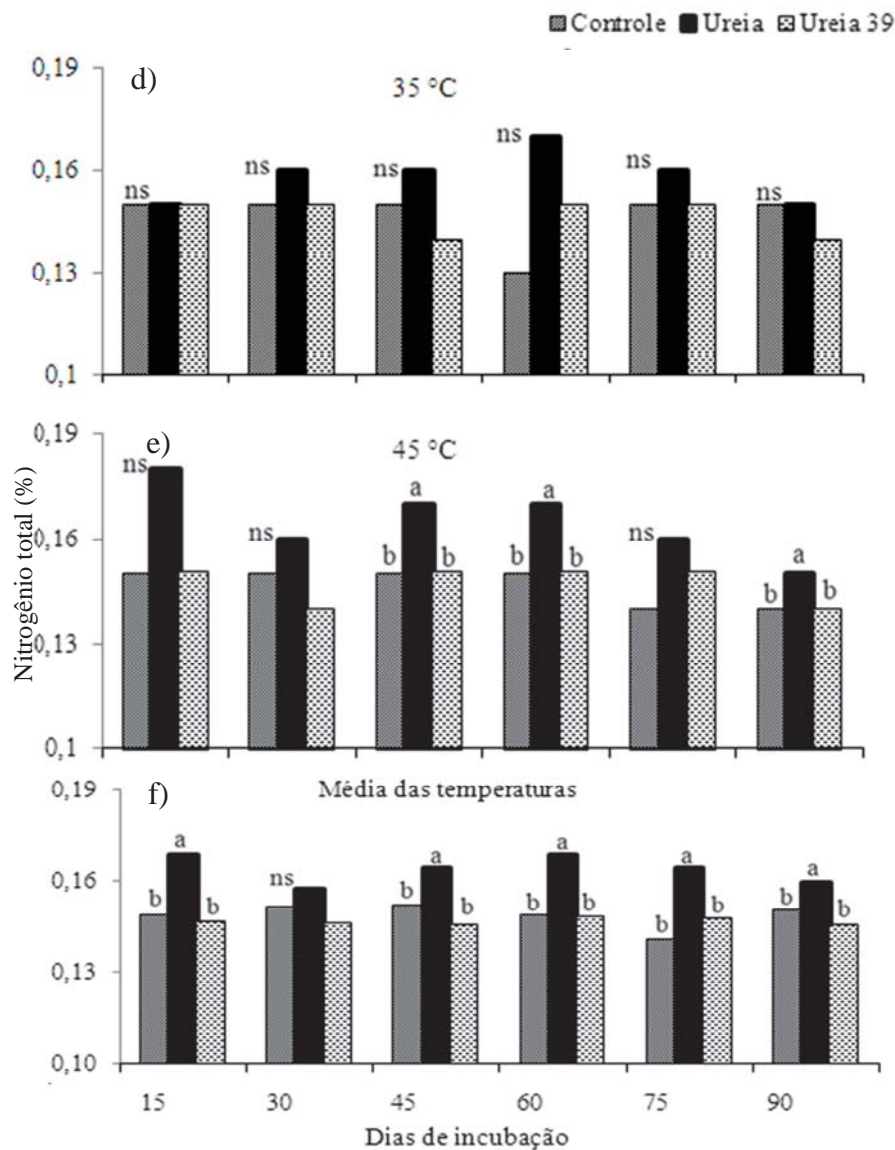


Figura 7 – Percentual de nitrogênio total de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

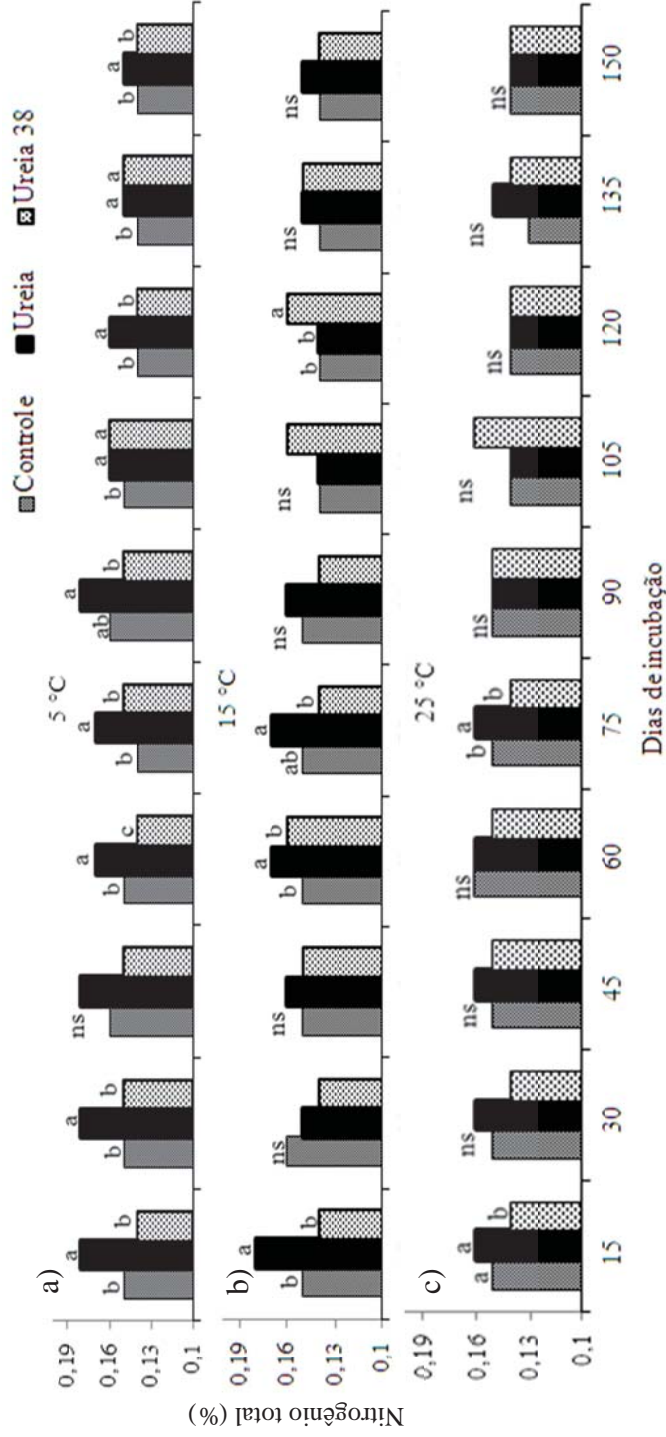


Figura 8 – Percentual de nitrogênio total de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

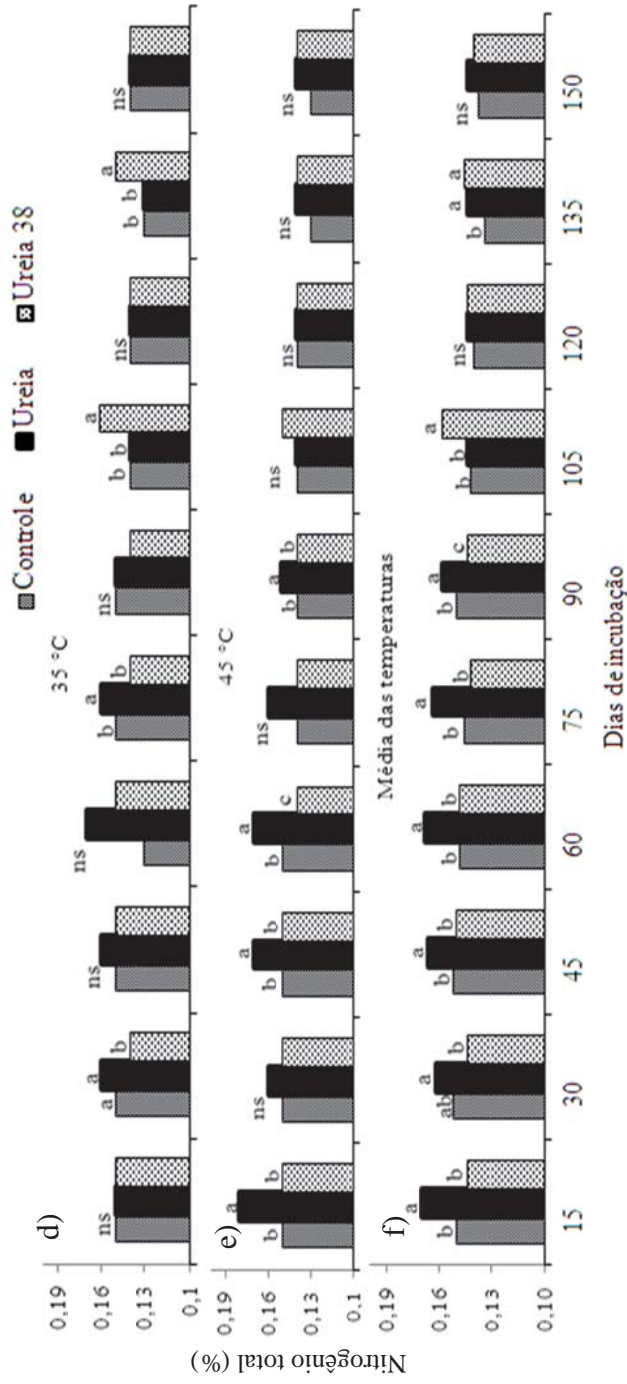


Figura 8 – Percentual de nitrogênio total de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ). (Continuação).

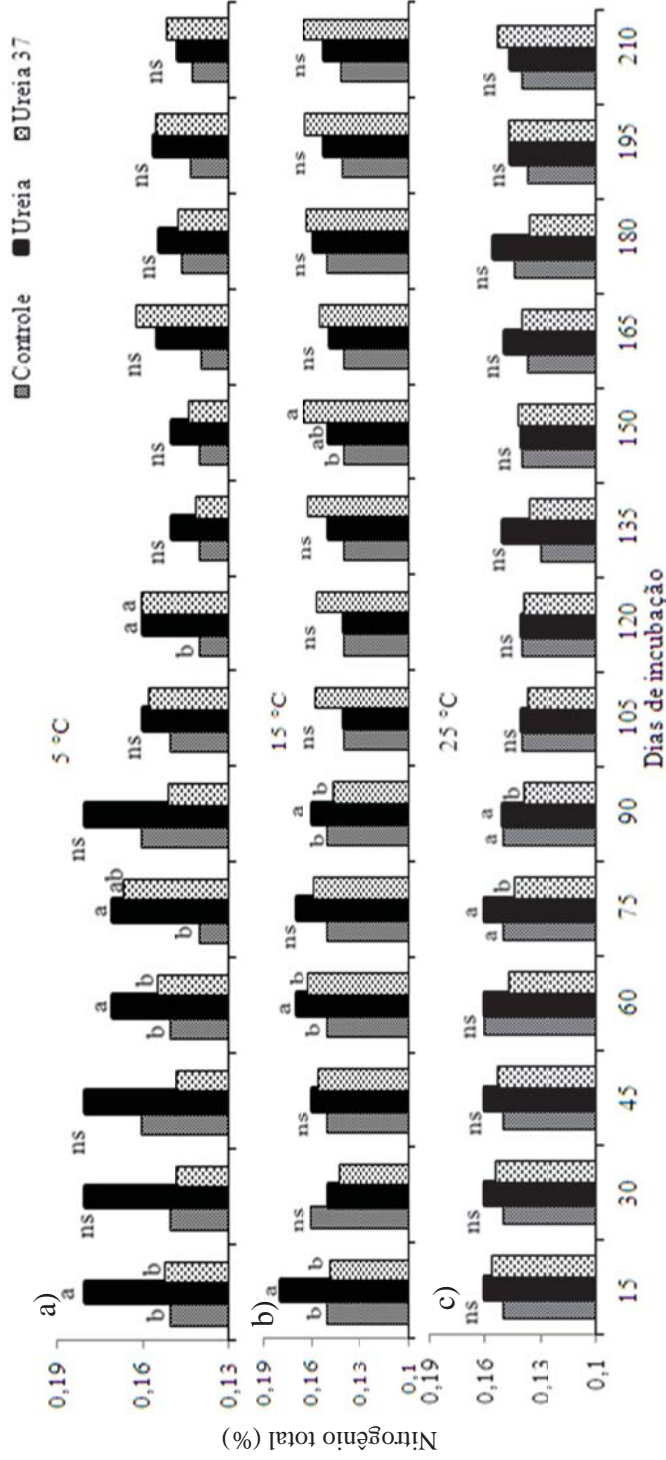


Figura 9 – Percentual de nitrogênio total de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias seguidas de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

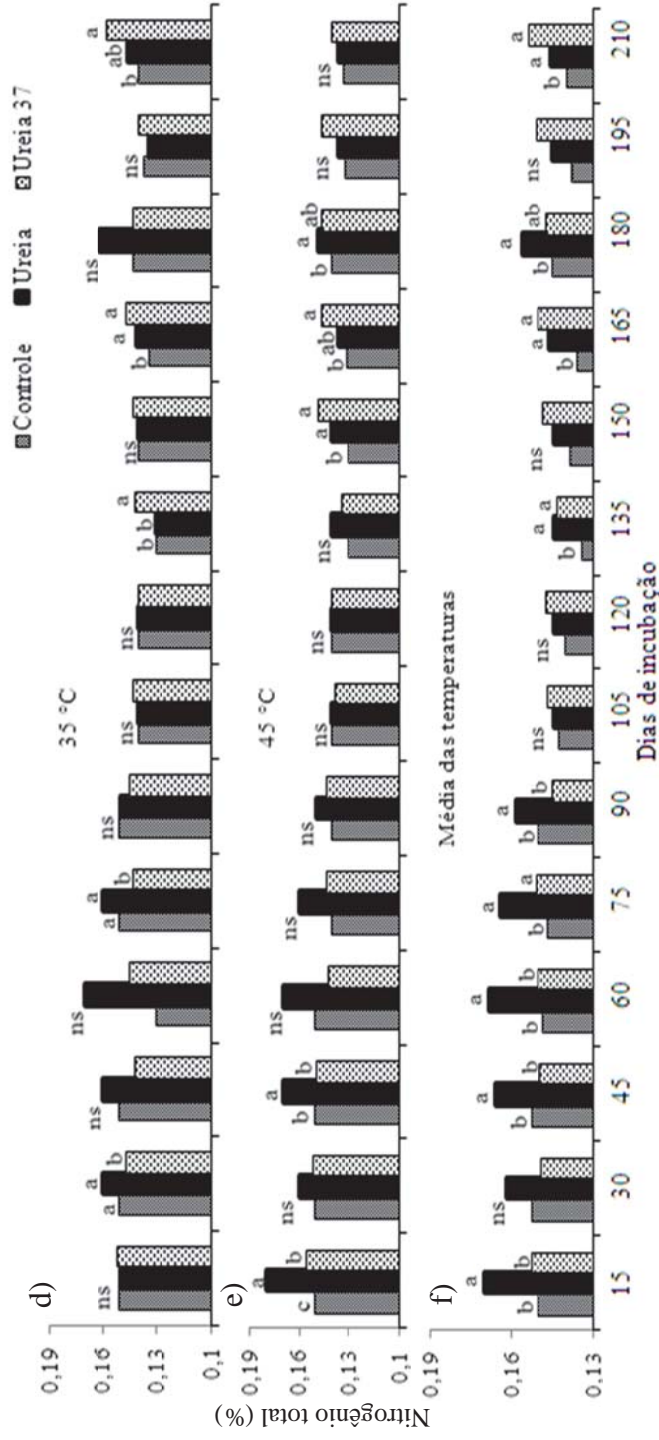


Figura 9 – Percentual de nitrogênio total de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias seguidas de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).



### 4.3 Nitrogênio mineral do solo

Nos três experimentos, os resultados da análise da variância do teor de N mineral do solo indicaram que houve interação entre as fontes de N (ureia de liberação gradual, ureia comum e o solo controle), o tempo de incubação e as temperaturas testadas, além do efeito combinado e isolado desses fatores.

O teor de N mineral do solo incubado com a U39, a 5 °C, em geral, não diferiu do obtido com a ureia comum (Figura 10 a), ao contrário do observado com a U38 (Figura 11 a) e a U37 (Figura 12 a). Isso foi mais evidente com a U38 do que com a U37 (somente até os 165 dias). Essa diferença se deve, a liberação mais lenta desses dois fertilizantes, comparativamente a U39, como indicou o maior teor de N mineral do solo com U39 verificado aos 5 °C, em relação a U38 e a U37 (Figuras 10 a, 11 a, 12 a). Além disso, as perdas de N da ureia foram menores até os 90 dias (Figura 18), período em que correspondeu ao término do experimento com a U39, pois com esse fertilizante não ocorreram perdas de N, como indicaram os valores de N recuperados no solo (Figuras 14 e 15).

Ao contrário do verificado na maioria dos períodos de incubação da U37, os teores de N mineral dos solos com a U38 e a U37, incubados a 5 °C, em geral, não diferiram dos teores do tratamento controle (Figuras 11 a; 12 a). Como mencionado no Item 4.1, a 5 °C, o percentual de N liberado da U38 foi menor que 15 %, enquanto que o da U37 foi menor que 20 % .

Nos tratamentos com a U38 e a U37, a incubação do solo a 15 °C resultou em aumento de N mineral do solo, em relação à temperatura de 5 °C (Figuras 11 a, b; 12 a, b, respectivamente).

Com o aumento da temperatura de incubação para 25 e 35 °C, os teores de N mineral dos tratamentos com as fontes de liberação gradual aumentaram, em relação aos verificados com as menores temperaturas, pois os resultados obtidos com essas fontes foram, em geral, maiores, em relação aos observados no tratamento controle. Os resultados de N mineral corroboram com O'Connor & Hendrickson (1987), que relataram maior hidrólise da ureia aos 35 °C, sendo esse valor seguido das temperaturas de 25, 15, 10 e 5 °C, nessa ordem de aumento da hidrólise. Além disso, temperaturas mais elevadas aumentam a taxa de liberação de N da ureia revestida com S<sup>0</sup>, devido a maior difusão do N na camada formada por essa forma de enxofre (MORGAN et al., 2009). Os maiores teores de N mineral dos tratamentos com os fertilizantes de liberação gradual coincidiram com os maiores teores de N liberados dos grânulos, que foram maiores ao final do período de incubação de cada experimento (Item 4.1, Figuras 4, 5 e 6).

No tratamento com a U39, a 25 e 35 °C, em geral, o teor de N mineral não diferiu do solo incubado com a ureia comum. Com a elevação da temperatura de incubação para 35 °C, o teor de N mineral do solo com essa fonte de liberação gradual foi superior ao da ureia comum, aos 75 dias (Figuras 10 c, d). Isso também foi verificado com a temperatura de 45 °C, mas somente nos últimos 30 dias (Figura 10 e). Não houve diferença entre a U38 e a Ureia, aos 25, 35 e 45 °C (Figuras 11 c, d, e). Isso também ocorreu com a U37, mas nas

temperaturas maiores que 15 °C. A partir dos 195 dias, o teor de N mineral do solo com a U37 foi maior do que o do solo com ureia comum, tanto nessas temperaturas, como em 45 °C (Figuras 12 c, d, e).

Ao contrário do observado em relação ao teor de N total, os resultados de N mineral, obtidos com a média das temperaturas testadas, mostraram que a U39 e a U38 disponibilizaram valores equivalentes aos verificados no solo com a ureia comum (Figuras 10 f; 11 f, respectivamente). Por outro lado, a U37 disponibilizou valores superiores ao da ureia, no final do período de incubação (Figura 12 f). Isso também foi verificado com o percentual de N recuperado, que foi maior com a U37 nas temperaturas mais elevadas (> 70 %, Figura 15), enquanto que o valor dessa variável foi menor que 20 %, no tratamento com a ureia comum (Figura 16).

Em geral, as fontes de liberação gradual aumentaram o teor de N mineral do solo, em cerca de 250 mg kg<sup>-1</sup>, no final desse período. Isso indica que a maior parte da dose de N adicionada pelos tratamentos (270 mg kg<sup>-1</sup>, Item 3.2) foi recuperada na forma de N mineral e que a perda desse nutriente foi inexpressiva, principalmente, nos solos incubados com a U39 e a U38, como também indica o percentual de N recuperado no solo (Figuras 13 e 16, respectivamente).

O teor de N mineral, na média das temperaturas, do tratamento com a U37 foi maior que o da ureia convencional (Figura 12 f). Por outro lado, isso não ocorreu com a U38 e a U39 (Figuras 13 f, 14 f). No Experimento com a U37, isso se deve as maiores perdas de N com a ureia comum, principalmente, as verificadas após os 150

dias, como indicado pelos resultados do menor percentual de N recuperado no solo (Figura 16).

Os resultados de N mineral do solo mostram, de forma clara, que ocorre diminuição da solubilidade, nas menores temperaturas, o que está relacionado com o efeito desse fator no decréscimo da difusão do N da ureia (HAVLIN et al., 2013). Com temperaturas entre 25 a 45 °C aumenta a viscosidade e a energia cinética das moléculas de água, possibilitando menor adsorção dessa substância ao solo e transformação em água livre, que pode, então, solubilizar os compostos (DUARTE, 2004). Esse fenômeno, aliado a as melhores condições para a oxidação do  $S^0$ , possivelmente, explicam a maior liberação da ureia, verificada no trabalho com os tratamentos entre 25 e 40 °C, faixa de temperatura em que a hidrólise desse fertilizante aumenta (HAVLIN et al., 2013).

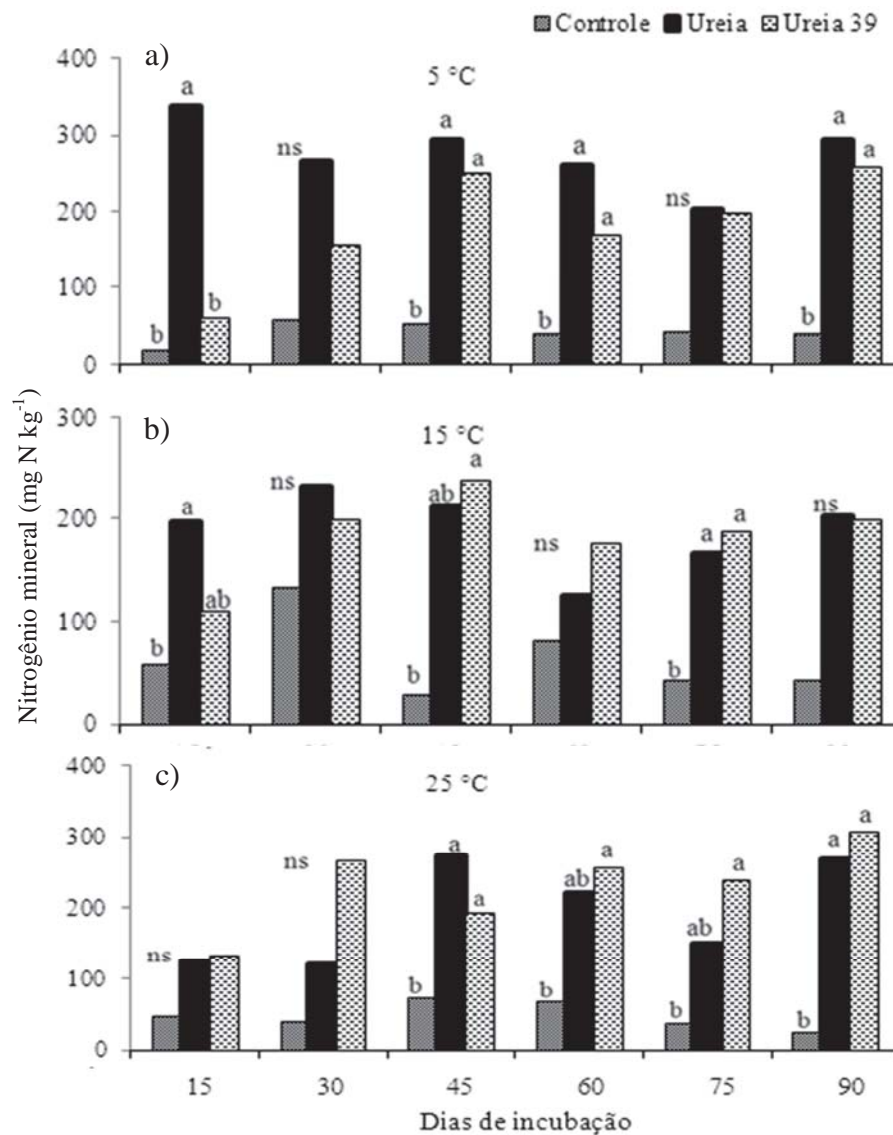


Figura 10 – Nitrogênio mineral de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

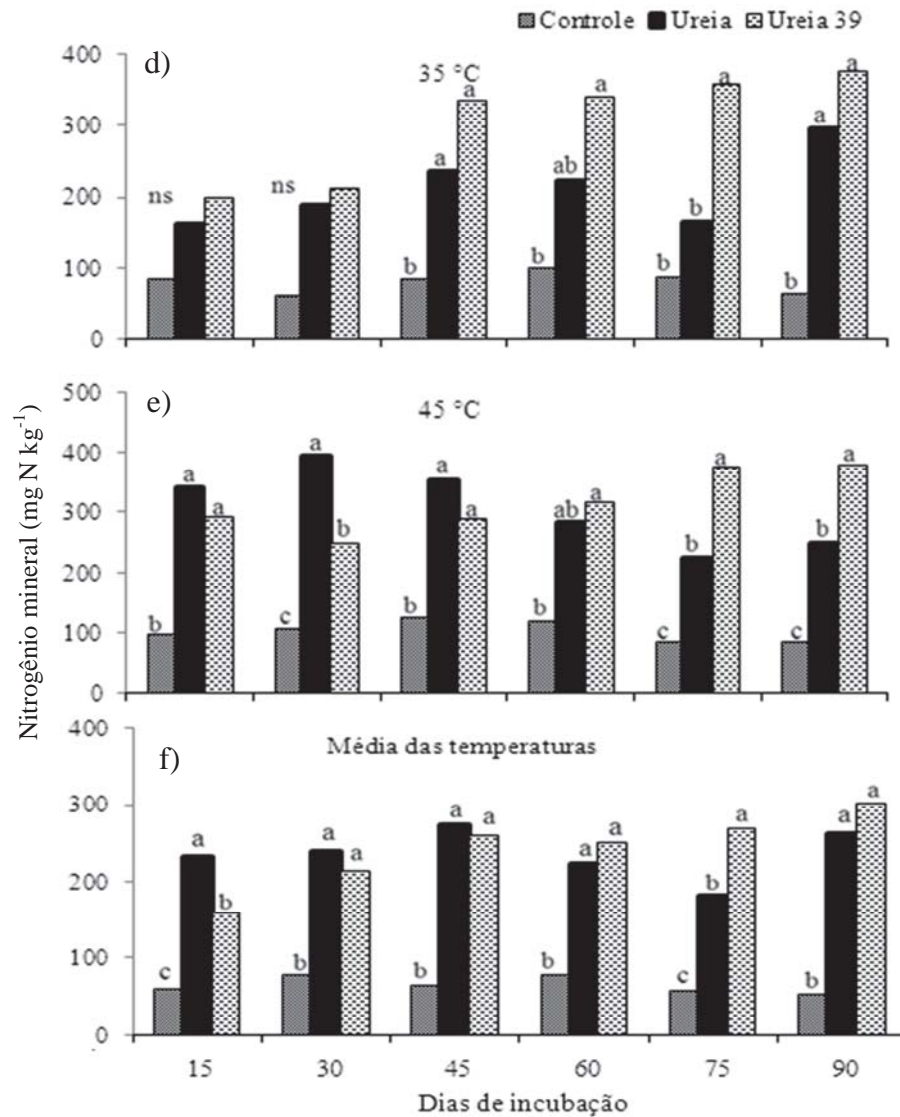


Figura 10 – Nitrogênio mineral de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ). (Continuação).

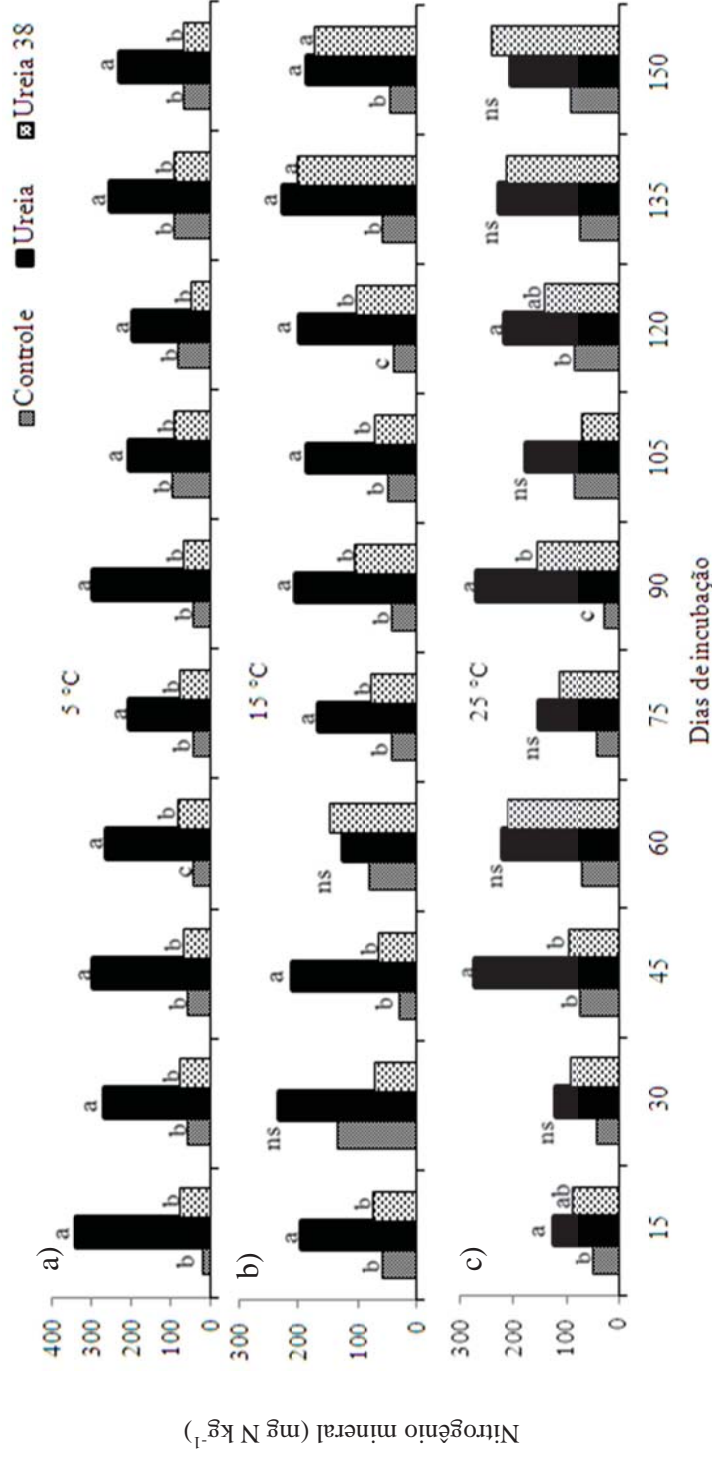


Figura 11 – Nitrogênio mineral de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

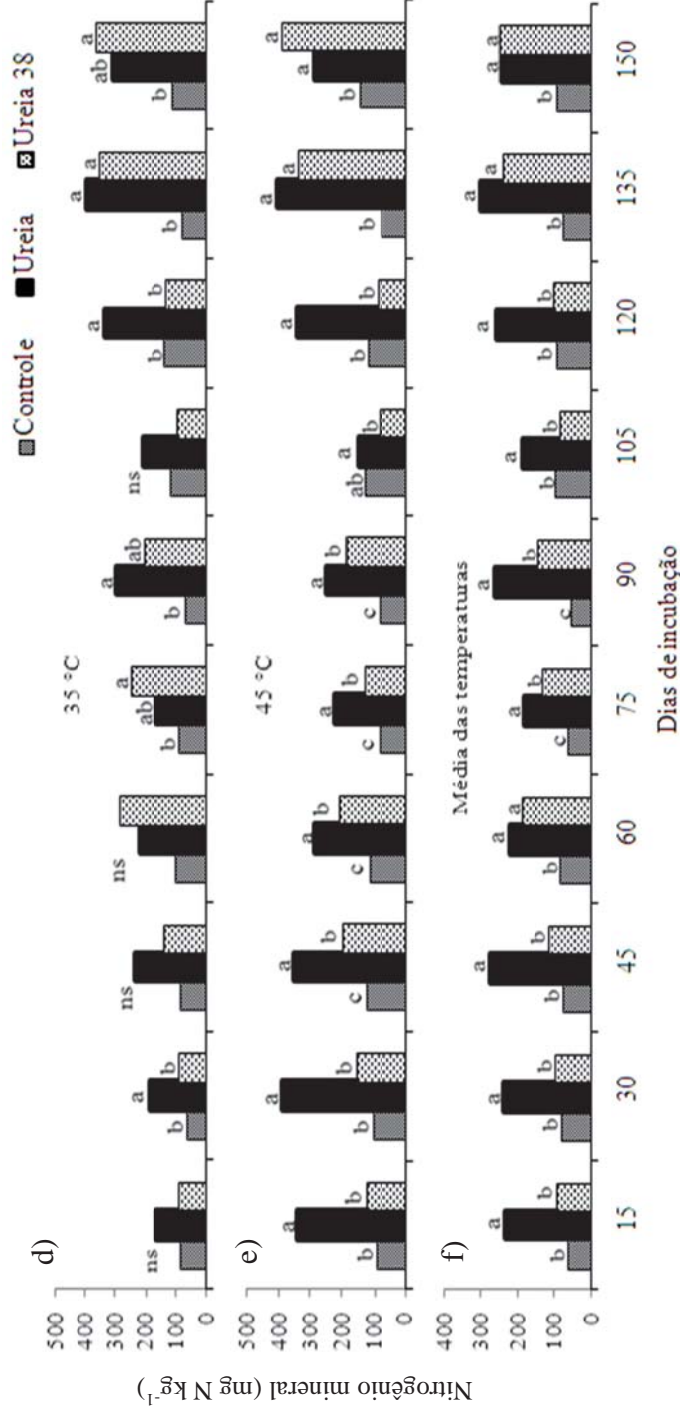


Figura 11 –Nitrogênio mineral de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ). (Continuação).



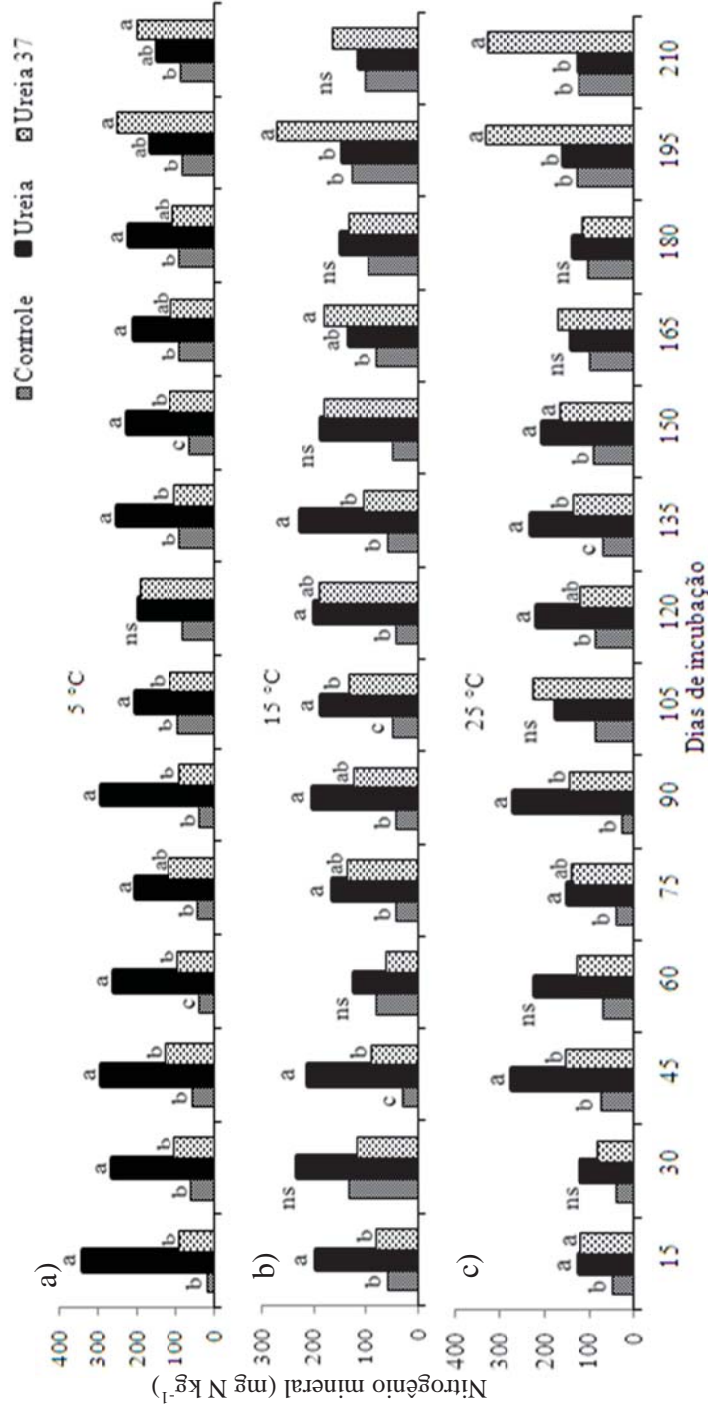


Figura 12 – Nitrogênio mineral de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

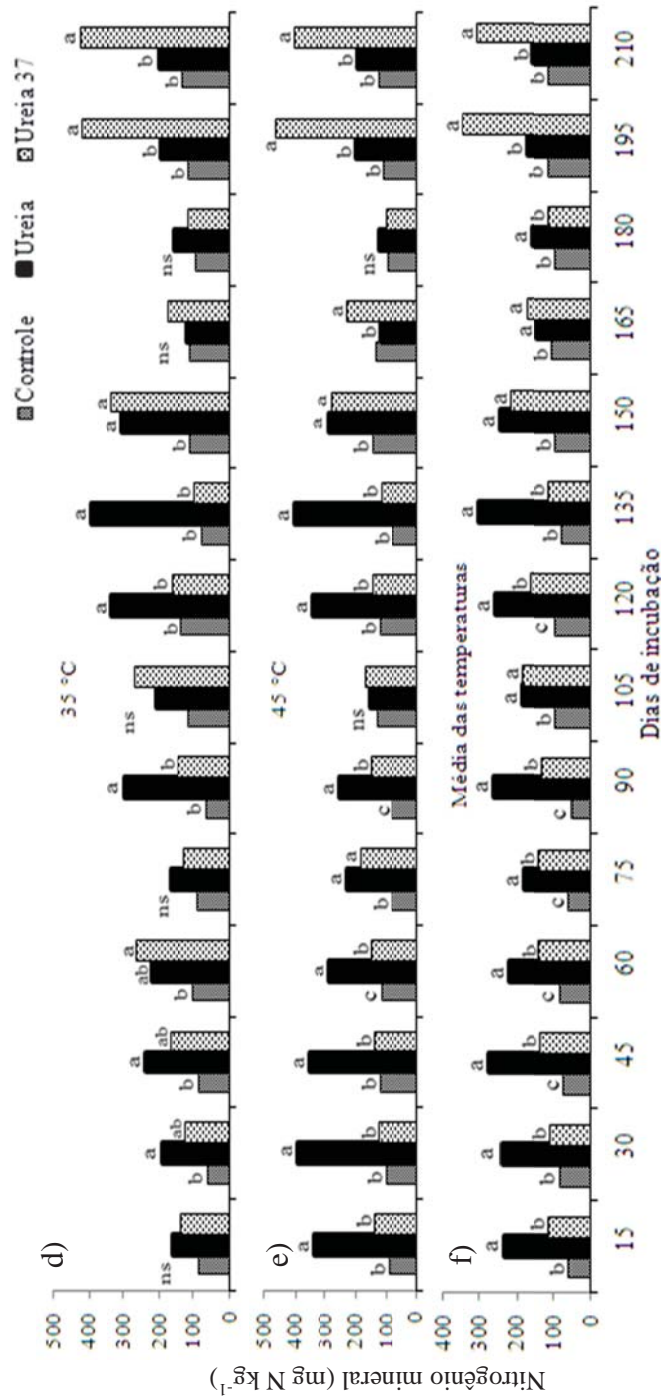


Figura 12 –Nitrogênio mineral de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (ureia) e sem aplicação de fertilizante (controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

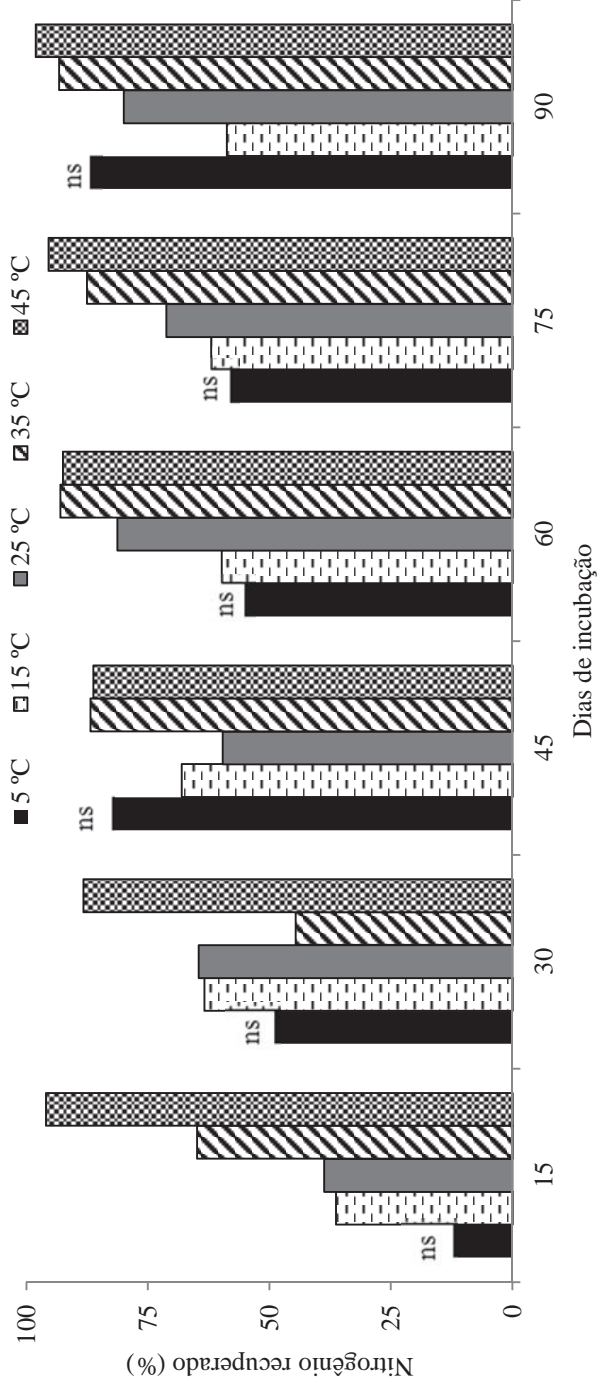


Figura 13 – Nitrogênio recuperado de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual (U39) contendo 39% desse nutriente, em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05).<sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

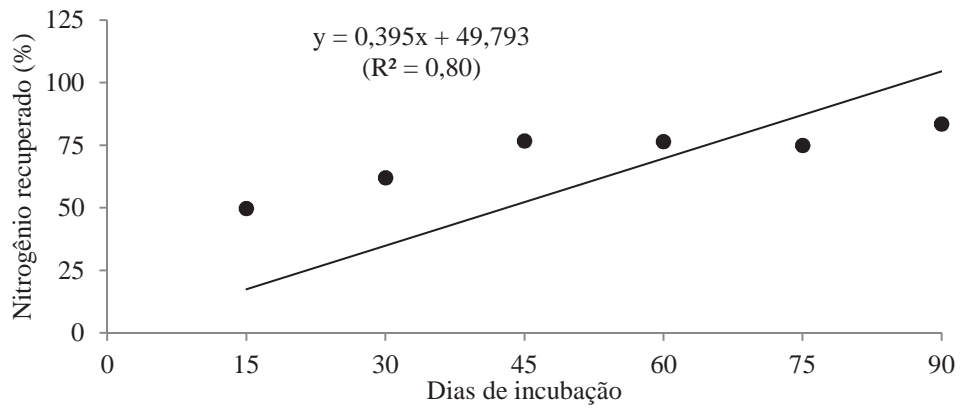


Figura 14 – Percentual de nitrogênio recuperado da Ureia 39 em função dos dias de incubação. Média das temperaturas de 5, 15, 25, 35 e 45 °C. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.

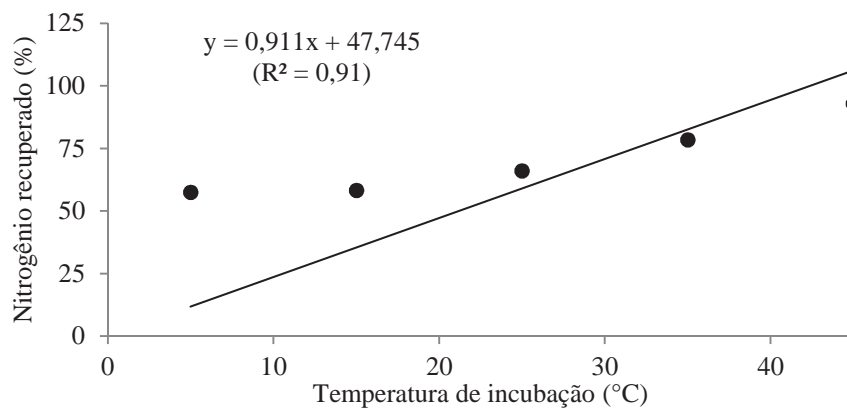


Figura 15 – Percentual de nitrogênio recuperado da Ureia 39, em função da temperatura. Média dos noventa dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014.

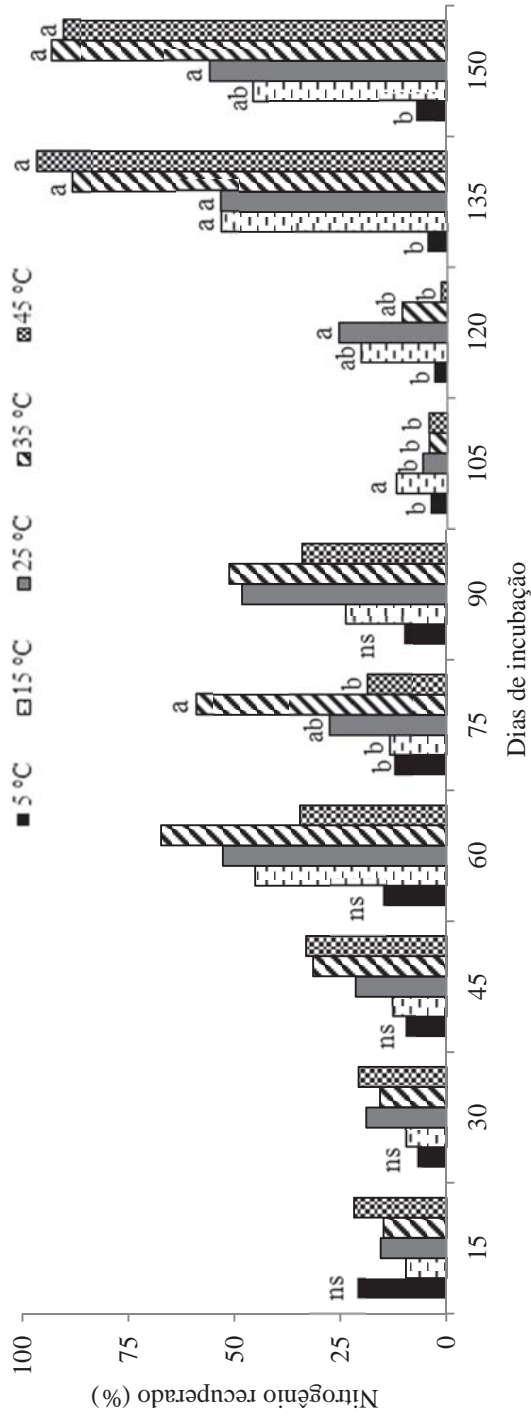


Figura 16 – Nitrogênio recuperado de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual (U38) contendo 38% desse nutriente, em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05).<sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

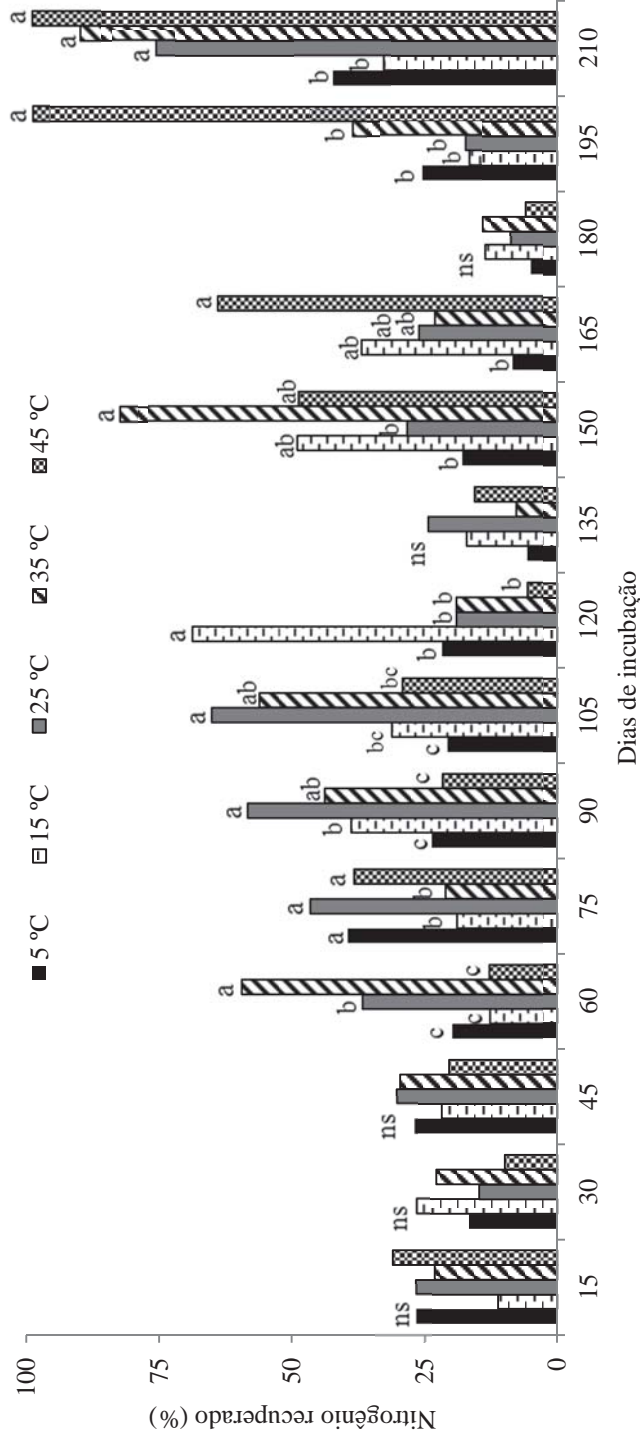


Figura 17 – Nitrogênio recuperado de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual (U37) contendo 37% desse nutriente, em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

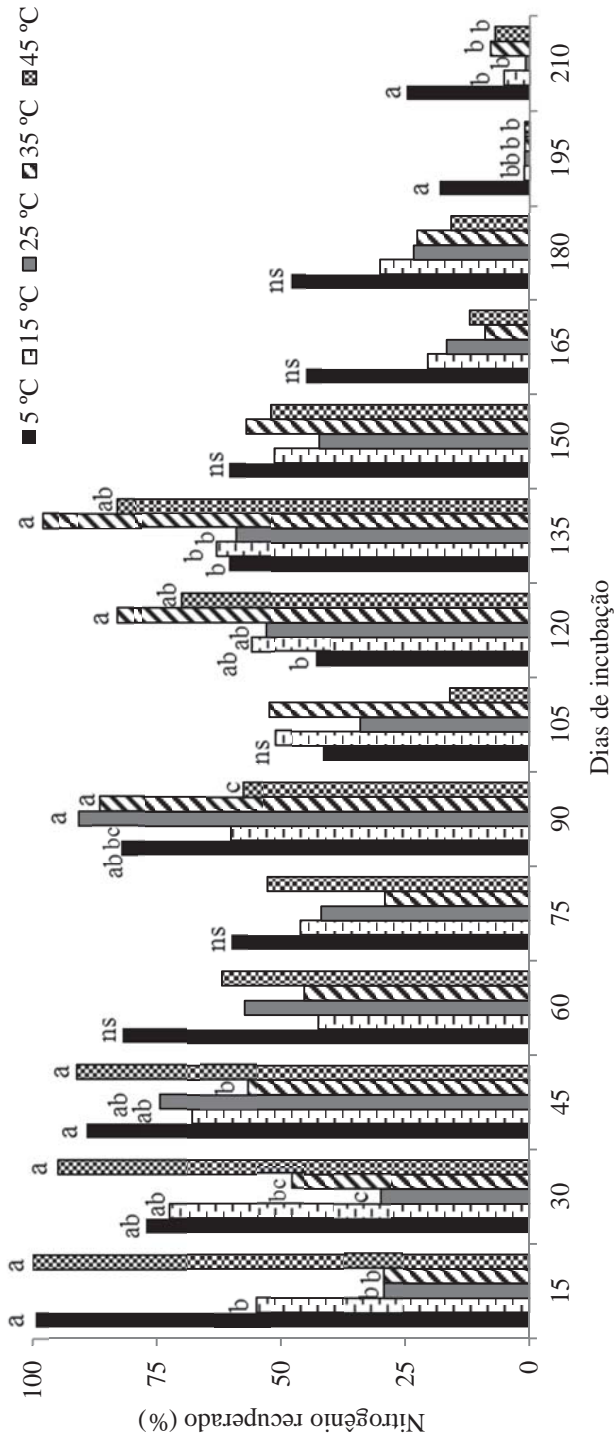


Figura 18 – Nitrogênio recuperado de um Latossolo incubado com ureia comum (Ureia) contendo 45% desse nutriente, em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

#### 4.4 pH em água do solo

Nos três experimentos, a análise da variância do valor de pH em água do solo indicou que esse variou com a interação entre as fontes de N (ureia de liberação gradual, ureia comum e o solo controle), o tempo de incubação e as temperaturas testadas, além do efeito combinado e isolado desses fatores.

Os valores de pH em água do solo incubado a 5 °C diferiram pouco entre as fontes de N (Figuras 19 a; 21 a), mas com a elevação da temperatura para até 35 °C, os fertilizantes de liberação gradual e a ureia comum decresceram os valores de pH (Figuras 19 a 21 b, c, d). Em geral, isso também ocorreu com a temperatura de 45 °C, exceto no experimento com a U39 (Figuras 19 a; 21 e). Nesse experimento, os valores de pH foram maiores com a ureia, quando o solo foi incubado a 45 °C, enquanto que nos outros experimentos essa fonte não diferiu da U38 e da U37 os valores de pH do solo, obtidos no experimento com essa última fonte, diferiram com mais frequência, quando se compara as fontes de N testadas, principalmente, nas temperaturas de 35 e 45 °C (Figuras 21 d, e). Isso se deve aos baixos teores de N mineral observado no solo incubado com a ureia (Figuras 19 d, e).

Possivelmente, a variação dos valores de pH observados foi influenciada por reações do N no solo, como a nitrificação (CANTARELLA, 2007). Em geral, nos primeiros dias de incubação, as reações de hidrólise elevaram o valor do pH do tratamento com a ureia comum. Por outro lado, a menor liberação de N dos grânulos de



liberação gradual, promoveu a menor variação dos valores de pH (Figuras 19, 20, 21).

A menor mudança do valor do pH em água, observada aos 5 °C, deve-se a menor liberação de N dos grânulos das ureias de liberação gradual, verificadas nessa temperatura (Item 4.1). Possivelmente, isso também se deva a menor nitrificação, como indicam os menores teores de N mineral obtidos nos solos incubados a 5 °C (Figuras 10, 11 e 12). Durante esse processo ocorre liberação de  $H^+$  (CANTARELLA, 2007), acidificando o solo. Além disso, a menor oxidação do  $S^0$ , que reveste essas ureias, também pode ter influenciado os valores de pH observados (HOROWITZ & MEURER, 2007). Como se sabe, as baixas temperaturas decrescem a atividade da uréase e a liberação de  $S^0$  e dos polímeros utilizados para revestirem as ureias (HAVLIN et al., 2013). Assim, com a menor liberação de N, ocorre menor incremento deste ao solo, tanto na forma de N mineral, como de N total e menor variação do valor de pH.

Foi realizada a análise de pH em  $CaCl_2$  do solo, mas como o resultado obtido foi semelhante ao pH em água os resultados estão no apêndice.

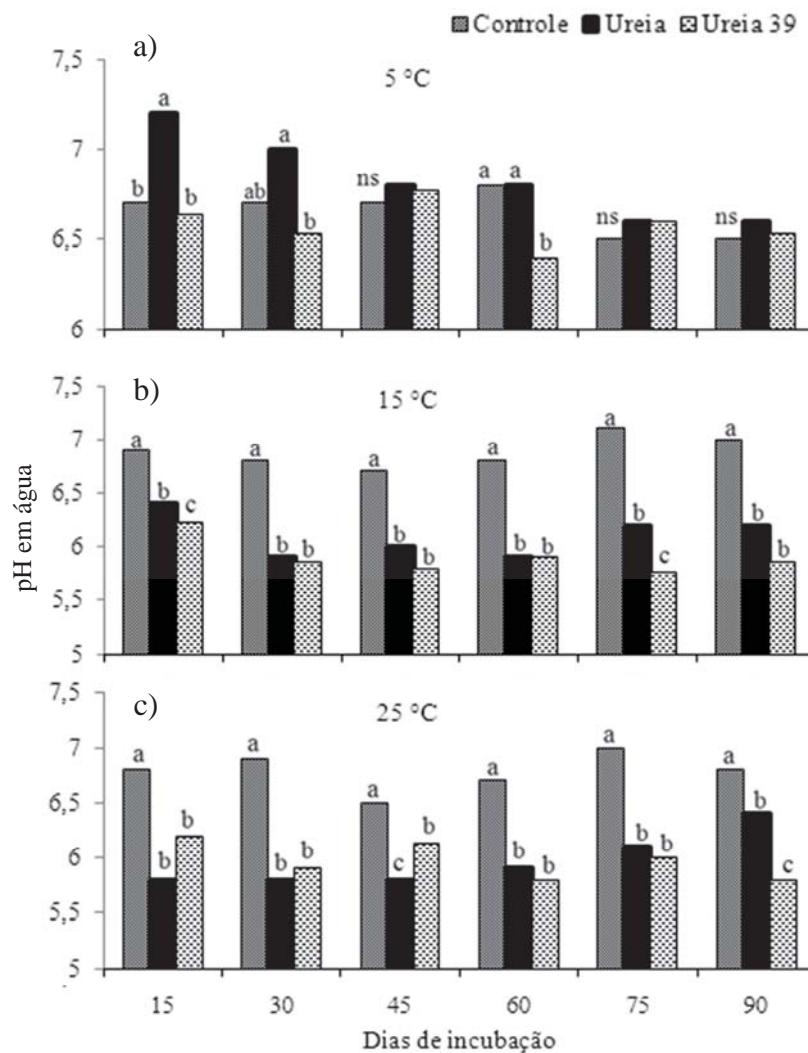


Figura 19 – Valores de pH em água de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

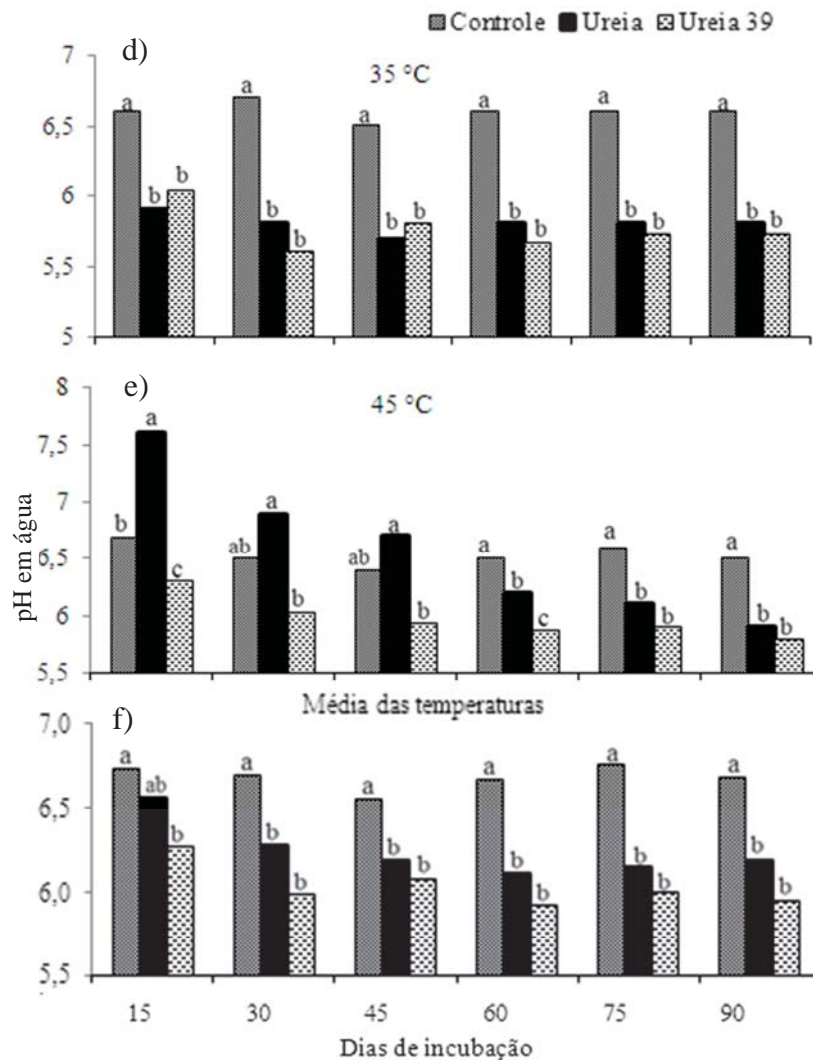


Figura 19 – Valores de pH em água de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ). (Continuação).

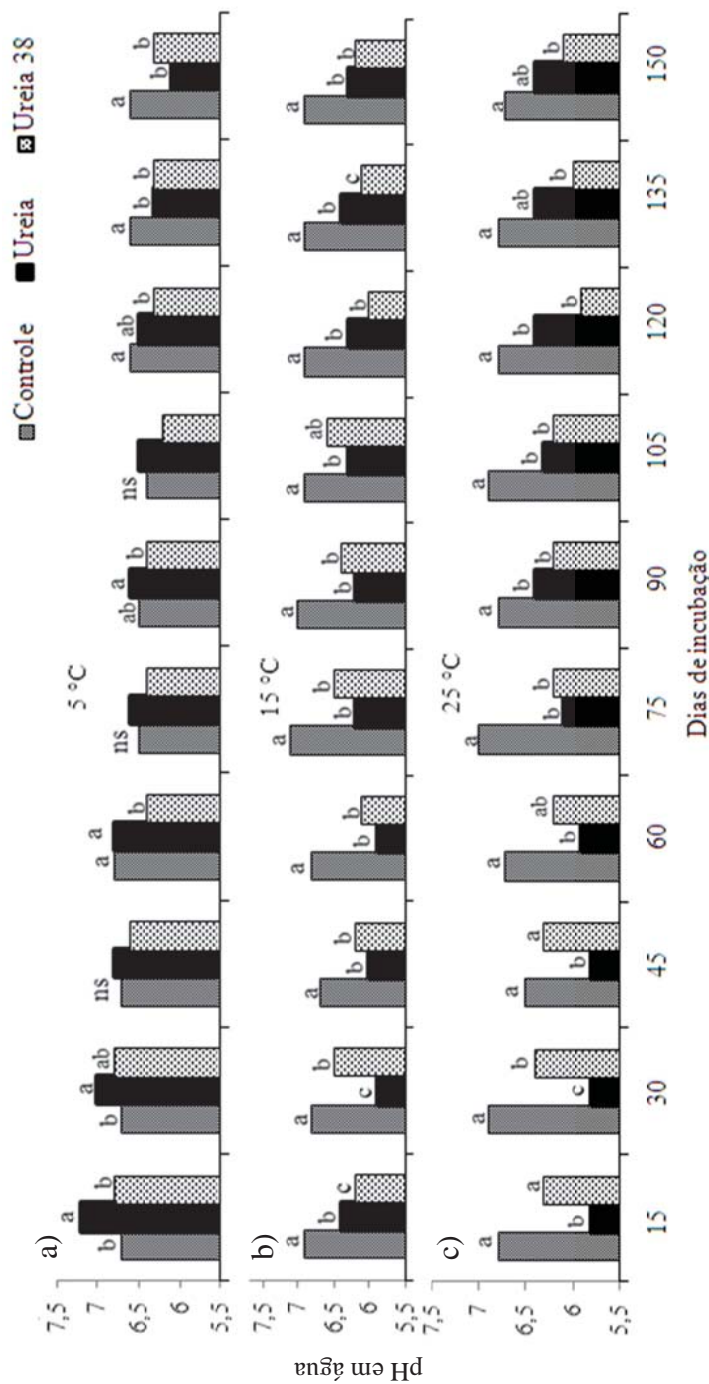


Figura 20 – Valores de pH em água de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

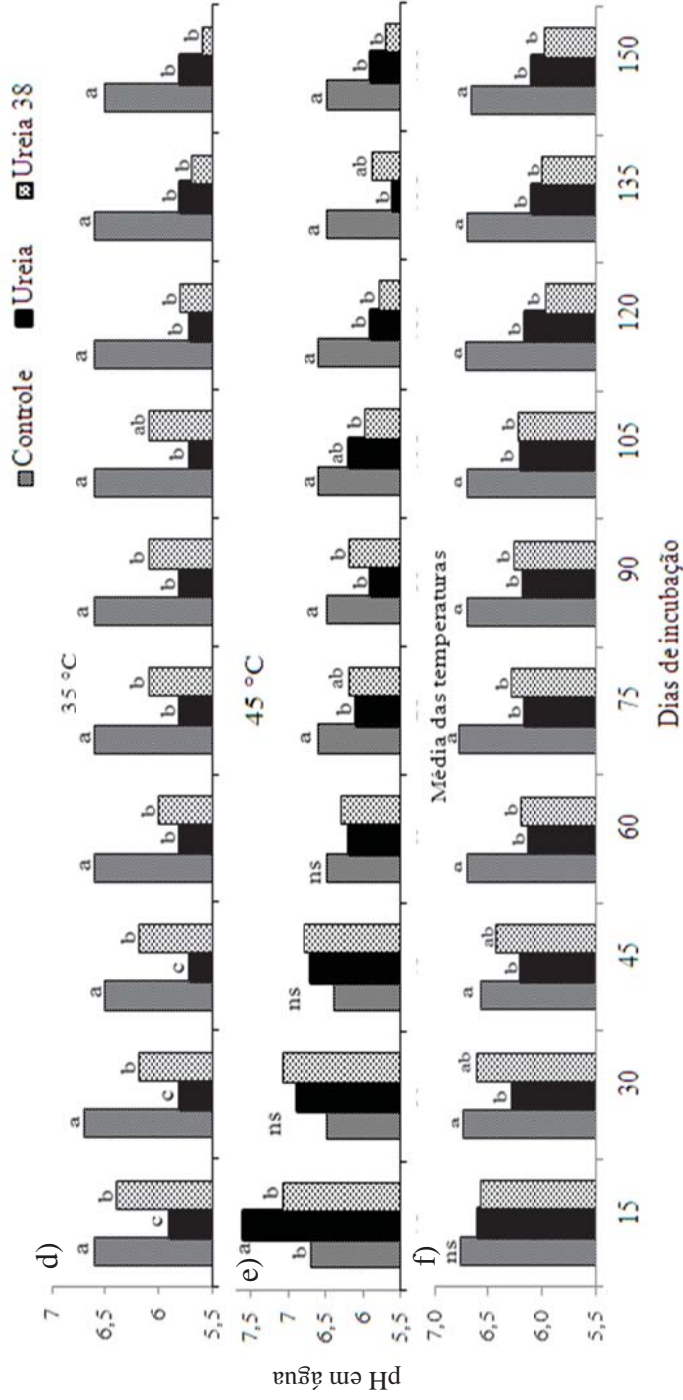


Figura 20 – Valores de pH em água de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo (p > 0,05). (Continuação).

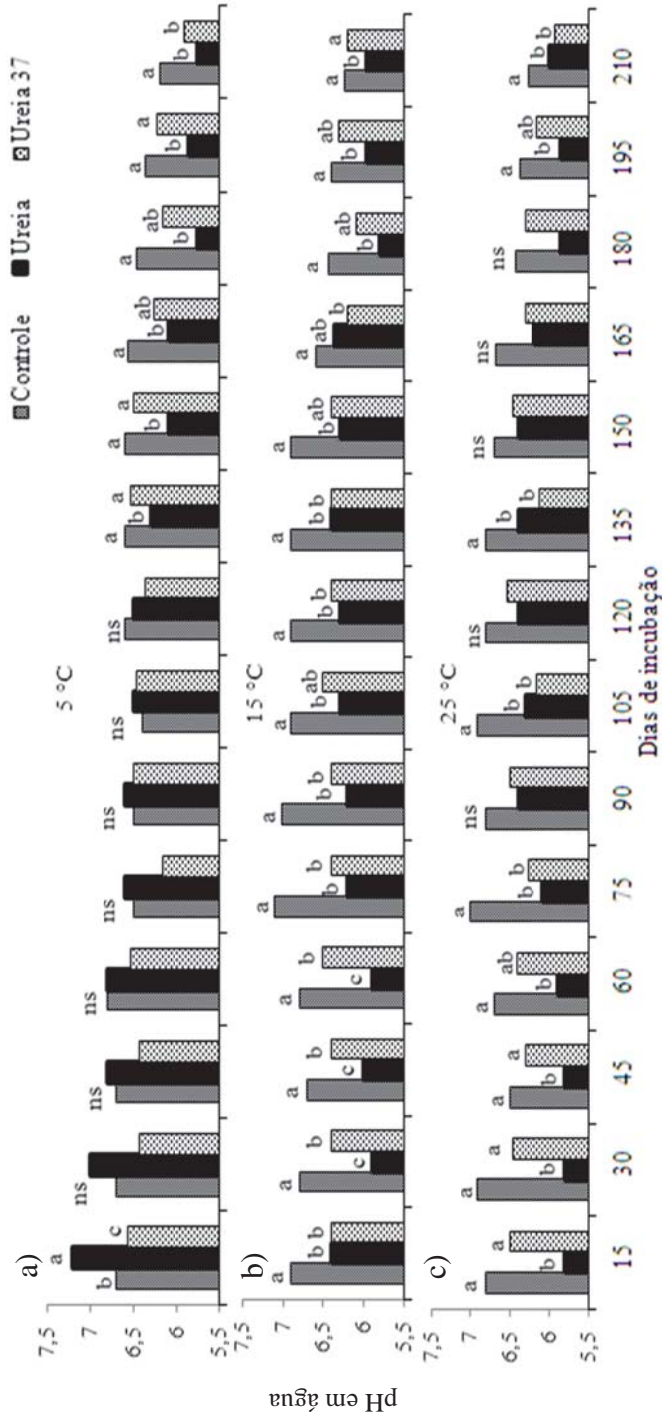


Figura 21 – Valores de pH em água de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

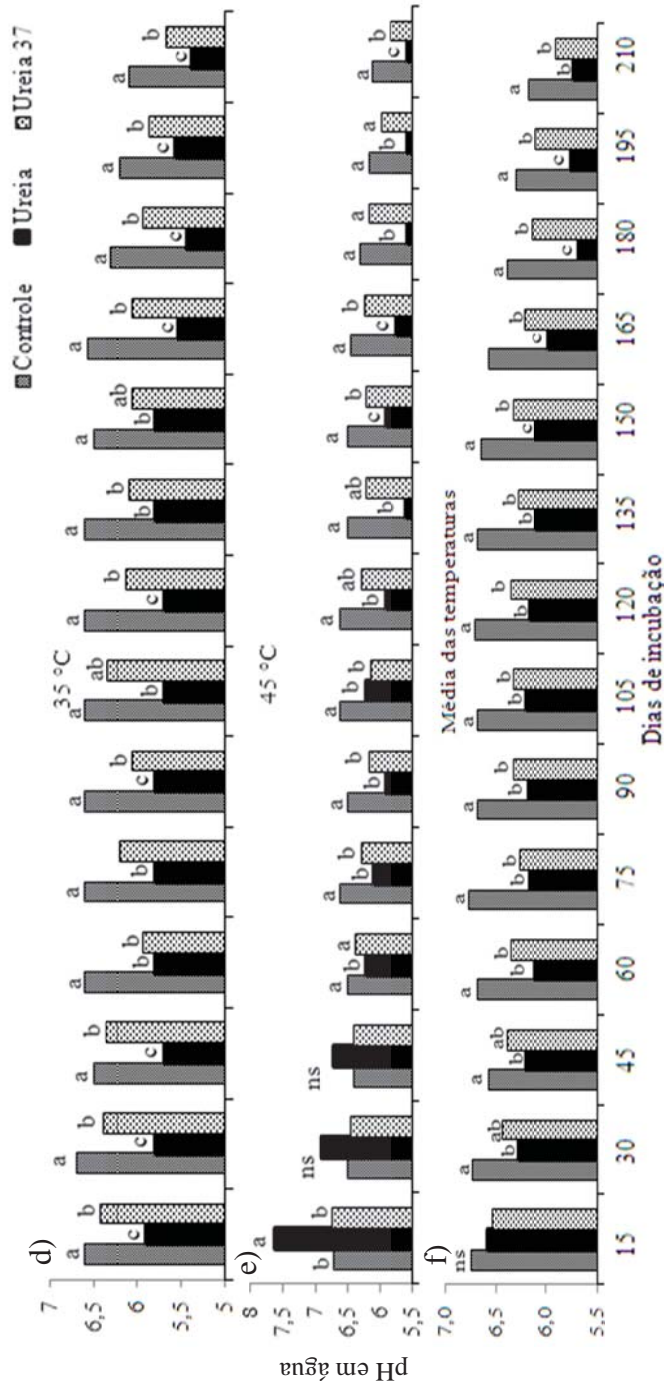


Figura 21 – Valores de pH em água de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ). (Continuação).

## 5 CONCLUSÕES

- 1) A liberação de N das ureias U39, U38 e U37 aumenta com o acréscimo do tempo de incubação e da temperatura, cuja faixa ótima é de 25 a 45 °C.
- 2) A dinâmica de liberação de N varia com as três ureia de liberação gradual. Esse fenômeno é maior aos 90, 150 e 210 dias com as ureias U39, U38 e U37, respectivamente.



## REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: YAMADA, T.; STIPP E ABDALLA, S. R.; VITTI, G. C. *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira*. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 1-41.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 873-928.

ASSOCIATION OF AMERICAN PLANT FOOD CONTROL OFFICIALS. *Official documents 57*. West Lafayette: AAPFCO, 1997.

BLAYLOCK, A. *Novos fertilizantes nitrogenados: o futuro dos fertilizantes nitrogenados de liberação controlada*. Piracicaba: IPNI, 2007. p. 8-10. (Informações Agronômicas, 120)

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. *The nature and properties of soils*. 14 ed. New Jersey: Pearson, 2008. 975 p.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-470, 2007.

CHEN, X. The chinese market of slow- and controlled release and stabilized fertilizers. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SLOW- AND CONTROLLED-RELEASE AND STABILIZED FERTILIZERS, 3., 2013. Rio de Janeiro. *Proceedings*. Rio de Janeiro: IFA, 2013. Disponível em: <<http://www.fertilizer.org>>. Acesso em: 2 mar. 2015.

CONRAD, R. Soil microorganisms as controller so atmospheric trace gases (H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, OCS, N<sub>2</sub>O, and NO). *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, Washington, v. 60, p. 4609-640, 1996.

COSTA, P. O. da S. *Avaliação em laboratório do transporte de contaminantes no solo do aterro sanitário de Sauípe/BA*. 2002.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). PUC, Rio de Janeiro, 2002.

DUARTE, A. P. L. *Avaliação de propriedades termo hídricas de solos requeridas na aplicação da técnica de dessorção térmica*. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). PUC, Rio de Janeiro, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Manual de métodos de análise de solos*. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2011. 230 p.

FERNANDES, F. F. Manejo do nitrogênio e do enxofre no solo. In: VALE, D. W.; SOUZA, J. I.; PRADO, R. M. *Manejo da fertilidade do solo e nutrição de plantas*. Jaboticabal: FCAV, 2010. p. 97-118.

FRANCO, J. A. M.; SARAIVA NETO, A. Produção de fertilizantes nitrogenados e suprimentos de matéria prima. In: YAMADA, T.; STIPP E ABDALLA, S. R.; VITTI, G. C. *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira*. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 73-108.

GOULD, W. D.; COOK, F. D.; WEBSTER, G. R. Factors affecting urea hydrolysis in several Alberta soils. *Plant Soil*, Gewerbestrassep, 38, p. 393-401, 1973.

HAVLIN, J. L.; TISDALE, S. L.; NELSON L. W.; BEATON, J. D. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. 8 ed. New Jersey: Pearson, 2013, 516 p.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Enxofre elementar em quarenta e duas amostras de solos do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 3, p. 455-463, 2007.

HOSNI, K.; SRASRA, E. Nitrate adsorption from aqueous solution by MII-Al-CO<sub>3</sub> layered double hydroxide. *Inorganic Materials*, Moscow, v. 44, p. 742-749, 2008.

JU, X. T.; XING, G. X.; CHEN, X. P.; ZHANG, S. L.; ZHANG, L. J.; LIU, X. J.; CUI, Z. L.; YIN, B.; CHRISTIE, P. AND ZHU. Z. L. Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems. In: NATIONAL ACADEMY

OF SCIENCES OF THE UNITED STATES OF AMERICA. *Proceedings...* v. 106. 2009. p. 3041–3046.

KISS S., SIMIHAIAN M. Improving efficiency of urea fertilizers by inhibition of soil urease activity. *Kluwer Academic Publishers: The Netherlands*, 2002. 419 p.

KLEIN, C. B.; ESCOSTEGUY, P. A. V.; NAVARINI, S.; HÄNEL, J.; ROSSO, O. A. P. A simple method for nitrogen analysis of solid fertilizers. In: WORLD FERTILIZER CONGRESS OF CIEC. 16., 2014, Rio de Janeiro. *Proceedings...* Rio de Janeiro: CIEC, 2014. p. 221-222

LARA CABEZAS, W. A. R.; TRIVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH<sub>3</sub> volatilizado da ureia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 14, p. 345-352, 1990.

LIANG, X. Q.; XU, L.; LI, H.; HE, M. M.; QIAN, Y. C.; LIU, J.; NIE, Z. Y.; YE, Y. S.; CHEN, Y. Influence of N fertilization rates, rainfall, and temperature on nitrate leaching from a rain fed winter wheat field in Taihu watershed. *Physics and Chemistry of the Earth*, Reino Unido, v. 36, p. 395–400, 2011.

LUNAU, M.; VOSS, M.; ERICKSON, M.; DZIALLAS, C.; CASCIOTTI, K.; DUCKLOW, H. Excess nitrate loads to coastal waters reduces nitrate removal efficiency: mechanism and implications for coastal eutrophication. *Environmental Microbiology*, Reino Unido, v. 15, p. 1492–1504, 2013.

MACHADO, D. L. M.; LUCENA, C. C.; SANTOS, D.; SIQUEIRA, D. L.; MATARAZZO, P. H. M.; STRUIVING, T. B. Slow-release and organic fertilizers on early growth of Rangpur lime. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 359-365, 2011.

MALAVOLTA, E. *Manual de nutrição de plantas*. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.

MARTHA JUNIOR, G.; CORSI, M.; TRIVELIN, P. C. O.; VILELA, L.; PINTO, T. L. F.; TEIXEIRA, G. M.; MANZONI C. S.; BARIONI, L. G. Perda de amônia por volatilização em pastagem de capim-Tanzânia adubada com ureia no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 2240-2247, 2004.

MARTINS, M. R.; SANTOS, F.; CANDEIAS, P.; CRUZ-MORAIS, J. Efeito da temperatura, pH e vestígios de Hg<sub>2</sub> e Pb<sub>2</sub> na atividade de desidrogenases e urease num solo da região de Évora. *Revista de Ciências Agrárias*, Lisboa, v. 33 n. p. 314-322, 2010.

MATTOS JR., D.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Perdas por volatilização do nitrogênio fertilizante aplicado em pomares de citros. *Revista Laranja*, Cordeirópolis, v. 23, n. 1, p. 263-270, 2002.

MORGAN, K. T.; CUSHMAN, K. T.; SATO, S. Release mechanisms for slow and controlled release fertilizers and strategies for their use in vegetable production. *HortTechnology*, Estados Unidos, v. 19, p. 10-12, 2009.

NYE, P. H.; TINKER, P. B. *Solute movement in the soil-root system*. Oxford: Black Scientific publications, 1977. 342 p.

O'CONNOR, M. J.; HENDRICKSON, L. L. Effect of phenylphosphorodiamidate on ammonia volatilization as affected by soil temperature and rates and distribution of urea. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 51, p. 1062-1066, 1987.

PEREIRA, E. I.; CRUZ, C. C. T. da; RIBEIRO, C.; CAVIGELLI, M. A.; SOLOMON, A. Nanocompósitos nitrogenados de liberação lenta: produção e caracterização. *VII WORKSHOP DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO*. São Carlos. EMBRAPA. 2013.

RAIJ, B. V. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

REIS JUNIOR, R. dos A.; SILVA, D. R. G. Avaliação das características físicas e físico-químicas de fertilizantes nitrogenados e

fosfatados revestidos por polímeros. *Magistra*, Cruz das Almas v. 24, n. 2, p. 145-150, 2012.

REYNOLDS, C.M.; WOLF, D.C. & ARMBRUSTER, J.A. Factors related to urea hydrolysis in soils. *Soil Science Society of America*, Madison, v. 49 p. 104-108, 1987.

SHAVIV, A. Advances in controlled-release fertilizers. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 71, p. 1-49, 2001.

SHAVIV, A. Controlled release fertilizers. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON ENHANCED-EFFICIENCY FERTILIZERS, Frankfurt, 2005. *Proceedings...* Paris, International Fertilizers Industry Association, 2005.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 391-399, 2006.

SINGH, U.; SANABRIA, J.; AUSTIN, E. R.; AGYIN-BIRIKORANG, S. Nitrogen transformation, ammonia volatilization loss, and nitrate leaching in organically enhanced nitrogen fertilizers relative to urea. *Soil Science Society of America*, Madison, v. 76, n. 5, p. 1842-1854, 2012.

STAFANATO, J. B.; GOULART, R. S.; ZONTA, E.; LIMA, E.; MAZUR, N.; PEREIRA, C. G.; SOUZA, H. N. Volatilização de amônia oriunda de ureia pastilhada com micronutrientes em ambiente controlado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 37, p. 726-732, 2013.

TASCA, F. A.; ERNANI, P. R.; ROGERI, D. A.; GATIBONI, L. C.; CASSOL, P. C. Volatilização de amônia do solo após a aplicação de ureia convencional ou com inibidor de uréase. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, p. 493-502, 2011.

TEDESCO, M. J.; GIACONELO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análise de solo, planta e outros materiais*. 2. ed.

Porto Alegre: Departamento de Solo da Faculdade de Agronomia da UFRGS, 1995. 147 p. (Boletim técnico, 5)

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D. *Soil fertility and fertilizers*. 4. ed. New York: Macmillan, 1985. 174 p.

TRENKEL, M. E. *Improving fertilizer use efficiency: controlled-release and stabilized fertilizers in agriculture*. Paris: IFIA, 1997. 151 p.

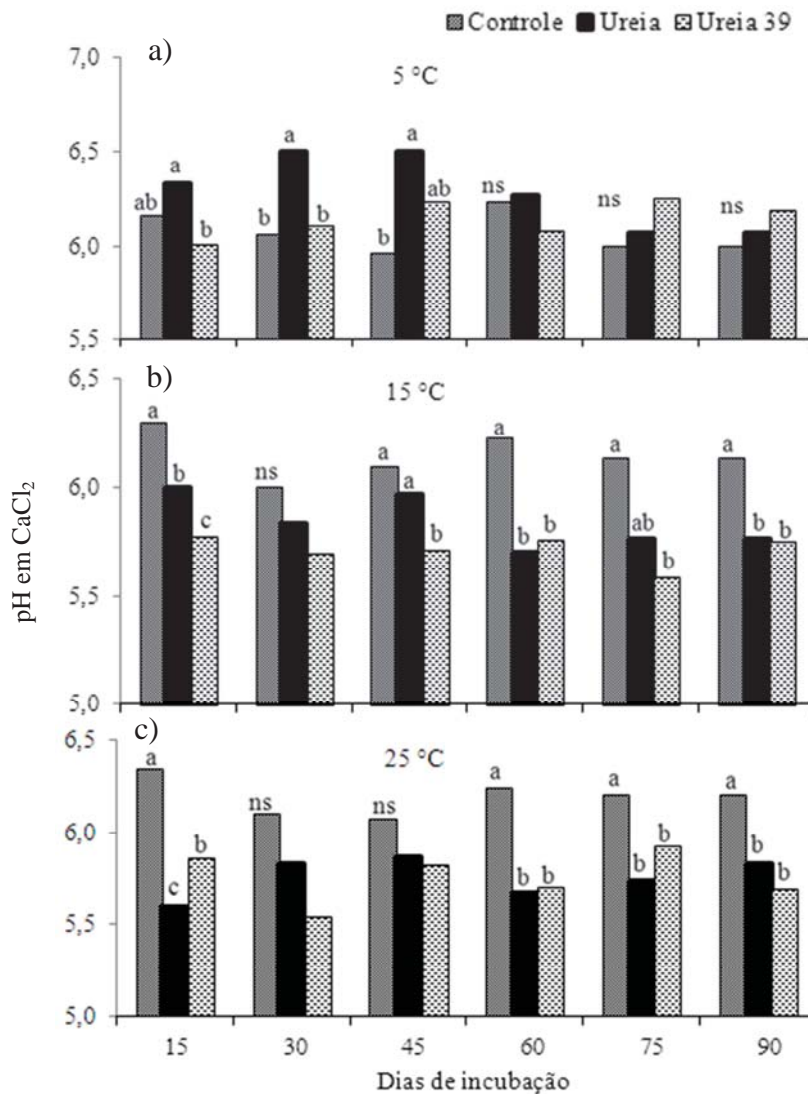
TRENKEL, M. E. *Slow and controlled-release and stabilized fertilizers: an option for enhancing nutrient use efficiency in agriculture*. Paris: IFIA, 2010. 160 p.

TREVISAN, R.; HERTER, F. G.; PEREIRA, I. dos S. Variação da amplitude térmica do solo em pomar de pessegueiro cultivado com aveia preta (*avena sp.*) e em sistema convencional. *Revista Brasileira Agrociência*, Pelotas, v. 8, n. 2, p. 155-157, 2002.

UREÑA-AMATE, M. D.; BOUTARBOUCH, N. D.; SOCIAS-VICÍANA, M. M.; GONZÁLES-PRADAS, E. Controlled release of nitrate from hydrotalcite modified formulations. *Applied Clay Science*. v. 52, p. 368-373, 2011.

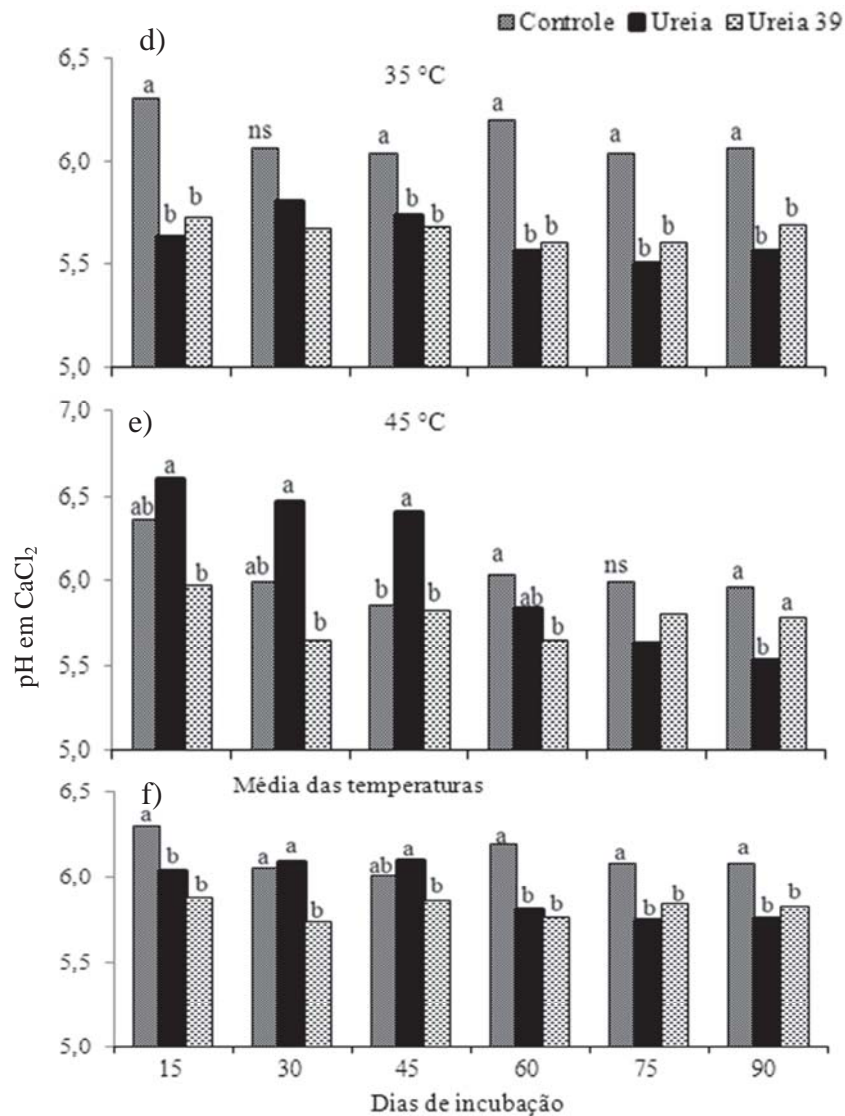
VITTI, G. C.; HEIRINCHS, R. Formas tradicionais e alternativas de obtenção e utilização do nitrogênio e do enxofre: Uma visão holística. In: YAMADA, T.; STIPP E ABDALLA, S. R.; VITTI, G. C. *Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira*. Piracicaba: IPNI Brasil, 2007. p. 109-160.

## APÊNDICES

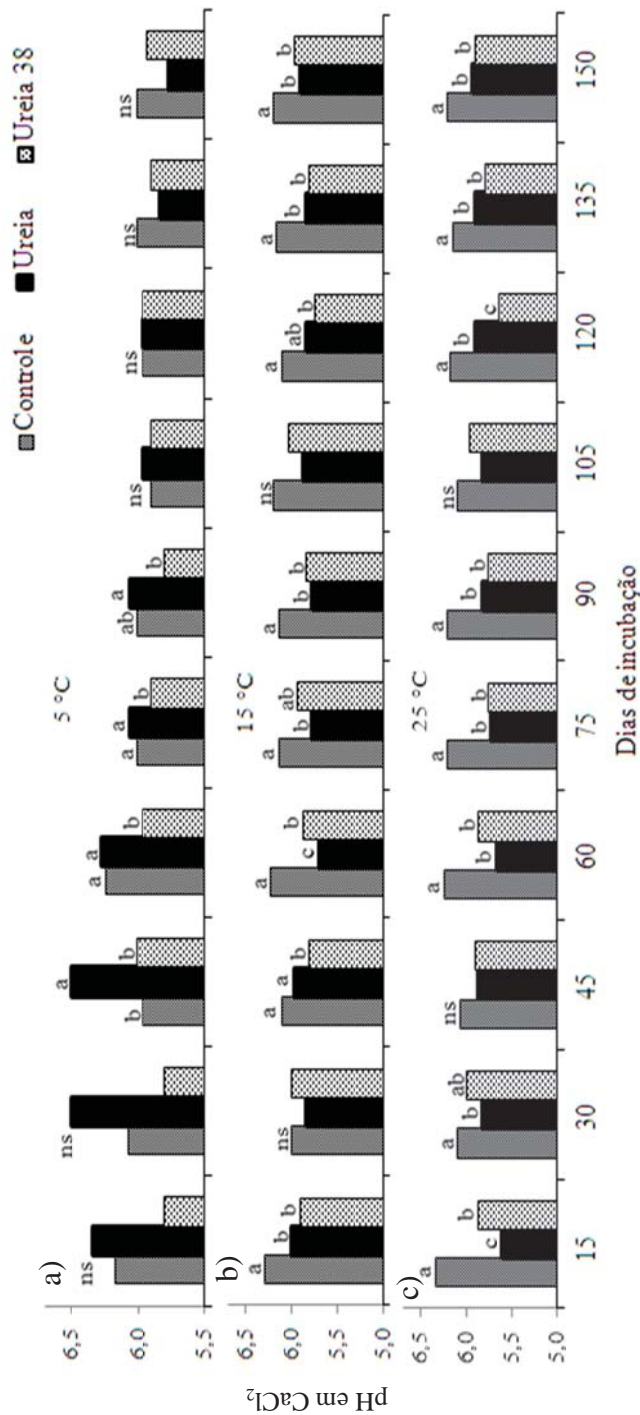


Apêndice 1 – Valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).

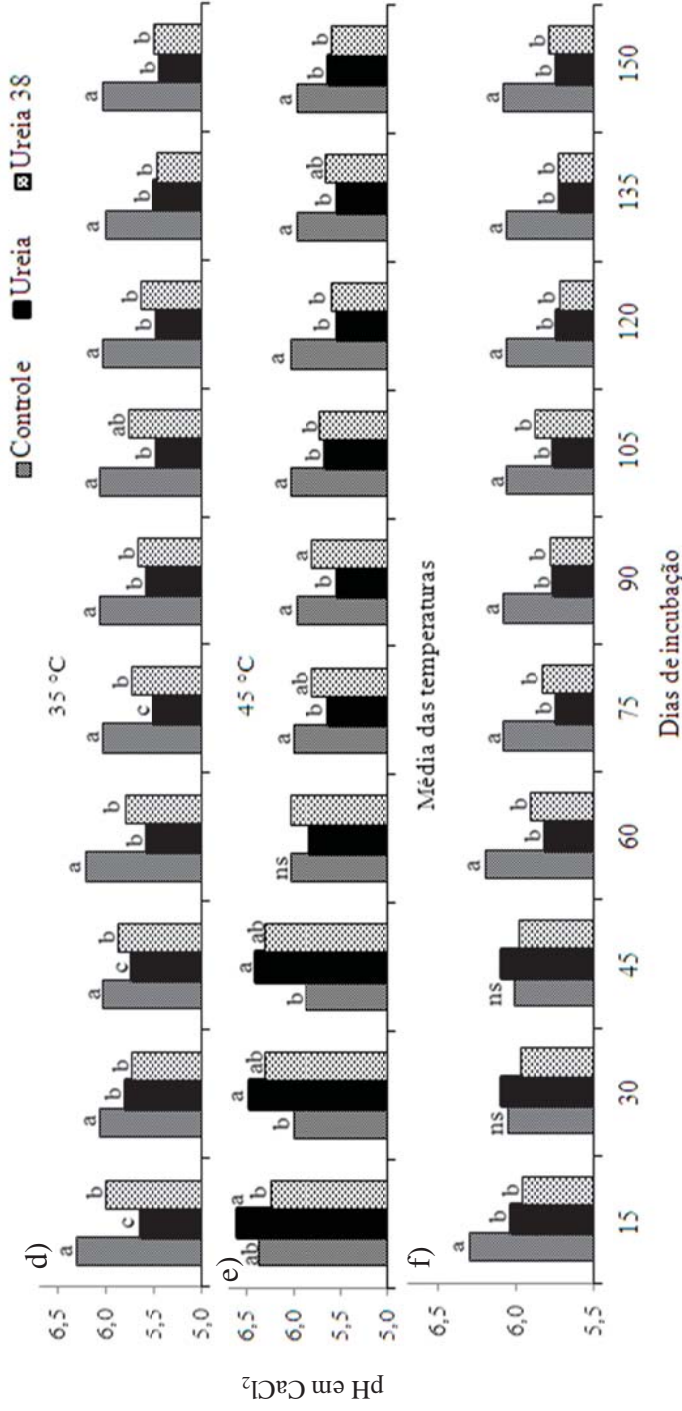




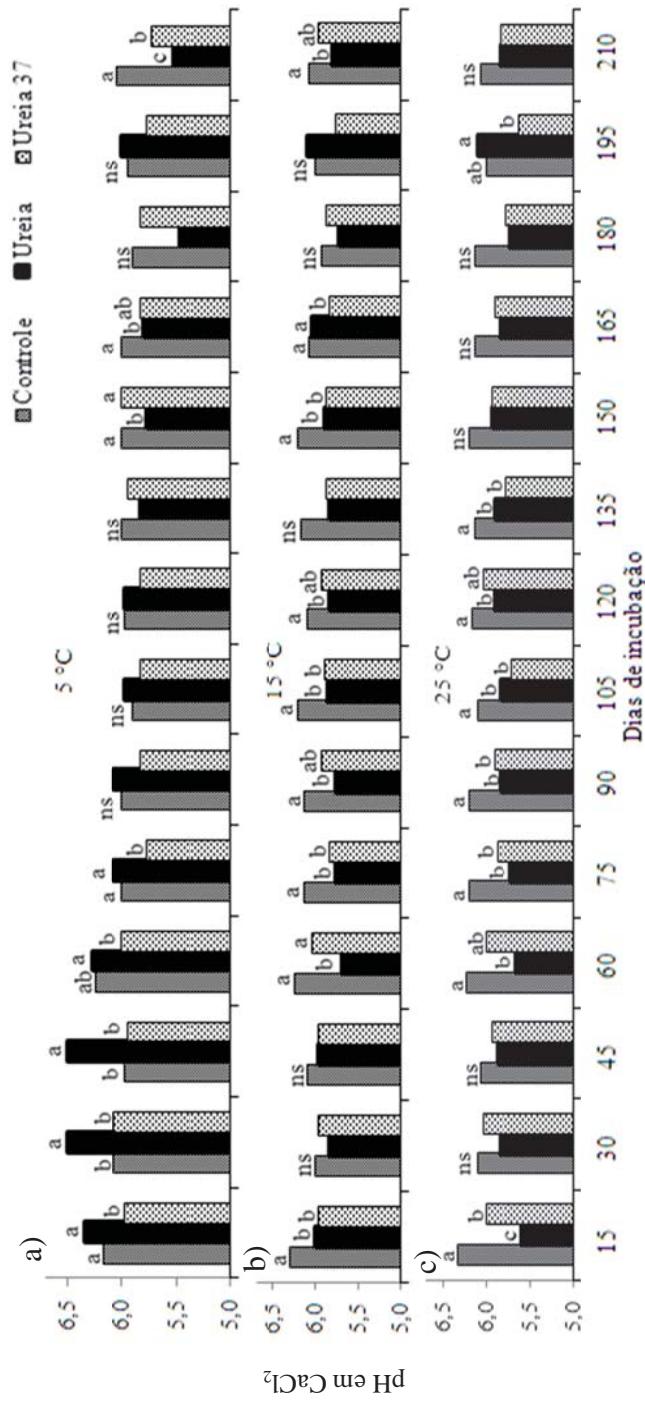
Apêndice 1 – Valores de pH em CaCl<sub>2</sub> de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 39% desse nutriente (U39), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo (p > 0,05).



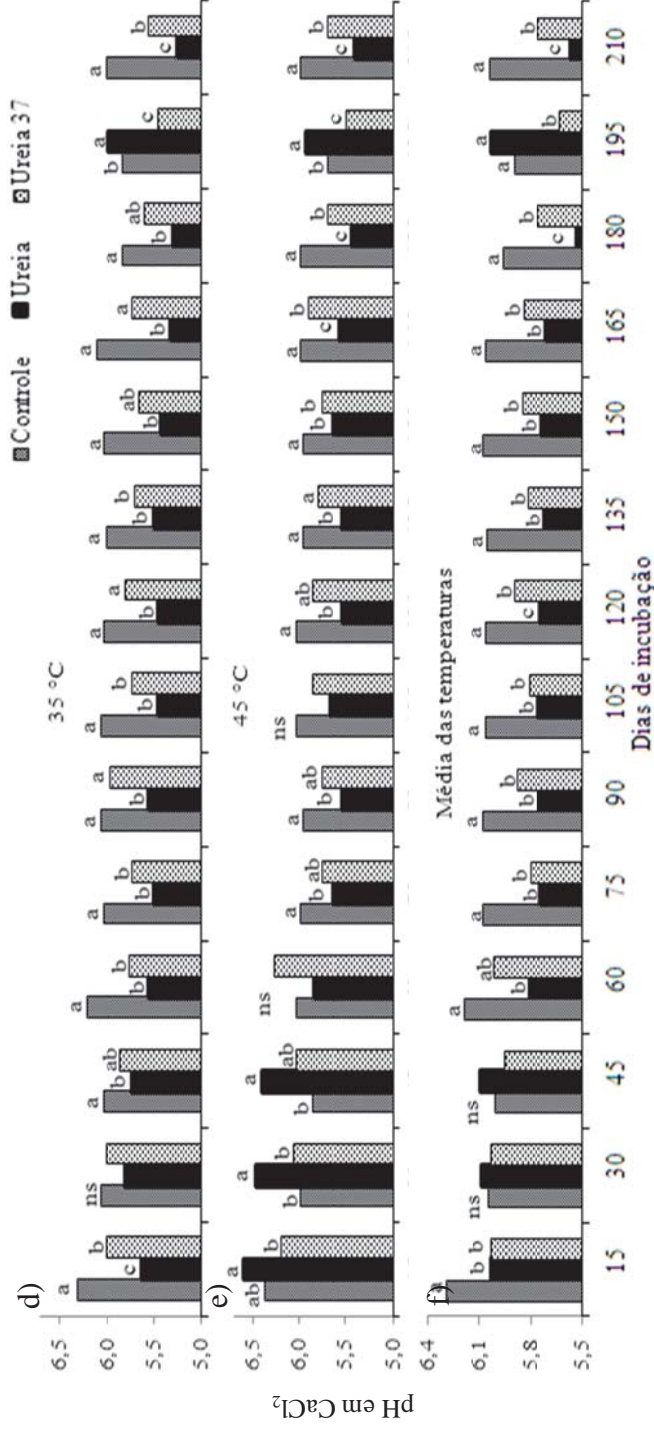
Apêndice 2 – Valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).



Apêndice 2 – Valores de pH em  $\text{CaCl}_2$  de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 38% desse nutriente (U38), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05). <sup>ns</sup>: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).



Apêndice 3 – Valor do pH em  $\text{CaCl}_2$  de um Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia de pronta liberação (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em função da temperatura e dos dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias seguidas de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo Teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). ns: Teste F não significativo ( $p > 0,05$ ).



Apêndice 3 – Valores de pH em CaCl<sub>2</sub> de Latossolo incubado com ureia de liberação gradual contendo 37% desse nutriente (U37), ureia comum (Ureia) e sem aplicação de fertilizante (Controle), em diferentes temperaturas e dias de incubação. UPF, Passo Fundo, RS, 2014. Médias de letras iguais, na mesma época de incubação, não diferem pelo teste de Tukey (0,05).<sup>ns</sup>: Teste F não significativo (p > 0,05).