

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SORO ÁCIDO DE LEITE ASSOCIADO A DOSES DE  
NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO**

**Samira Furtado de Queiroz**

Tecnóloga em Laticínios

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SORO ÁCIDO DE LEITE ASSOCIADO A DOSES DE  
NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO**

**Samira Furtado de Queiroz**

**Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz  
Co-Orientador: Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

**2013**

Queiroz, Samira Furtado  
Q3s Soro ácido de leite associado a doses de N-ureia em cobertura na cultura do milho / Samira Furtado de Queiroz. -- Jaboticabal, 2013  
ix, 38 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013  
Orientadora: Mara Cristina Pessoa da Cruz  
Banca examinadora: Itamar Andrioli, José Ricardo Mantovani  
Bibliografia

1. Resíduo orgânico. 2. Adubação nitrogenada. 3. Potássio. 4.  
Sódio. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e  
Veterinárias.

CDU 633.15:631.81

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

### CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO:** SORO ÁCIDO DE LEITE ASSOCIADO A DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO

**AUTORA:** SAMIRA FURTADO DE QUEIROZ

**ORIENTADORA:** Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

  
Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ  
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. ITAMAR ANDRIOLI  
Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

  
Prof. Dr. JOSÉ RICARDO MANTOVANI  
Universidade José do Rosário Vellano / Alfenas/MG

Data da realização: 06 de dezembro de 2013.

## DADOS CURRICULARES DA AUTORA

**SAMIRA FURTADO DE QUEIROZ** – nascida em 06 de março de 1987, na cidade de Frutal - MG, graduou-se em Ciência e Tecnologia de Laticínios pela Universidade Estadual de Minas Gerais (UEMG), Câmpus Frutal, em janeiro de 2010. Em 2010 ministrou aulas no curso técnico da escola UNITEC, nas disciplinas de Tratamentos de Resíduos e Efluentes em Indústrias Agrícolas, e Agronegócios, Marketing e Mecanização Agrícola. No ano de 2011 conclui curso de Pós-Graduação *Lacto Sensu* em Controle de Qualidade na Indústria de Alimentos, na Faculdades Associadas de Uberaba (FAZU); em agosto deste mesmo ano iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), UNESP, Câmpus de Jaboticabal - SP. Durante o mestrado foi professora de Práticas Laboratoriais no curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Ciência e Tecnologia de Laticínios e Tecnologia em Produção Sucroalcooleira na Universidade do Estado de Minas Gerais, Câmpus Frutal - MG.

## **DEDICO**

À memória de Conrado Barcelos de Queiroz, meu querido pai, que virou soma de tudo que foi e de tudo aquilo que pensei, que é a síntese da vida que hoje eu vivo em todos os momentos.

À Professora Mara e ao Professor Manoel Evaristo, não somente pela orientação, mas pelo carinho, amizade, amor, paciência, e aconselhamentos nesta longa jornada.

Exemplos de vida!!!

**OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por esta oportunidade em minha vida.

À minha família querida que tanto amo, que não mediu esforços para me ajudar; devo tudo que tenho a vocês.

Ao meu avô Domingos Garcia de Queiroz que cedeu a propriedade para realização do experimento a campo.

Às empresas Catupiry© Laticínios, pelo fornecimento do soro de leite, e Coragro Produtos Agrícolas, pelos insumos.

Ao amigo Fernando Kuhnen, pela ajuda na condução do experimento a campo, orientação e paciência durante a elaboração da dissertação.

À Selma Guimarães Figueiredo, técnica do laboratório de Fertilidade do Solo, pelo carinho e auxílio nas análises laboratoriais.

Aos amigos do Laboratório de Fertilidade do Solo, Aline Carla Trombeta Bettiol, Cássia Rita Adame, Felipe Batistella Filho, Marina Ali Mere Bergamasco e Thiago de Barros Sylvestre, pela amizade, companheirismo e ajuda durante toda a caminhada.

À amiga Claudia Kazumi Fujita, Coordenadora dos Laboratórios (UEMG) Câmpus Frutal, pela paciência, dedicação, carinho e amor, por quem eu tenho muita estima e agradeço pela amizade.

Aos meus padrinhos Sinibaldo Gomes Pinheiro e Fátima Aparecida Pereira Gomes pelo amor e carinho em momentos intensos e difíceis ao longo desta trajetória, e por terem colaborado comigo na realização do experimento.

À Universidade do Estado de Minas Gerais pela liberação para atividades acadêmicas referentes ao curso.

Ao Diretor da Universidade do Estado de Minas Gerais Câmpus Frutal, Dr. Ronaldo Wilson Santos, por proporcionar oportunidade de trabalho na minha vida profissional.

Aos Professores da Universidade do Estado de Minas Gerais - Allynson Takehiro Fujita, Jhansley Ferreira da Mata, Maria José Lacerda da Mata, Osania Emerenciano Ferreira, Renata Campolim Camargo e Taciana Faria Cabral Ribeiro, pelas dicas, ajuda, aconselhamento, apoio e carinho em momentos difíceis de minha vida.

Aos estagiários Leandro Duarte Morais, Leonardo Ferreira do Carmo e Lucas Camargo Pinheiro que auxiliaram nas atividades diárias durante a condução do experimento.

Aos meus grandes amigos Douglas Luiz da Mata, Eliene Minarini, Johnattan Luiz da Mata, Lucio Martins Costa, Patrícia Dias Tavares, Rogério Silva Ferreira, Ramayane Andrade Ferreira e Roseline Mezacasa, pela amizade em todos os momentos de minha vida.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito Obrigada!!!

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Nitrogênio para a cultura do milho.....	3
2.2 Características, disponibilidade e uso de soro de leite como fonte de nutrientes.....	4
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	9
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5 CONCLUSÕES.....	32
6 REFERÊNCIAS.....	33

## SORO ÁCIDO DE LEITE ASSOCIADO A DOSES DE NITROGÊNIO EM COBERTURA NA CULTURA DO MILHO

**RESUMO** – O soro de leite é um resíduo abundante que pode ser utilizado para aplicação no solo, com particular interesse nas concentrações de N e K. O objetivo com este trabalho foi avaliar atributos químicos do solo e produtividade de milho em resposta à combinação de doses de soro ácido de leite e de N-ureia em cobertura. O experimento foi instalado em Frutal-MG, em Latossolo Vermelho textura média. O delineamento foi em blocos ao acaso, com dez tratamentos resultantes da combinação de cinco doses de N-ureia em cobertura, na presença e ausência de soro ácido de leite, e seis repetições. As doses de N-ureia foram 0, 45, 90, 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N e o soro foi aplicado na dose de 62.500 L ha<sup>-1</sup>. O N-mineral do solo aumentou em função da adubação nitrogenada, mas não devido à aplicação de soro. A aplicação de soro de leite aumentou os teores de P-resina, K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup> trocáveis no solo e as concentrações de P, K e Na nas folhas de milho. O soro, em dose que forneceu 50 kg ha<sup>-1</sup> de N, aumentou a produtividade de grãos de milho em 938 kg ha<sup>-1</sup>, o que não foi conseguido com 180 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia em cobertura.

**Palavras-chave:** resíduo orgânico, adubação nitrogenada, potássio, sódio.

## ACID MILK WHEY ASSOCIATED WITH TOPDRESS NITROGEN IN THE CULTURE OF MAIZE

**SUMMARY** – Milk whey is abundant residue and it can be used for soil application, with particular interest in the N and K concentrations. This work aimed to evaluate soil chemical properties and corn yield in response to the combination of acid whey and N-urea topdressing doses. The experiment was carried out in Frutal/MG - Brazil, in a Haplustox. The experimental design was a randomized block with ten treatments resulting from the application of five doses of N-urea with or without the application of acid whey (62.500 L ha<sup>-1</sup>), and six replications. The doses of N-urea in topdressing were 0, 45, 90, 135 and 180 kg ha<sup>-1</sup> N. The soil mineral N increased due to nitrogen fertilization, but not due to the application of acid whey. The use of acid whey increased the available P and the exchangeable K<sup>+</sup> and Na<sup>+</sup> in soil and the concentrations of P, K and Na in maize leaves. The acid whey in a dose that provided 50 kg ha<sup>-1</sup> N, increased the grain yield of maize in 938 kg ha<sup>-1</sup> which was not achieved with 180 kg ha<sup>-1</sup> N-urea in topdressing.

**Keywords:** organic residue, nitrogen fertilizer, potassium, sodium.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o milho é cultivado em praticamente todas as regiões, havendo registro de produção em 97% dos municípios no período compreendido entre 2004 e 2008 (IBGE, 2010). De acordo com a Conab (2012) foram plantados 14,46 milhões de hectares da cultura, resultando em 69,48 milhões de toneladas de grãos.

A importância econômica da cultura do milho deve-se às suas várias formas de utilização, desde a alimentação animal até a indústria de alta tecnologia. O uso do milho em grão na alimentação animal representa a maior parte do consumo do cereal, cerca de 70% no mundo. Em países como os Estados Unidos, cerca de 50% são destinados a esse fim e, no Brasil, de 60 a 80%, dependendo do ano (EMBRAPA, 2012).

Na adubação da cultura do milho, o nitrogênio é o nutriente de maior resposta de produção e de maior custo e, para atender às necessidades da cultura com diminuição de custos, a utilização de resíduos orgânicos pode ser uma alternativa viável. Entre os resíduos de interesse para a cultura está o soro de leite, que é resultante da separação da caseína e da gordura do leite na produção de queijos. O soro possui alto valor nutricional e é composto de lactose, vitaminas, proteínas e nutrientes. Ele pode ser aproveitado na fabricação de queijo tipo ricota, bolachas e bebidas lácteas, mas, mesmo assim, são desprezados volumes muito grandes, que podem ser tratados em estações de tratamento de águas residuárias, ou descartados, de forma equivocada, diretamente em córregos, lagos e rios. Uma alternativa para o descarte incorreto, ou para o tratamento, que tem custo elevado para a indústria, é a aplicação no solo, como fonte complementar de nutrientes para as plantas.

Na composição do soro estão todos os nutrientes de plantas, mas destacam-se, pela concentração presente, K e N. O K presente no soro está prontamente disponível para as plantas, mas o N está predominantemente na forma orgânica e precisa ser transformado em N-mineral para ser disponibilizado. As formas disponíveis de N são o  $\text{NH}_4^+$ , forma intermediária no processo de transformação, e o  $\text{NO}_3^-$ , forma final. O  $\text{NO}_3^-$  é pouco adsorvido à fase sólida do solo e por isso pode ser perdido facilmente por lixiviação, com risco de contaminação do lençol freático.

Além do N, outro componente do soro, que não é nutriente de planta e precisa ser monitorado é o Na, porque tem ação dispersante dos agregados e pode comprometer a estrutura do solo. Nos casos em que no processo de fabricação de queijo não é feita adição de sal, a concentração de Na no soro é baixa, mas, aplicações repetidas devem ser acompanhadas, de modo que se conciliem doses que resultem no máximo benefício para a planta, sem risco de comprometimento da qualidade da água e do solo.

Na cidade de Frutal (MG), os solos que prevalecem são típicos de cerrados, pobres e ácidos e, na zona rural, as propriedades pequenas e médias, com agricultura familiar, predominam. A utilização do soro neste cenário é uma possibilidade de reuso inteligente de um recurso existente, mas que precisará ser tecnicamente embasada.

Neste trabalho foram avaliados atributos químicos do solo e produtividade de milho em resposta à combinação de doses de soro ácido de leite e de N-ureia em cobertura.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Nitrogênio para a cultura do milho

O nitrogênio é o nutriente exigido em maior quantidade pela cultura do milho, sendo o que mais frequentemente limita a produtividade de grãos, pois exerce importante função nos processos bioquímicos da planta (FORNASIERI FILHO, 2007).

Amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) e nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) são as principais formas químicas de N mineral no solo (BREDEMEIER; MUNDSTOCK, 2000). Ambas são absorvidas pelas plantas e apresentam grande variabilidade no solo, porque os processos a partir dos quais são geradas são dependentes das condições climáticas (temperatura e precipitação), da ação de micro-organismos e do manejo do solo (POLETTO, 2008).

É muito difícil determinar a quantidade exata de N que o milho necessita para atingir a produção máxima econômica, pois a fração que é fornecida pelo solo é resultante de processos dinâmicos, que variam com as mudanças na umidade e na temperatura do solo, e está sujeita a perdas por mobilidade vertical do N-mineral no perfil ou por volatilização (YAMADA; ABDALLA, 2000). A absorção de N pelo milho ocorre em todo ciclo vegetativo, aumentando com o crescimento da planta, mas é mais intensa durante o período que vai dos 40 dias após a semeadura até a emissão do pendão, período em que a planta absorve mais de 70% da sua necessidade total (EMBRAPA, 2007).

No Brasil, a aplicação de N por ocasião da semeadura do milho tem se restringido a pequenas doses, variando de 10 a 30 kg ha<sup>-1</sup>. As razões para isso incluem evitar o excesso de sais no sulco de semeadura, perdas por lixiviação e a baixa demanda inicial do milho (EMBRAPA, 2007). No Estado de São Paulo a recomendação é para que sejam aplicados 30 kg ha<sup>-1</sup> de N no momento da semeadura e o restante em cobertura (RAIJ; CANTARELLA, 1996). Em Minas Gerais, são recomendados 10 a 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura (ALVES et al., 1999).

O aumento do parcelamento da dose de N em cobertura aumenta a eficiência da adubação nitrogenada e reduz as perdas por lixiviação. O parcelamento indiscriminado, sem levar em consideração fatores que afetem a resposta e a

eficiência de uso do N, pode comprometer os retornos da adubação. Em condições de altas doses de N, solos de textura arenosa e áreas sujeitas a chuvas de grande intensidade, o parcelamento deve ser maior. Uma única aplicação deverá ser realizada somente quando forem aplicadas doses baixas ou médias de N, em solos de textura média ou argilosa, e em plantio intensivo sem uso de irrigação, em que a distribuição do fertilizante é uniforme (COELHO et al., 1992).

Silva (2001) obteve maior produtividade, 7.269 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho, quando foi aplicada metade da dose de N na semeadura e metade no estágio de 4 a 6 folhas, e menor quando o N foi aplicado no estágio de 8 a 10 folhas. Godoy (2002) relatou produtividade abaixo de 2.350 kg ha<sup>-1</sup> quando foram aplicados apenas 26 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura, enquanto que com o uso de 140 kg ha<sup>-1</sup> de N em cobertura a produtividade média foi de 9.105 kg ha<sup>-1</sup>.

Araújo, Ferreira e Cruz (2004), trabalhando com a monocultura do milho, usaram 0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia e relataram que a quantidade de N necessária para atingir 90% da máxima produção (11.269 kg ha<sup>-1</sup>) foi de 127 kg ha<sup>-1</sup> de N. A dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N é a recomendada por Rajj e Cantarella (1996) para produção estimada de 8.000 a 10.000 kg ha<sup>-1</sup> em solos de alta resposta ao N. Vanotti e Bundy (1994), em estudo de 24 anos, determinaram que a dose econômica variou de 168 kg ha<sup>-1</sup> de N, em anos de alta produtividade, a 176 kg ha<sup>-1</sup> de N, em anos de baixa produtividade.

## **2.2 Características, disponibilidade e uso de soro de leite como fonte de nutrientes**

Os solos da região do cerrado brasileiro apresentam baixa capacidade de suprimento de N para as culturas, devido aos baixos teores de matéria orgânica. Eles normalmente são ácidos, pobres em bases, e apresentam altos teores de Al<sup>3+</sup> trocável e baixo teor de P disponível, conforme sua natureza mineralógica (LOPES, 1983). Nas regiões de cerrado, a estiagem prolongada na entressafra dificulta o cultivo de adubos verdes como fonte de N, assim como reduz a produtividade de matéria seca, e a ocorrência comum de veranicos influencia a taxa de mineralização do N orgânico do solo e dos resíduos vegetais (SOUSA; LOBATO, 2002). Nestas

condições, o reaproveitamento de resíduos que aumentem o teor de matéria orgânica, a capacidade de troca de cátions e a reserva de N, P, K e outros nutrientes no solo, é de grande interesse. O soro de leite é um bom fornecedor de nutrientes, particularmente de N e K (MENDES et al., 2010).

O soro representa de 85 a 90% do volume de leite utilizado na fabricação de queijos, e retém ao redor de 55% dos nutrientes do leite (GONZÁLEZ SISO, 1996). Por causa do valor nutricional, pode ser utilizado na própria indústria alimentícia, na produção de bebidas lácteas, queijo ricota e bolachas (SILVA, 2000), mas de modo geral não há como fazer seu aproveitamento integral porque a quantidade gerada é muito grande.

Há muita imprecisão nos dados brasileiros sobre a disponibilidade de soro de leite, uma vez que parcela significativa do queijo é produzida por empresas pequenas, que não têm estrutura para processar o soro e que, por isso, destinam o subproduto para alimentação animal ou descartam o excedente em rios, o que torna o soro de leite um dos principais problemas ambientais da indústria de produtos lácteos (SILVA et al., 2013).

A partir da estimativa existente da produção de queijos, é possível calcular a quantidade de soro gerada, assumindo que para cada quilograma de queijo são gerados 9 kg de soro (SILVA, 2009). Como a produção de queijos no Brasil no ano de 2012 foi de 790.323 toneladas (REVISTA LATICÍNIOS, 2013), foram produzidos aproximadamente 7,1 bilhões de litros de soro. Do total produzido, muito pouco é reutilizado na indústria de alimentos nacional, porque a alta porcentagem de água presente no soro inviabiliza economicamente sua desidratação (HOSSEINI et al., 2003). Em contraposição, para atender a demanda da indústria alimentícia nacional, em 2012 foram importadas aproximadamente 24.000 toneladas de soro, o que representou 13,38% das importações de produtos lácteos do Brasil (SILVA et al., 2013).

Nos Estados Unidos, no ano de 1993, foram produzidos 23 bilhões de litros de soro e, dependendo da localidade, de 20 a 100% da quantidade produzida foi aplicada no solo, com finalidade agrícola ou de descarte (ROBBINS; LEHRSCHE, 1998).

Na composição do soro têm-se: P (0,006 a 0,5 g L<sup>-1</sup>), N (0,01 a 1,7 g L<sup>-1</sup>), lactose (0,18 a 60 g L<sup>-1</sup>), proteínas (1,4 a 33,5 g L<sup>-1</sup>) e gorduras (0,08 a 10,58 g L<sup>-1</sup>) (PRAZERES; CARVALHO; RIVAS, 2012). O descarte incorreto dos resíduos gerados nas indústrias de laticínios, incluindo o soro, afeta a qualidade dos efluentes, uma vez que os valores de DBO, DQO, gordura, N total e P total dos resíduos, sem recuperação do soro, são, em mg L<sup>-1</sup>: 5.312, 20.559, 463, 159 e 21, respectivamente (MAGANHA, 2008). Deste modo, dependendo das condições de descarte, o soro de leite torna-se altamente poluidor, e há desperdício de material proteico (ALMEIDA; BONASSI; ROÇA, 2001). Aplicado ao solo, é fonte de nutrientes para as plantas, mas há ainda, risco de aplicação de quantidades grandes de Na ao solo, quando o soro é derivado de processo de fabricação de queijo em que é feita adição de sal. Robbins et al. (1996) citaram 0,6 g L<sup>-1</sup> de Na na composição do soro ácido.

A composição do soro pode variar em função do tipo e do processo industrial. Gheri, Ferreira e Cruz (2003) apresentaram a seguinte caracterização para o soro de leite, resíduo da fabricação de queijo *petit suisse*: pH, 4,4; C orgânico, 25 g L<sup>-1</sup>; N, 0,6 g L<sup>-1</sup>; K, 1,6 g L<sup>-1</sup>; P, 0,6 g L<sup>-1</sup>; Ca, 1,0 g L<sup>-1</sup>; Mg, 0,1 g L<sup>-1</sup>; e S, 0,05 g L<sup>-1</sup>. A relação C/N, em torno de 40, indica predomínio inicial de imobilização em relação à mineralização de N, no processo de decomposição.

Na avaliação do uso agrícola do soro de leite predominam efeitos benéficos nos solos e respostas positivas das culturas, mas as doses empregadas são muito variáveis e não obedecem a regras definidas. Segundo Peterson, Walker e Watson (1979) foi obtida maior produção de grãos de milho, em experimento em campo, com aplicação de 846.000 L ha<sup>-1</sup> de soro. Por outro lado, Modler (1987) relatou que a aplicação de 640.000 L ha<sup>-1</sup> resultou em produção de 3,2 t de grãos de milho. Gheri, Ferreira e Cruz (2003) avaliaram a produção de matéria seca de capim-tanzânia cultivado em lisímetros, após aplicação acumulada de 0; 145.000; 290.000; 435.000 e 580.000 L ha<sup>-1</sup> de soro, e verificaram que a produção máxima teórica de matéria seca foi obtida com 390.000 L ha<sup>-1</sup>.

A aplicação de até 160.000 L ha<sup>-1</sup> de soro, na presença de adubação NPK e ausência, resultou em aumento de cerca de 400% nos teores de K do solo, e de 250% do P disponível, em relação ao tratamento testemunha e, como consequência,

houve aumento na produção de matéria seca de plantas de milho (MIGUEL et al., 2008). Aplicado em solo cultivado com milheto forrageiro (*Pennisetum glaucum* L.), foi observado maior crescimento das plantas com a dose de soro que forneceu 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Doses de soro equivalentes a 200 e 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O causaram diminuição na altura das plantas (MENDES et al., 2010).

Morrill et al. (2012) conduziram experimento em vasos com sorgo e milheto forrageiro, usando aplicação única ou parcelada de 0, 167.000, 333.000, 667.000, 1.000.000 L ha<sup>-1</sup> de soro, doses baseadas na concentração de K (1,5 g L<sup>-1</sup>). A aplicação parcelada deu melhores resultados que a aplicação única para o milheto e a máxima produção de matéria seca foi obtida com 374.000 L ha<sup>-1</sup>. Para o sorgo, os melhores resultados foram obtidos com aplicação única e a produção máxima de matéria seca foi atingida com 719.000 L ha<sup>-1</sup>. Acima das doses citadas a diminuição do crescimento das plantas foi associada com aumento da concentração salina, uma vez que as quantidades de K aplicadas foram muito altas.

A lixiviação de nitrato é o principal problema ambiental que pode decorrer da aplicação de soro ao solo. O nitrato, por ser um ânion que adsorve pouco à fase sólida, é facilmente lixiviado no perfil do solo. Ele pode ser arrastado para fora do alcance das raízes das plantas e atingir as águas subsuperficiais, atuando neste caso como elemento poluente de lençóis freáticos (OLIVEIRA; VILELA; ANGELAYARZA, 2000).

De acordo com vários autores citados por Ernani et al. (2007), a mobilidade vertical dos nutrientes no solo é afetada por fatores físicos e químicos. Entre os fatores físicos estão a distribuição relativa do tamanho de poros e seus graus de saturação com água, e a quantidade de água que percola no perfil, que é função da quantidade e da intensidade das chuvas e da capacidade de retenção de água do solo. Os fatores químicos compreendem a concentração da solução do solo, o valor de pH, a capacidade de troca de cátions/ânions, as reações de dissolução/precipitação, e as trocas iônicas entre as fases sólida e líquida, durante o processo de descida. Do conjunto de fatores citados, as reações de dissolução/precipitação não se aplicam ao nitrato porque ele não forma sais de baixa solubilidade no solo.

Em relação às perdas por lixiviação, aplicações de até 250.000 L ha<sup>-1</sup> de soro ácido de leite não resultaram em lixiviação de nitrato em solo franco (WATSON; PETERSON; POWELL, 1977). A recomendação é para que não se apliquem mais do que 625.000 a 950.000 L ha<sup>-1</sup> por ano de soro de leite, o que supriria as necessidades de N, P e K de diversas culturas (Kelling; Peterson, 1980, citados por MODLER, 1987). No entanto, as variações locais precisam ser consideradas, uma vez que as perdas por lixiviação dependem de outros fatores, como tipo de solo, sistema radicular da planta, quantidade e distribuição das chuvas durante o período de avaliação e forma de aplicação do soro (parcelada ou não).

A relação C/N do soro é um dos fatores que podem interferir nas perdas de nitrato por lixiviação. A variação nos valores relatados na literatura é de 40 (GHERI, FERREIRA; CRUZ, 2003) a 17 (RUIZ, 2012). Como o soro contém quase todo o açúcar do leite, a lactose (SILVA et al., 2013), é esperado que sua aplicação resulte em aumento acentuado na atividade microbiana nos primeiros dias após a aplicação e, em função da relação C/N, pode haver imobilização de N, como sugerido por Gheri, Ferreira e Cruz (2003). Para solucionar o problema, é necessário combinar o uso do soro com aplicação de adubo nitrogenado.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no ano agrícola de 2011/2012 na Fazenda São Matheus, município de Frutal (MG), com a cultura do milho para grãos, em Latossolo Vermelho distrófico textura média (EMBRAPA, 2013). As coordenadas do local são 19°52'9" de latitude sul e 49°7'45" de longitude oeste, a altitude é de 536 m e o clima é Aw, equatorial com inverno seco (RUBEL; KOTTEK, 2010). Os dados da precipitação pluvial coletados durante a condução do experimento (22-10-2011 a 30-05-2012) estão na Figura 1. No período, a precipitação pluvial total foi de 1.336 mm.

A área experimental foi demarcada e a coleta de amostra de solo foi feita nas camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm, com enxadão. As amostras foram compostas de 20 subamostras e foram encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade de Solo da FCAV/UNESP. No laboratório as amostras foram secas, destorroadas, passadas em peneira de 2 mm de abertura de malha e submetidas à análises químicas (RAIJ et al., 2001) e à determinação da granulometria (CAMARGO et al., 2009). Os resultados da caracterização do solo da área estão na Tabela 1.

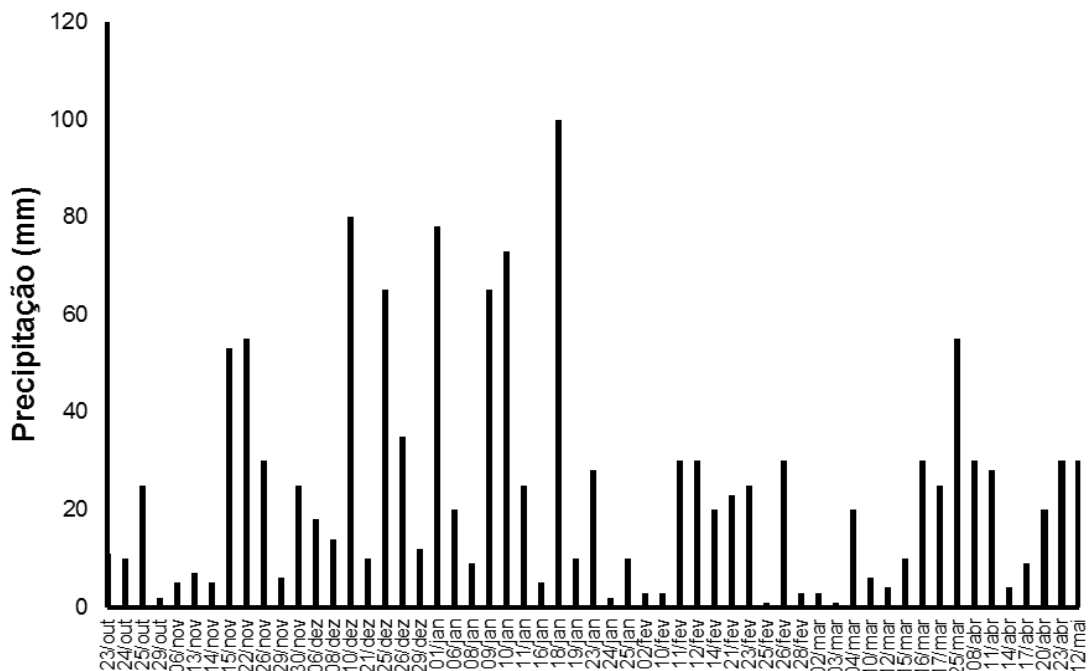


Figura 1. Precipitação pluvial, de outubro de 2011 a maio de 2012, na área do experimento na Fazenda São Matheus, município de Frutal (MG).

Tabela 1. Atributos químicos e granulometria do solo da área do experimento.

Prof.	P- resina	MO	pH CaCl <sub>2</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V	
cm	mg dm <sup>-3</sup>	g dm <sup>-3</sup>	----- mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----								%	
0-20	2	17	4,0	0,6	2	1	47	11	4	51	7	
20-40	1	10	4,1	0,3	1	0,3	34	10	2	36	4	
		B	Cu	Fe	Mn	Zn	S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Areia	Silte	Argila		
		----- mg dm <sup>-3</sup> -----								g kg <sup>-1</sup> -----		
0-20	0,18	0,8	32	4,3	0,4	9	780	40	180			
20-40	0,08	0,6	12	2,4	0,1	9	750	20	230			

O experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, com dez tratamentos e seis repetições, totalizando 60 parcelas. Os tratamentos resultaram da combinação de cinco doses de nitrogênio (N-ureia) aplicadas em cobertura, na ausência e presença de soro ácido de leite. As doses de N-ureia em cobertura foram 0, 45, 90, 135 e 180 kg ha<sup>-1</sup> de N. A dose de soro aplicada foi equivalente a 62.500 L ha<sup>-1</sup>, calculada para aplicar de 50 a 75 kg ha<sup>-1</sup> de N na forma de soro, admitindo concentração de N total no soro de 0,8 a 1,2 g L<sup>-1</sup>.

As parcelas foram constituídas por 8 linhas de plantas com 6 m de comprimento, espaçadas entre si por 0,8 m, totalizando 38,4 m<sup>2</sup>. A área útil de cada parcela foi constituída pelas 6 linhas centrais, desprezando 1 m em cada extremidade, totalizando 19,2 m<sup>2</sup>. Em cada bloco, os tratamentos foram arranjados em faixas porque havia a possibilidade de fazer a aplicação do soro mecanizada, mas ela não foi feita porque na véspera da aplicação, 18-01-2012, a precipitação pluvial foi de 100 mm (Figura 1). Na Figura 2 tem-se esquema de um bloco, com a casualização das doses de N-ureia (N) no sentido vertical das faixas e as doses de soro (SL) no sentido horizontal.

A área do experimento foi preparada com aração e gradagem. A aplicação de calcário (PRNT= 85%) foi feita com base na análise de solo, para elevar o índice de saturação por bases a 70% (RAIJ; CANTARELLA, 1996). Um dia após a aplicação de calcário foi feita aplicação de gesso devido aos teores baixo de Ca<sup>2+</sup> e alto de Al<sup>3+</sup> na camada de 20-40 cm (Tabela 1). O critério usado para cálculo da dose de gesso foi o teor de argila da camada de 20 a 40 cm (230 g kg<sup>-1</sup>) multiplicado por 6 (QUAGGIO; RAIJ, 1996). As doses aplicadas foram 3,8 t ha<sup>-1</sup> de calcário e 1,4 t ha<sup>-1</sup> de gesso. A distribuição do calcário e do gesso foi feita a lanço. O calcário foi

aplicado antes da aração e o gesso antes da gradagem, respectivamente nos dias 22 e 23-10-2011.

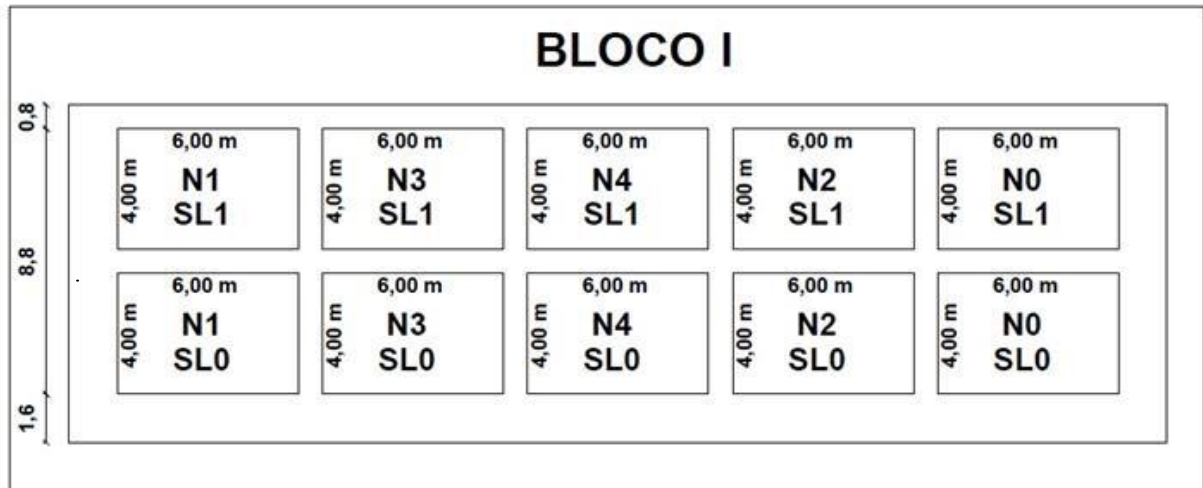


Figura 2. Esquema de um bloco, com a casualização das doses de N-ureia (N) nas faixas em sentido vertical, e das doses de soro de leite (SL), no sentido horizontal.

A semeadura foi feita no dia 27-12-2011, no espaçamento de 0,8 m entre as linhas e 0,2 m entre plantas (62.500 plantas por hectare). A adubação no sulco foi feita de acordo com a análise de solo, com meta de produtividade de 6 a 8 t ha<sup>-1</sup> de grãos, o que resultou na aplicação de 90 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (superfosfato simples) e 50 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (cloreto de potássio), segundo recomendação de Raij e Cantarella (1996). Aos 15 dias após a emergência das plantas foram aplicados 4 kg ha<sup>-1</sup> de Zn (RAIJ; CANTARELLA, 1996), na forma de sulfato de zinco. Foram aplicados 5 L de solução de sulfato de zinco por linha de plantas, a aproximadamente 20 cm das plantas, usando regadores.

As doses de N em cobertura, de acordo com o tratamento, foram parceladas em duas vezes, aos 15 e 30 dias após a emergência das plantas, nos estádios vegetativos V3 e V6, respectivamente. Em cada adubação foi aplicada metade da dose.

O soro de leite foi aplicado três dias após a primeira adubação nitrogenada, nos dias 19 e 20-01-2012. A distribuição foi feita manualmente, com regadores com capacidade para 10 L (Figura 3). Em cada linha foram aplicados, ao lado das plantas, 30 litros de soro, totalizando 240 litros por parcela.



Figura 3. Aplicação do soro ácido de leite com regadores.

O soro ácido de leite utilizado foi originado de processo de fabricação de queijo em que não é feita adição de sal. No dia da aplicação foi feita coleta de amostra do soro, que foi conservada em geladeira até a caracterização. O valor de pH e os teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  foram determinados na amostra *in natura* e as concentrações de carbono orgânico (CO), de Na e dos macronutrientes foram quantificadas em extratos de digestão ácida. As formas minerais de N foram determinadas por destilação direta, usando óxido de magnésio na determinação de  $\text{N-NH}_4^+$  e liga de Devarda na de  $\text{N-NO}_3^-$ , seguindo procedimento análogo ao que é usado para extratos de solo (CANTARELLA; TRIVELIN, 2001). A determinação do CO foi feita por volumetria, após oxidação do C com dicromato de potássio em meio ácido (BRASIL, 2007). Para determinação de N-total a amostra foi submetida à digestão sulfúrica (TEDESCO et al., 1995) e as concentrações de P, K, Ca, Mg, S e Na foram determinadas em extrato de digestão nítrico-perclórica (CARMO et al., 2000). Os resultados obtidos foram: valor de pH, 3,9;  $\text{N-NH}_4^+$ , 27,1  $\text{mg L}^{-1}$ ;  $\text{N-NO}_3^-$ , 2,2  $\text{mg L}^{-1}$ ; CO, 17,3  $\text{g L}^{-1}$ ; e N, P, K, Ca, Mg, S e Na (teores totais) iguais a, respectivamente, 0,8; 0,3; 1,0; 0,3; 0,05; 0,07 e 0,4  $\text{g L}^{-1}$ ; C/N, 22. Considerando a

concentração de N do soro ( $0,8 \text{ g kg}^{-1}$ ) e a dose utilizada ( $62.500 \text{ L ha}^{-1}$ ), foram aplicados  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N.

Trinta dias após a aplicação de soro foi feita amostragem de solo, dentro da área útil das parcelas. A coleta das amostras foi feita a cerca de 20 cm das linhas de plantas, onde foram aplicados o N-ureia e o soro de leite. As profundidades de coleta foram 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm. Foi usado trado tipo sonda, e a amostra foi resultante da coleta de 20 subamostras por parcela. Foram determinados os teores de:  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ , P-resina,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , H+Al e  $\text{Na}^+$  (RAIJ et al., 2001). Por cálculo foram obtidos os valores de N-mineral ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NO}_3^-$ ) e de V%.

A amostragem de folhas foi feita no dia 24-03-2012, coletando-se amostras do terço central da folha da base da espiga (CANTARELLA; RAIJ; CAMARGO, 1996) de 10 plantas da área útil, para avaliação do estado nutricional. As amostras foram lavadas, no mesmo dia da amostragem, com solução de detergente neutro  $1 \text{ mL L}^{-1}$ , e o enxágue foi feito com água deionizada. O excesso de água foi retirado com papel absorvente, as amostras foram colocadas em sacos de papel identificados e colocadas em estufa de circulação forçada de ar a  $\pm 65^\circ\text{C}$ , até peso constante. As folhas secas foram moídas e analisadas de acordo com os métodos descritos por Carmo et al. (2000), para determinação da concentração de N, P, K, Ca, Mg, S e Na.

Para obtenção da produção foram colhidas as espigas da área útil das parcelas, no dia 06-05-2012. As espigas foram despalhadas manualmente, debulhadas e, em seguida, os grãos foram pesados, homogeneizados e amostrados para a determinação da umidade, segundo o procedimento descrito em Brasil (2009), a qual foi usada para corrigir os dados de produtividade para 13% de teor de água nos grãos. Devido à desuniformidade do estande, provocada pelas falhas do plantio, a produtividade foi também corrigida utilizando a fórmula de Zuber (SCHIMILDT et al., 2001).

Os dados de análises de solo dentro de cada profundidade, as concentrações de nutrientes nas folhas e a produtividade foram submetidos à análise de variância (teste F) e de regressão polinomial segundo delineamento em blocos ao acaso com dez tratamentos (cinco doses de N-ureia combinadas ou não com soro ácido de leite) arranjados em faixas, com seis repetições (BARBOSA; MALDONADO Jr., 2013). As variáveis de solo avaliadas estatisticamente foram  $\text{N-NH}_4^+$ ,  $\text{N-NO}_3^-$ , N-

mineral, P-resina,  $K^+$  e  $Na^+$  trocáveis e V%. Os dados de  $N-NH_4^+$ ,  $N-NO_3^-$ , N-mineral, P-resina e V% foram transformados em  $\log(x+1)$  devido ao coeficiente de variação alto. No item Resultados e Discussão estão apresentados os dados originais.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a aplicação de soro o teor de  $\text{N-NH}_4^+$  na camada de 20 a 40 cm foi, em média,  $2,1 \text{ mg dm}^{-3}$  maior (Tabela 2). A variação pode ser considerada pequena, e embora tenha sido significativa, não foi muito diferente da que ocorreu nas outras camadas, mas nas demais camadas não houve efeito significativo para aplicação do resíduo. A aplicação de N-ureia, por sua vez, levou a aumento linear de  $\text{N-NH}_4^+$  nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, nos tratamentos com e sem aplicação de soro (Figuras 4 e 5).

Tabela 2.  $\text{N-NH}_4^+$  no solo em função de doses de soro ácido de leite e de N-ureia em cobertura, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação do soro e 15 dias após a segunda aplicação de N-ureia.

Soro de leite	Prof.	N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )					Médias <sup>1</sup>
		0	45	90	135	180	
L $\text{ha}^{-1}$	cm	$\text{N-NH}_4^+$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ )					
0	0-10	11,90	19,68	43,81	33,95	37,13	29,30a
62.500		11,42	35,85	28,23	46,66	40,15	32,46a
0	10-20	8,45	15,76	32,90	24,37	32,04	22,70a
62.500		9,04	24,78	26,02	30,09	32,15	24,42a
0	20-40	10,32	11,18	19,91	16,51	23,95	16,37b
62.500		9,98	20,52	20,30	18,54	23,06	18,48a
0	40-60	12,07	8,67	15,16	17,16	28,10	16,23a
62.500		9,49	19,87	18,47	20,64	21,17	17,80a
		Teste F					CV %
N		3,64*					20,14
Soro	0-10	2,80 <sup>NS</sup>					10,05
N x Soro		1,52 <sup>NS</sup>					14,02
N		6,31**					18,74
Soro	10-20	2,90 <sup>NS</sup>					11,52
N x Soro		0,48 <sup>NS</sup>					16,61
N		2,63 <sup>NS</sup>					16,94
Soro	20-40	11,42*					5,18
N x Soro		2,30 <sup>NS</sup>					8,66
N		3,08 <sup>NS</sup>					16,06
Soro	40-60	3,05 <sup>NS</sup>					7,35
N x Soro		3,16 <sup>NS</sup>					10,99

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada profundidade, não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup>, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. Na análise estatística os dados foram transformados em  $\log(x+1)$ .

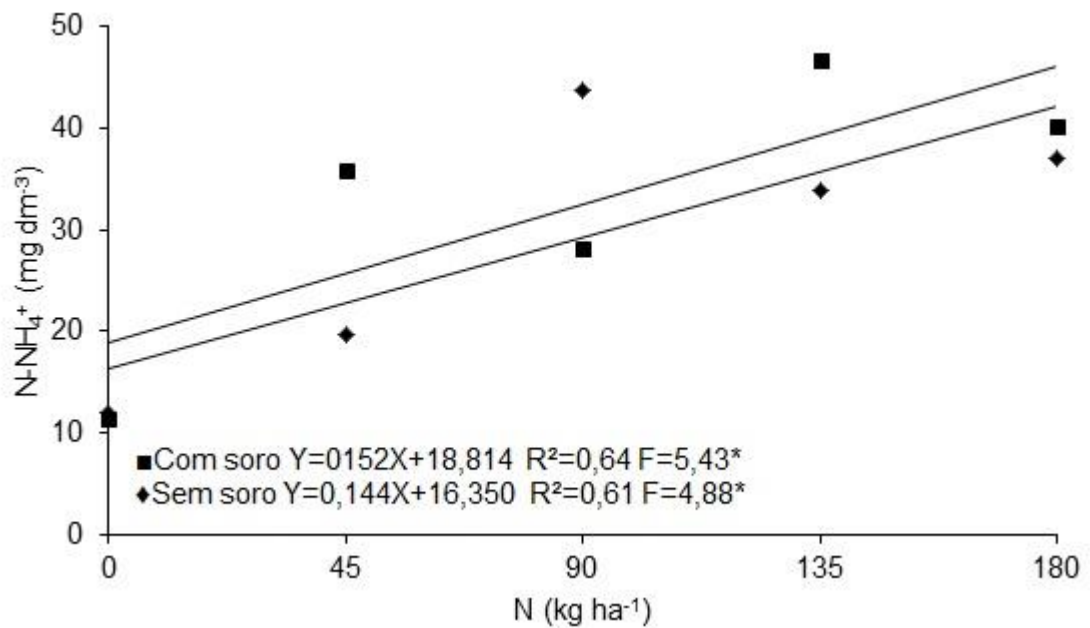


Figura 4. N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na profundidade de 0-10 cm em amostras de solo tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite. \*: significativo a 5% de probabilidade.

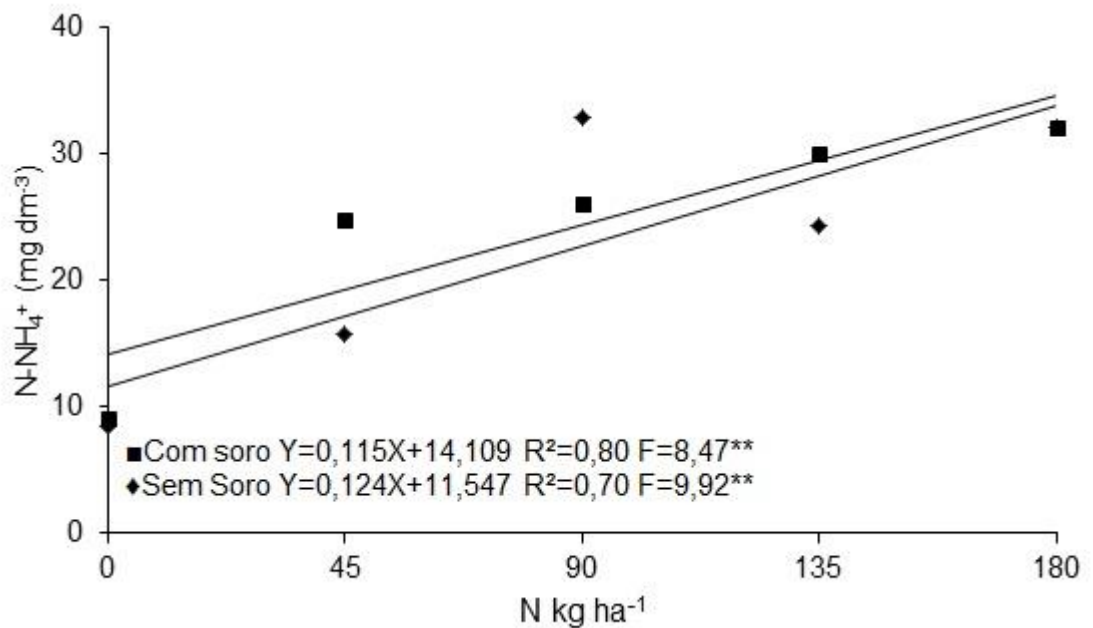


Figura 5. N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> na profundidade de 10-20 cm em amostras de solo tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite. \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

Para N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, não houve efeito do soro (Tabela 3), mas houve aumento com a aplicação de N-ureia nas camadas de 0-10 e 40-60 cm (Figuras 6 e 7). Na camada

de 0 a 10 cm o aumento foi linear nas parcelas sem aplicação de soro e, nas parcelas com soro, o aumento ocorreu até a dose de 108 kg ha<sup>-1</sup> de N.

Tabela 3. N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo em função de doses de soro ácido de leite e de N-ureia em cobertura, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação do soro e 15 dias após a segunda aplicação de N-ureia.

Soro de leite	Prof.	N (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias <sup>1</sup>
		0	45	90	135	180	
L ha <sup>-1</sup>	cm	<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (mg dm<sup>-3</sup>)</b>					
0	0-10	7,52	15,63	24,59	19,03	22,64	17,88a
62.500		8,08	22,34	24,30	24,79	18,95	19,69a
0	10-20	13,54	15,31	25,08	14,41	14,93	16,66a
62.500		7,63	11,70	17,78	12,84	19,89	13,97a
0	20-40	7,94	8,58	10,59	13,23	14,93	11,06a
62.500		8,76	13,22	9,67	12,84	19,87	12,88a
0	40-60	10,29	20,66	20,97	20,63	23,88	19,29a
62.500		16,57	16,53	14,35	19,19	18,68	17,06a
		Teste F					CV %
N		4,93*					18,91
Soro	0-10	0,64 <sup>NS</sup>					25,15
N x Soro		0,75 <sup>NS</sup>					18,29
N		1,72 <sup>NS</sup>					21,86
Soro	10-20	0,19 <sup>NS</sup>					17,70
N x Soro		0,20 <sup>NS</sup>					21,22
N		1,60 <sup>NS</sup>					20,30
Soro	20-40	0,94 <sup>NS</sup>					14,49
N x Soro		0,48 <sup>NS</sup>					15,72
N		4,40*					11,12
Soro	40-60	0,04 <sup>NS</sup>					11,78
N x Soro		1,74 <sup>NS</sup>					16,19

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada profundidade, não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup>, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. Na análise estatística os dados foram transformados em log (x+1).

A distribuição do íon NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas camadas de solo não permite identificar mobilidade vertical, mas ela deve ter ocorrido porque as duas aplicações de N-ureia e a aplicação de soro foram feitas em janeiro, período em que a precipitação pluvial ultrapassou 400 mm (Figura 1) e, dois dias após a primeira adubação em cobertura, a quantidade de chuva na área experimental foi de 100 mm. Considerando a textura do solo e admitindo a mobilidade da própria ureia no perfil, é possível que, na data de amostragem, as formas de N avaliadas, que estavam inicialmente na camada superficial, já tivessem ultrapassado 60 cm. Singh, Yadav e Kumar (1984) observaram, em experimento em colunas, que pode ocorrer mobilidade de N no solo na forma de ureia. Segundo os autores, a ureia lixiviou com a água de irrigação, e as maiores concentrações foram observadas, em solo franco-arenoso, na frente de

umedecimento, enquanto que em solo arenoso a lixiviação foi mais rápida, devido à maior infiltração da água de irrigação.

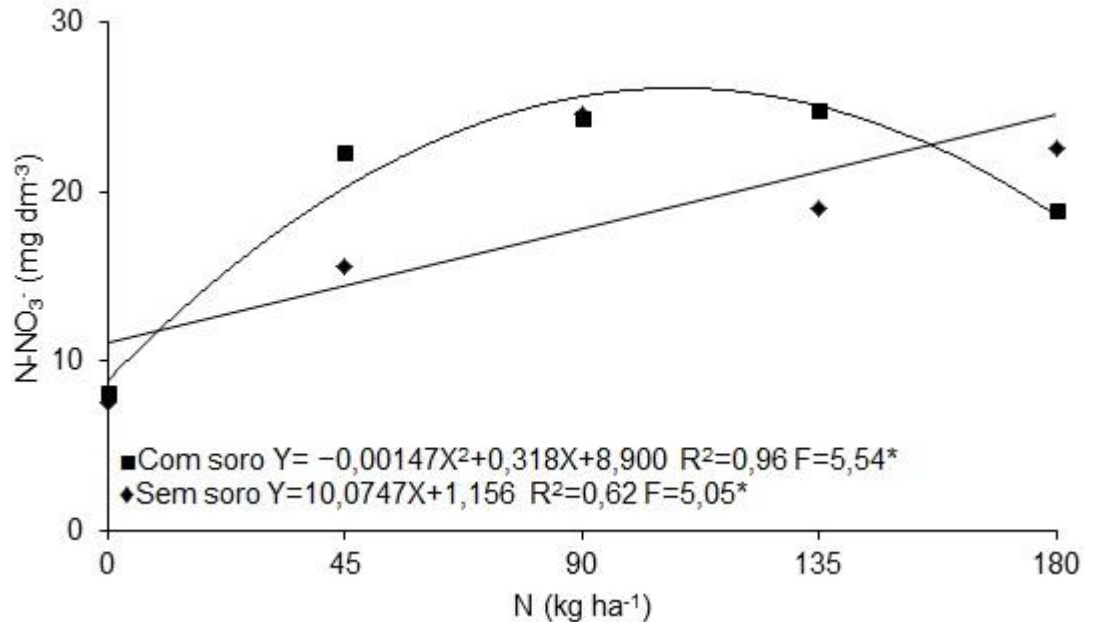


Figura 6.  $N-NO_3^-$  na profundidade de 0-10 cm em amostras de solo tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite \*: significativo a 5 % de probabilidade.

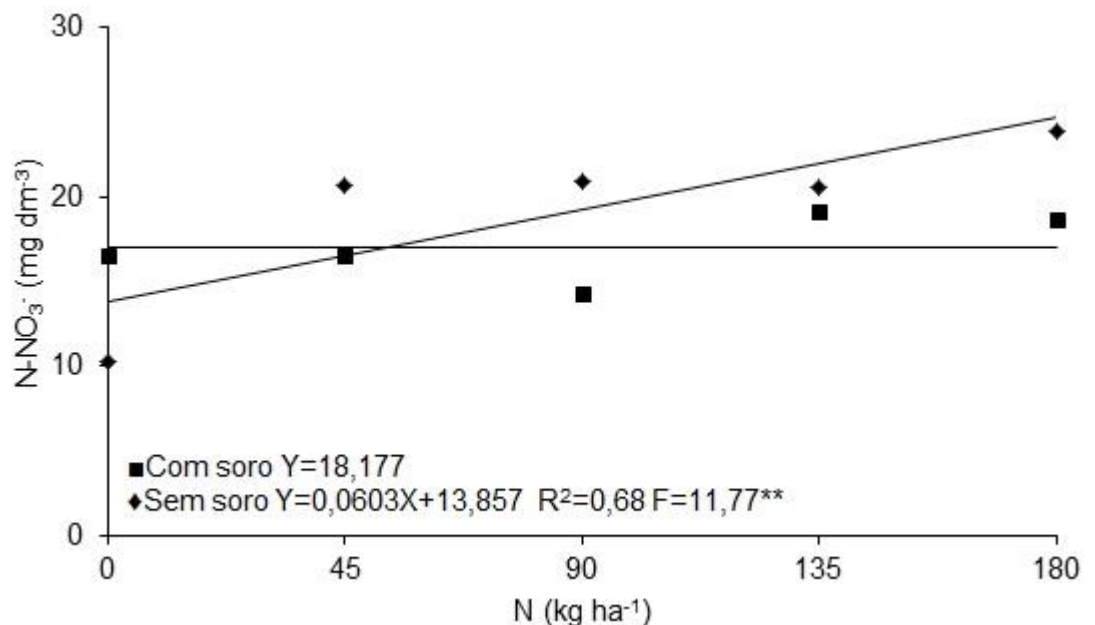


Figura 7.  $N-NO_3^-$  na profundidade de 40-60 cm em amostras de solo tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite. \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

Nas parcelas com aplicação de soro, as perdas de N por lixiviação podem ter sido limitadas pela imobilização, que foi evidenciada pelos sintomas de deficiência de N (clorose das folhas e diminuição de crescimento da planta) nas parcelas com soro e sem adubação nitrogenada. Kuhnen (2010), por meio de experimento em laboratório com as doses 0, 101, 203, 304 e 405 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de soro ácido de leite contendo 0,79 g L<sup>-1</sup> de N, observou que os teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em Latossolo Vermelho eram menores que 10 mg kg<sup>-1</sup> no início da incubação, o pico de liberação ocorreu aos 28 dias de incubação e, aos 56 dias de incubação, a maior parte do nitrogênio mineralizável em 126 dias (cerca de 50%), já havia nitrificado.

Aos 30 dias após a aplicação, não foi observado efeito do soro no N-mineral do solo (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) nos primeiros 60 cm de profundidade (Tabela 4). O efeito do N-ureia aconteceu somente na camada de 0-10 cm, na qual o aumento foi linear na presença e ausência de soro de leite (Figura 8). Convertendo os teores de N-mineral do tratamento testemunha (Tabela 4), com base no volume de solo de cada camada amostrada, tem-se 122 kg ha<sup>-1</sup> de N nos 60 cm avaliados. Com base nas médias das doses de N, no tratamento sem soro, as quantidades calculadas são: 48, 40, 57 e 64 kg ha<sup>-1</sup> nas camadas 0-10, 10-20, 20-40 e 40-60 cm, respectivamente; nos tratamentos com soro tem-se 51, 37, 62 e 67 kg, obedecendo a mesma ordem de profundidade, o que totaliza, nos tratamentos sem e com soro, 209 e 217 kg ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente, nos 60 cm. No valor obtido na análise existe o aumento provocado pela secagem e manuseio da amostra, mas mesmo assim, pode-se admitir que a quantidade de N que estava disponível para as plantas não era pequena e em sua maior parte era proveniente das transformações do N-ureia, inclusive porque ainda havia predomínio de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>. As quantidades aplicadas na primeira adubação em cobertura devem ter sido, em grande parte, perdidas, porque dois dias depois da adubação ocorreu uma chuva de 100 mm.

Tabela 4. N-mineral no solo em função de doses de soro ácido de leite e de N-ureia em cobertura, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação do soro e 15 dias após a segunda aplicação de N-ureia.

Soro de leite	Prof.	N (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias <sup>1</sup>
		0	45	90	135	180	
L ha <sup>-1</sup>	cm	<b>N-mineral (mg dm<sup>-3</sup>)</b>					
0	0-10	18,37	39,40	69,84	52,61	59,54	47,95a
62.500	0-10	19,50	56,30	49,77	69,62	58,61	50,76a
0	10-20	22,04	31,11	57,98	38,40	51,29	40,17a
62.500	10-20	16,67	36,48	43,80	43,13	46,51	37,32a
0	20-40	20,42	24,74	28,73	29,74	38,88	28,50a
62.500	20-40	18,75	33,75	29,98	31,28	41,88	31,13a
0	40-60	20,34	29,34	36,26	37,13	37,24	32,07a
62.500	40-60	26,06	35,40	32,81	37,28	35,84	33,48a
		Teste F					CV %
N		4,12*					17,49
Soro	0-10	3,80 <sup>NS</sup>					5,28
N x Soro		0,62 <sup>NS</sup>					12,99
N	10-20	3,07 <sup>NS</sup>					16,39
Soro	10-20	0,04 <sup>NS</sup>					12,54
N x Soro		0,37 <sup>NS</sup>					15,26
N	20-40	1,94 <sup>NS</sup>					13,54
Soro	20-40	8,44 <sup>NS</sup>					3,34
N x Soro		0,54 <sup>NS</sup>					7,14
N	40-60	1,32 <sup>NS</sup>					12,32
Soro	40-60	0,93 <sup>NS</sup>					9,21
N x Soro		0,72 <sup>NS</sup>					7,24

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada profundidade, não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup>, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. Na análise estatística os dados foram transformados em log (x+1).

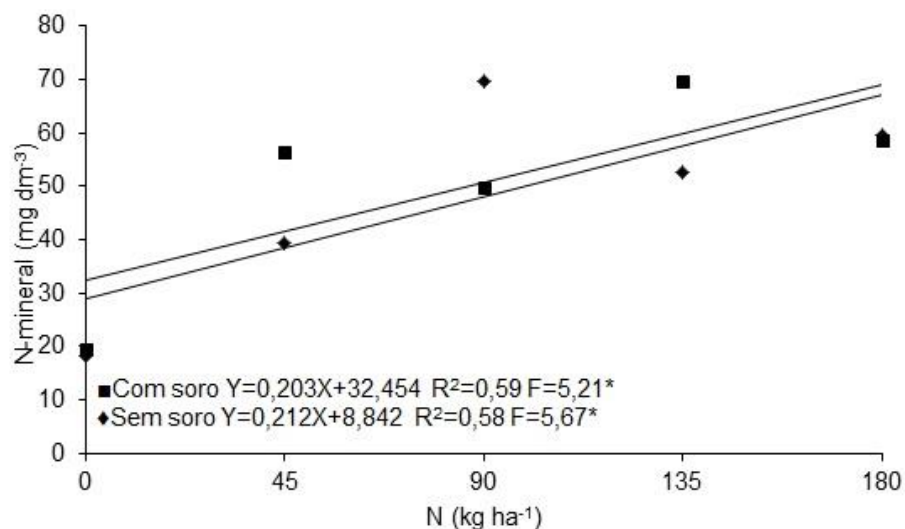


Figura 8. N-mineral na profundidade de 0-10 cm em amostras de solo tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite. \*: significativo a 5% de probabilidade.

Aumentos de P-resina com a aplicação de soro aconteceram em todas as camadas de solo e foram de 3,9; 3,4; 2,5 e 1,4 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, em 0-10, 10-20, 20-40, 40-60 cm. Na camada de 0-10 cm, com aplicação de soro de leite, o aumento foi de 1,6 vezes (Tabela 5). Com o soro foram aplicados 18,75 kg ha<sup>-1</sup> de P. De acordo com Robbins e Lehrs (1998), mais da metade do P total do soro está na forma mineral, e de 21 a 42% é orgânico. Parte do P orgânico do resíduo, ao ser aplicado ao solo, passa por mineralização e, uma vez transformado, pode ser retido aos colóides e dá origem às formas lábeis e não-lábeis. Embora o aumento observado tenha sido pequeno, como o solo é muito pobre, pode ter beneficiado a planta porque plantas de ciclo curto, com intenso desenvolvimento como o milho, requerem maior teor de P em solução e reposição mais rápida que culturas perenes (EMBRAPA, 2006). O interessante é o aumento em profundidade, que deve ter sido causado pela mobilidade do próprio soro, antes que as formas orgânicas fossem transformadas em P inorgânico e adsorvidas. A mobilidade, no caso, pode ser admitida, porque no dia da aplicação do soro o solo estava saturado e, nos dias seguintes ainda houve quantidade de chuva significativa. A textura média do solo, com 180 g kg<sup>-1</sup> de argila na camada de 0-20 cm e 230 g kg<sup>-1</sup> na camada de 20-40 cm, é outro fator favorável à mobilidade vertical do resíduo.

Os teores de K<sup>+</sup> no solo aumentaram com a aplicação do soro ácido de leite, em todas as profundidades, o que indica que houve mobilidade vertical do K aplicado com o soro (Tabela 6). O aumento foi devido à presença de K no soro que, na dose utilizada, resultou na aplicação de 62,5 kg ha<sup>-1</sup> de K. Como a amostragem de solo foi feita ao lado das plantas, os resultados não têm relação com a adubação potássica de semeadura, que foi feita na linha de plantio. O K que está no soro é rapidamente liberado para o solo (ROBBINS; LEHRSCHE, 1998) e, uma vez liberado, pode ser adsorvido na forma trocável, ou permanecer em solução, de onde pode lixiviar. Na condição avaliada havia dois fatores que podem ter favorecido a mobilidade vertical de K – a CTC baixa do solo e a abundância de ânions nitrato (Tabela 3). Paula et al. (1999) observaram acréscimo de K<sup>+</sup> nas camadas de 0-20 e 20-40 cm após aplicação de doses de vinhaça de 100.000, 200.000 e 400.000 L ha<sup>-1</sup>, e Bébé et al. (2009), utilizando dose média de vinhaça de 300.000 L ha<sup>-1</sup> por ano em três áreas, concluíram que os teores de K<sup>+</sup> trocável no solo correlacionaram

negativamente com a profundidade (redução da concentração com a profundidade) e que o maior aumento foi obtido na camada superficial.

Não houve efeito das doses de N-ureia nos teores de K do solo em nenhuma das profundidades (Tabela 6).

Tabela 5. P-resina no solo em função de doses de soro ácido de leite e de N-ureia em cobertura, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação do soro e 15 dias após a segunda aplicação de N-ureia.

Soro de leite	Prof.	N (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias <sup>1</sup>
		0	45	90	135	180	
L ha <sup>-1</sup>	cm	<b>P-resina (mg dm<sup>-3</sup>)</b>					
0	0-10	5,50	5,75	6,50	6,00	7,25	6,20b
62.500		9,00	9,25	10,25	11,00	11,00	10,10a
0	10-20	3,75	4,00	4,25	4,25	4,25	4,10b
62.500		7,25	6,25	7,00	10,00	7,00	7,50a
0	20-40	3,00	3,00	2,75	3,00	3,25	3,00b
62.500		5,00	4,50	6,50	6,00	5,50	5,50a
0	40-60	2,25	2,25	2,75	2,25	3,00	2,38b
62.500		2,75	4,25	3,75	4,50	4,25	3,81a
		Teste F					CV %
N		0,33 <sup>NS</sup>					12,69
Soro	0-10	11,64*					19,66
N x Soro		0,14 <sup>NS</sup>					13,26
N		2,17 <sup>NS</sup>					8,13
Soro	10-20	17,30*					19,46
N x Soro		0,83 <sup>NS</sup>					9,73
N		0,93 <sup>NS</sup>					9,39
Soro	20-40	14,67*					23,07
N x Soro		1,72 <sup>NS</sup>					9,65
N		2,33 <sup>NS</sup>					12,06
Soro	40-60	13,02*					18,99
N x Soro		0,85 <sup>NS</sup>					17,26

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada profundidade, não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup>, \*\* e \*: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente. Na análise estatística os dados foram transformados em log (x+1).

Tabela 6. Potássio trocável no solo em função de doses de soro ácido de leite e de N-ureia em cobertura, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação do soro e 15 dias após a segunda aplicação de N-ureia.

Soro de leite	Prof.	N (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias <sup>1</sup>	
		0	45	90	135	180		
L ha <sup>-1</sup>	cm	<b>K<sup>+</sup> (mmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>)</b>						
0	0-10	0,50	0,47	0,52	0,55	0,52	0,51b	
62.500		1,05	1,17	1,15	1,07	1,20	1,13a	
0	10-20	0,50	0,47	0,52	0,50	0,50	0,50b	
62.500		0,90	0,92	0,92	1,02	0,97	0,95a	
0	20-40	0,47	0,52	0,47	0,47	0,50	0,49b	
62.500		0,77	0,82	0,82	0,77	0,87	0,81a	
0	40-60	0,37	0,42	0,47	0,42	0,42	0,42b	
62.500		0,65	0,75	0,67	0,65	0,77	0,70a	
						Teste F	CV %	
N							0,86 <sup>NS</sup>	11,97
Soro	0-10						346,47 <sup>**</sup>	12,70
N x Soro							1,31 <sup>NS</sup>	13,33
N							0,97 <sup>NS</sup>	10,49
Soro	10-20						209,48 <sup>**</sup>	13,56
N x Soro							0,92 <sup>NS</sup>	10,79
N							0,78 <sup>NS</sup>	13,99
Soro	20-40						70,81 <sup>**</sup>	18,71
N x Soro							0,68 <sup>NS</sup>	9,28
N							1,23 <sup>NS</sup>	16,51
Soro	40-60						27,42 <sup>*</sup>	29,52
N x Soro							1,04 <sup>NS</sup>	15,69

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada profundidade, não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente.

Os mesmos efeitos do soro em relação aos teores de K<sup>+</sup> foram observados nos teores de Na<sup>+</sup> (Tabela 7), mas os aumentos foram menores. Apesar de terem aumentado de 2,3 a 3,7 vezes devido à aplicação do soro, dependendo da profundidade, os teores foram baixos e a saturação de Na na CTC foi, em média, de 0,3% nos tratamentos sem soro, e 1,0% nos tratamentos com soro. Brito e Rolim (2005) obtiveram aumento nos teores de Na<sup>+</sup> a partir da camada de 10-20 cm de profundidade com a aplicação de 500.000 e 1.000.000L ha<sup>-1</sup> de vinhaça com 293 mg L<sup>-1</sup> de Na. Os autores também detectaram aumento da concentração de Na<sup>+</sup> em todas as profundidades estudadas, exceção feita à camada de 65-100 cm.

Comparado com outros cátions, o Na<sup>+</sup> apresenta baixa afinidade com o complexo de troca do solo, permanecendo principalmente na solução do solo e, por isso, pode ser facilmente lixiviado (LEAL et al., 2009), o que ocorreu, uma vez que houve aumento em todas as profundidades.

Tabela 7. Sódio trocável no solo em função de doses de soro ácido de leite e de N-ureia em cobertura, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação do soro e 15 dias após a segunda aplicação de N-ureia.

Soro de leite	Prof.	N (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias <sup>1</sup>	
		0	45	90	135	180		
L ha <sup>-1</sup>	cm	<b>Na<sup>+</sup> (mmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>)</b>						
0	0-10	0,15	0,12	0,15	0,17	0,20	0,16b	
62.500		0,52	0,50	0,50	0,45	0,55	0,50a	
0	10-20	0,10	0,12	0,12	0,15	0,10	0,12b	
62.500		0,45	0,45	0,45	0,45	0,40	0,44a	
0	20-40	0,12	0,15	0,20	0,17	0,15	0,16b	
62.500		0,30	0,40	0,37	0,37	0,40	0,37a	
0	40-60	0,12	0,10	0,15	0,12	0,12	0,12b	
62.500		0,30	0,37	0,32	0,35	0,35	0,34a	
						Teste F	CV %	
N							1,00 <sup>NS</sup>	22,04
Soro	0-10						190,44 <sup>**</sup>	23,77
N x Soro							0,77 <sup>NS</sup>	19,89
N							0,71 <sup>NS</sup>	22,07
Soro	10-20						256,00 <sup>**</sup>	22,58
N x Soro							0,51 <sup>NS</sup>	14,76
N							2,06 <sup>NS</sup>	22,19
Soro	20-40						49,00 <sup>**</sup>	35,79
N x Soro							1,13 <sup>NS</sup>	19,02
N							0,23 <sup>NS</sup>	28,31
Soro	40-60						129,00 <sup>**</sup>	25,75
N x Soro							1,11 <sup>NS</sup>	24,20

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada profundidade, não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup>, <sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup>: não significativo e significativo a 1 e a 5% de probabilidade, respectivamente.

A quantidade de Na aplicada com o uso do soro foi de 25 kg ha<sup>-1</sup>, pequena se comparada aos 272 kg ha<sup>-1</sup> de Na aplicados por Guidi (2012) com o uso de lodo de indústria de gelatina e, do mesmo modo como não foi relatado efeito adverso do lodo biológico na cana-de-açúcar, não houve prejuízo para o milho devido ao Na contido no soro.

Os valores de V% do solo aumentaram muito (Tabela 8) em relação aos iniciais (Tabela 1), devido à aplicação do calcário e do gesso. Em função dos resultados obtidos até 60 cm de profundidade, fica claro que houve intensa lixiviação das bases – o V% na camada de 20 a 40 cm era 4% e aumentou para 34%. Embora o soro apresentasse Ca na composição em quantidade semelhante à de P, não houve efeito do soro no valor de V%. Houve apenas interação N x soro, na camada de 20 a 40 cm, mas não houve ajuste dos modelos linear e quadrático aos dados obtidos.

Tabela 8. V% no solo em função de doses de soro ácido de leite e de N-ureia em cobertura, em amostras coletadas 30 dias após a aplicação do soro e 15 dias após a segunda aplicação de N-ureia.

Soro de leite	Prof.	N (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias <sup>1</sup>
		0	45	90	135	180	
L ha <sup>-1</sup>	cm	V (%)					
0	0-10	54,50	62,25	70,50	57,25	61,50	61,20a
62.500		58,25	59,00	57,50	60,50	61,50	59,35a
0	10-20	31,75	44,00	37,50	42,50	42,50	39,65a
62.500		39,25	35,25	37,50	44,00	40,00	39,20a
0	20-40	29,75	39,25	33,00	30,50	37,25	34,15a
62.500		35,25	29,50	37,00	36,00	33,00	33,95a
0	40-60	27,00	28,25	27,50	28,25	40,00	30,20a
62.500		26,25	36,50	36,75	33,25	32,50	33,05a
		Teste F					CV %
N		0,97 <sup>NS</sup>					3,58
Soro	0-10	0,04 <sup>NS</sup>					9,24
N x Soro		1,78 <sup>NS</sup>					2,85
N		1,45 <sup>NS</sup>					4,12
Soro	10-20	0,01 <sup>NS</sup>					16,01
N x Soro		1,23 <sup>NS</sup>					5,09
N		0,23 <sup>NS</sup>					5,70
Soro	20-40	0,00 <sup>NS</sup>					17,06
N x Soro		8,12 <sup>**</sup>					2,40
N		2,40 <sup>NS</sup>					5,43
Soro	40-60	0,50 <sup>NS</sup>					10,84
N x Soro		2,65 <sup>NS</sup>					5,46

<sup>1</sup> Médias seguidas de mesma letra, na coluna, dentro de cada profundidade, não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup>, <sup>\*\*</sup> : não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. Na análise estatística os dados foram transformados em log (x+1).

A concentração de N nas folhas aumentou com as doses de N, na ausência e presença de soro (Tabela 9), segundo modelo quadrático no primeiro caso e de forma linear no segundo (Figura 9). Na presença de soro, as concentrações foram sempre maiores (3 g kg<sup>-1</sup>, em média) e o efeito da aplicação de 62.500 L ha<sup>-1</sup> de soro foi equivalente à aplicação de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N-ureia (Tabela 9).

A concentração de P nas folhas de milho aumentou 0,32 g kg<sup>-1</sup> na presença de soro de leite, variando de 1,49 a 1,81 g kg<sup>-1</sup> (Tabela 9). Assim, o aumento pequeno observado no solo (Tabela 5) refletiu na nutrição da planta e isso pode ter efeitos na produção. As limitações na disponibilidade de P no início do ciclo vegetativo podem resultar em restrições no desenvolvimento, das quais a planta não se recupera posteriormente, mesmo aumentando o suprimento de P a níveis adequados (GRANT et al., 2001).

Tabela 9. Nutrientes e Na nas folhas de milho em função de doses de N-ureia em cobertura na presença e ausência de soro ácido de leite.

Soro de leite	Nutri. e Na	N (kg ha <sup>-1</sup> )					Médias <sup>1</sup>
		0	45	90	135	180	
L ha <sup>-1</sup>		(g kg <sup>-1</sup> )					
0	N	16,83	18,96	20,25	21,94	22,63	20,12b
62.500		21,99	23,29	23,46	22,58	23,98	23,06a
0	P	1,55	1,43	1,46	1,51	1,48	1,49b
62.500		1,81	1,83	1,82	1,82	1,77	1,81a
0	K	6,08	5,08	4,91	5,25	5,00	5,26b
62.500		12,33	11,83	11,50	11,41	11,33	11,68a
0	Ca	7,93	8,88	9,65	8,73	8,58	8,75a
62.500		5,23	5,96	6,42	6,32	6,68	6,12b
0	Mg	3,53	4,63	5,52	5,08	4,93	4,74a
62.500		1,62	2,13	2,52	2,60	3,03	2,38b
0	S	2,07	2,25	2,26	1,79	1,81	2,04a
62.500		1,43	1,45	1,45	1,48	1,55	1,48b
0	Na	0,74	0,65	0,63	0,68	0,65	0,67b
62.500		1,12	1,11	1,09	1,07	1,08	1,09a
		Teste F					CV %
N		49,69**					3,30
Soro	N	276,07**					3,18
N x Soro		41,20**					2,40
N		0,74 <sup>NS</sup>					5,62
Soro	P	35,47**					12,66
N x Soro		0,42 <sup>NS</sup>					8,88
N		4,77**					7,96
Soro	K	4006,08**					4,63
N x Soro		0,26 <sup>NS</sup>					7,80
N		11,12**					7,42
Soro	Ca	67,36**					16,70
N x Soro		0,49 <sup>NS</sup>					16,86
N		44,42**					8,85
Soro	Mg	133,12**					22,25
N x Soro		0,89 <sup>NS</sup>					23,75
N		2,59 <sup>NS</sup>					12,22
Soro	S	104,90**					12,05
N x Soro		3,74**					13,93
N		3,36*					6,15
Soro	Na	2.140,63**					4,03
N x Soro		0,93 <sup>NS</sup>					7,38

1 Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
<sup>NS</sup> e \*\*: não significativo e significativo a 1% de probabilidade.

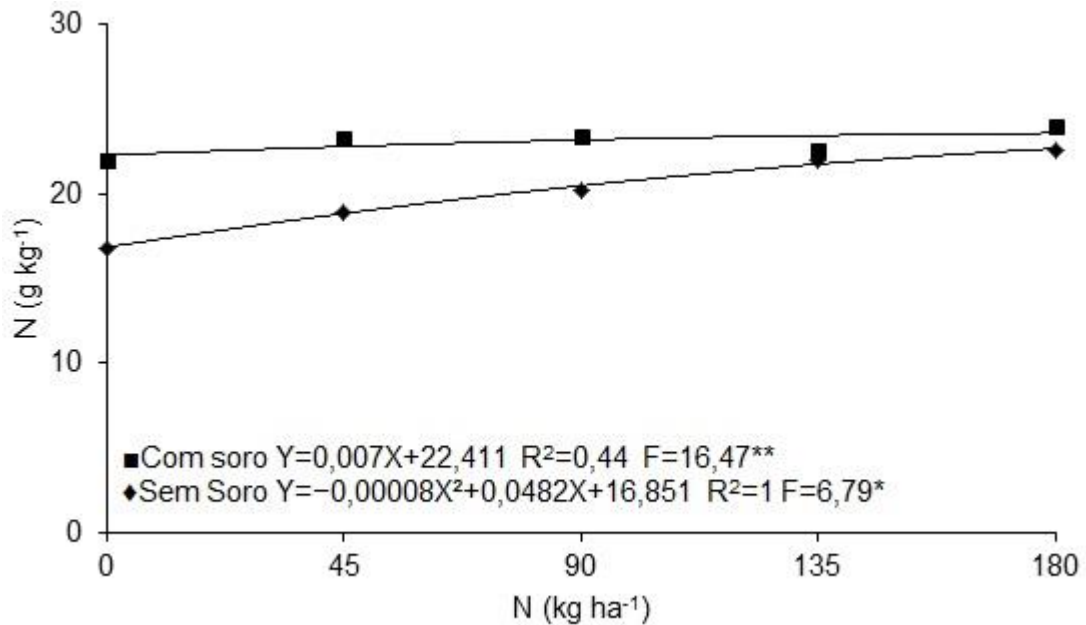


Figura 9. Nitrogênio em amostras de folhas de milho tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite. \*\* e \*: significativo a 1 e 5% de probabilidade.

A concentração de K diminuiu linearmente,  $0,9 \text{ g kg}^{-1}$  nos tratamentos com soro e  $0,7 \text{ g kg}^{-1}$  nos tratamentos sem soro (Figura 10), provavelmente por efeito de diluição (Figura 10). Nos tratamentos com soro, a concentração de K nas folhas foi aproximadamente  $6 \text{ g kg}^{-1}$  maior do que nos tratamentos sem soro (Figura 10). Nos tratamentos sem soro, o K estava muito baixo, o que sugere a possibilidade de limitação de produção por deficiência de K (Tabela 9). A adubação com K foi feita na semeadura, com  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , mas as condições para perda foram muito favoráveis: solo com teor de argila baixo, calagem e gessagem recentes e precipitação pluvial intensa na fase inicial do ciclo da cultura. No entanto, é preciso considerar também que a coleta de amostras de folhas foi tardia, cerca de 80 dias após a emergência e, parte dos nutrientes das folhas já havia sido translocada para os grãos.

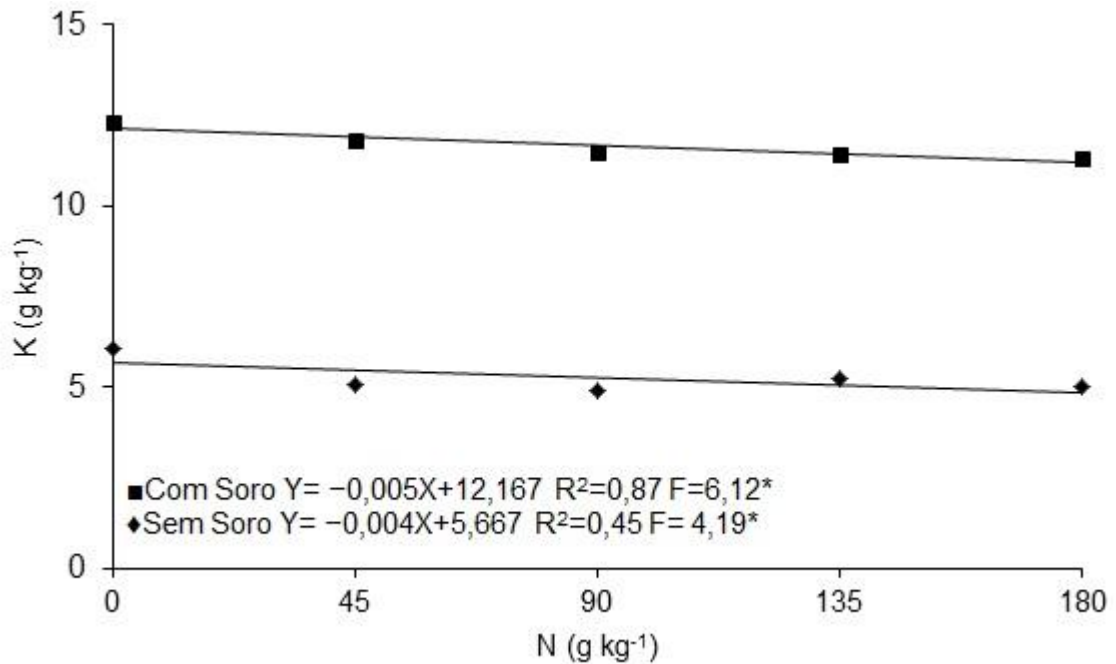


Figura 10. Potássio em amostras de folhas de milho tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite. \*: significativo a 5% de probabilidade.

O efeito da aplicação do soro nas concentrações de Ca, Mg e S foi inverso ao obtido para N, P e K, ou seja, nas plantas adubadas com soro as concentrações foram menores (Tabela 9). Em relação à aplicação de N-ureia, houve aumento linear na concentração de Ca nas folhas de milho, de 1,26 g kg<sup>-1</sup>, nos tratamentos com soro. Sem aplicação de soro o efeito foi quadrático, e o aumento entre o tratamento testemunha e a dose 98,5 kg ha<sup>-1</sup> de N (ponto de máximo da curva), foi de 1,3 g kg<sup>-1</sup> (Figura 11). No caso do Mg o aumento foi linear nos tratamentos com soro de leite, de 1,26 g kg<sup>-1</sup> e, sem aplicação de soro, o efeito foi quadrático com aumento de 1,82 g kg<sup>-1</sup> no intervalo de 0 a 126 kg ha<sup>-1</sup> de N, dose em que foi obtida a máxima concentração (Figura 12). As regressões (modelos linear e quadrático) entre doses de N e concentrações de S nas folhas não foram significativas.

A concentração de Na nas folhas de milho diminuiu com a adubação nitrogenada, na presença e ausência de soro, e a aplicação do soro resultou em concentrações 0,42 g kg<sup>-1</sup> maiores na matéria seca (Tabela 9).

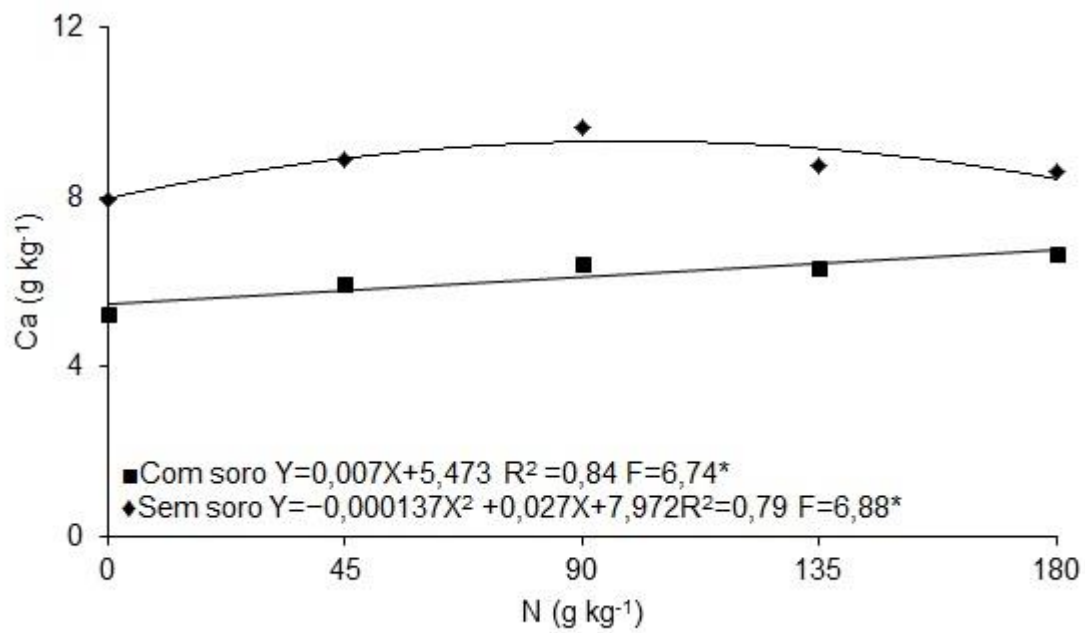


Figura 11. Cálcio em amostras de folhas de milho tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite. \*: significativo a 5% de probabilidade.

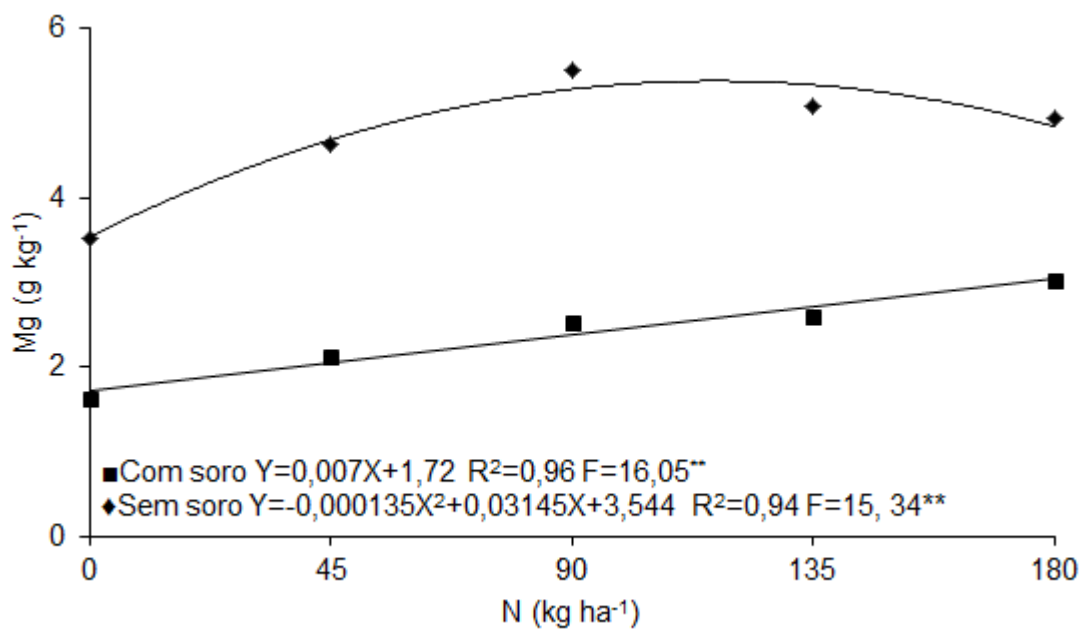


Figura 12. Magnésio em amostras de folhas de milho tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite. \*\*: significativo a 1% de probabilidade.

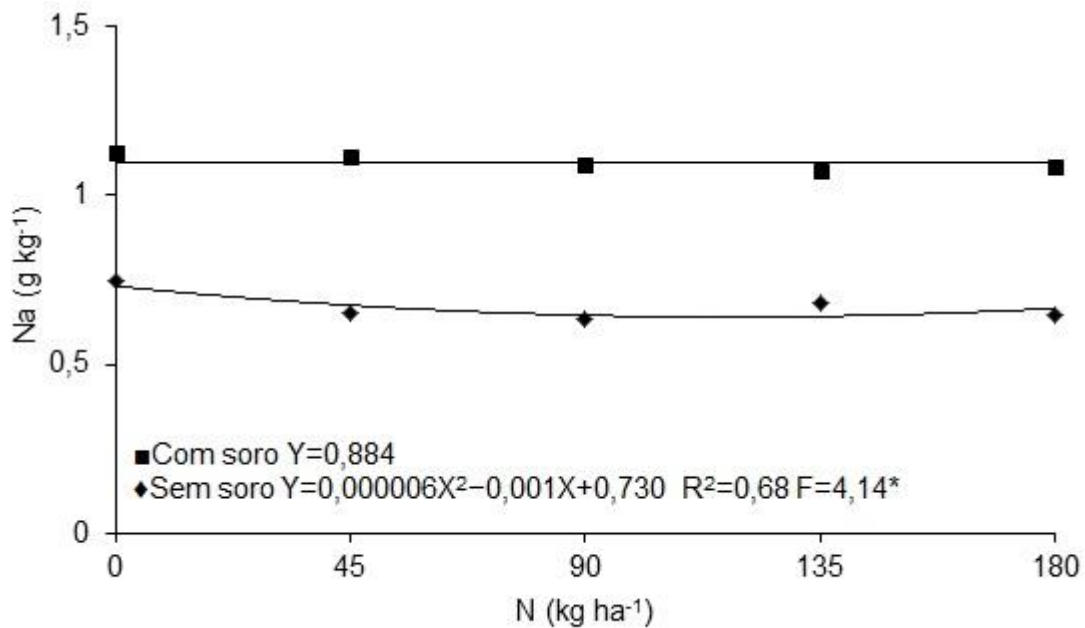


Figura 13. Sódio em amostras de folhas de milho tratadas com doses de N-ureia, na presença e ausência de soro de leite. \*: significativo a 5% de probabilidade.

Houve aumento de 938 kg ha<sup>-1</sup> de grãos de milho devido à aplicação do soro, mas não houve resposta à adubação nitrogenada e não houve interação N-ureia x soro (Tabela 10). A resposta ao soro ocorreu apesar da deficiência de N que foi observada cerca de uma semana após a aplicação do soro, nos tratamentos sem aplicação de N. A deficiência não era esperada em função da relação C/N 22, mas como a concentração de lactose no soro é alta, a oferta abundante de fonte de carbono de decomposição rápida deve ter causado aumento acentuado da atividade microbiana em intervalo de tempo curto e uso do N-mineral do solo pelos microrganismos.

A resposta ao soro, mas não ao N está, provavelmente, associada à condição de fertilidade muito baixa existente originalmente na área. Ainda, devido à precipitação pluvial intensa, a maior parte do N-ureia aplicado na primeira adubação em cobertura pode ter sido perdida por lixiviação. Como o soro atuou como fornecedor de todos os nutrientes, particularmente K, as condições nas parcelas com aplicação do soro foram mais favoráveis para o crescimento e produção do milho. Apesar disso, a produtividade do milho foi baixa, o que se deve não só aos baixos teores de nutrientes no solo, mas também a ocorrência de veranicos de 16

dias, a partir de 25 dias após a emergência das plantas, e de 12 dias, no embonecamento. A máxima exigência de água pelo milho ocorre na fase do embonecamento ou um pouco depois dele, por isso, déficits de água nesse período são os que provocam maiores diminuições de produtividade. Déficit anterior ao embonecamento reduz a produtividade em 20 a 30%; no embonecamento em 40 a 50% e, após o embonecamento, em 10 a 20% (FANCELLI; DOURADO NETO, 2000). De acordo com BERGAMASCHI et al. (2006), o déficit hídrico tem grande impacto no rendimento de grãos de milho, de modo que quando a cultura foi irrigada próximo à capacidade de retenção de água do solo, a produtividade foi de 7,5 t ha<sup>-1</sup>, e com 60% da irrigação máxima, a produtividade diminuiu para 4,9 t ha<sup>-1</sup>.

Tabela 10. Produção de milho em função de doses de N-ureia e soro ácido de leite aplicados em cobertura.

<b>N</b>	<b>Soro (62.500 L ha<sup>-1</sup>)</b>	<b>Sem Soro</b>
kg ha <sup>-1</sup>	----- kg ha <sup>-1</sup> -----	-----
0	3.916	3.045
45	4.206	2.905
90	4.128	3.205
135	4.109	3.610
180	4.312	3.213
<b>Médias<sup>1</sup></b>	<b>4.134a</b>	<b>3.196b</b>
	<b>Teste F</b>	<b>CV%</b>
N	1,23 <sup>NS</sup>	13,04
Soro	13,11*	27,37
N x Soro	0,67 <sup>NS</sup>	17,21

1 Médias seguidas de letras diferentes indicam diferença entre as doses de soro ácido de leite, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>NS</sup> e \*: não significativo e significativo a 5% de probabilidade.

Aumento da produção de milho com aplicação de resíduos líquidos com N e K na composição já foram relatados por outros autores e, especificamente com soro, MODLER (1987) relatou produção de milho semelhante à obtida, 3,2 t ha<sup>-1</sup> de grãos, com dose de soro cerca de 10 vezes maior do que a utilizada, ou seja, 640.000 L ha<sup>-1</sup>.

## 5 CONCLUSÕES

- a. O N-mineral do solo aumentou em função da adubação nitrogenada, mas não devido à aplicação de soro.
- b. A aplicação de soro ácido de leite aumentou os teores de P-resina,  $K^+$  e  $Na^+$  no solo e nas folhas de milho.
- c. O soro de leite, em dose que forneceu  $50 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, aumentou a produtividade de grãos de milho em  $938 \text{ kg ha}^{-1}$ , o que não foi conseguido com  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N-ureia em cobertura.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, K. E.; BONASSI, I. A.; ROÇA, R. O. Características físicas e químicas de bebidas lácteas fermentadas e preparadas com soro de queijo minas frescal. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, p. 187-192, 2001.
- ALVES, V. M. C.; VASCONCELLOS, C. A.; FREIRE, F. M.; PITTA, G. V. E.; FRANÇA, G. E.; RODRIGUES FILHO, A.; ARAÚJO, J. M.; VIEIRA, J. R.; LOUREIRO, J. E. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª Aproximação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. p. 314-316.
- ARAÚJO, L. A. N.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 771-777, 2004.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO Jr., W. **AgroEstat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos**. Jaboticabal, versão 1.1.0.804, 2013.
- BEBÉ, F. V.; ROLIM M. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, G. B.; OLIVEIRA, V. S. Avaliação de solos sob diferentes períodos de aplicação com vinhaça. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 781-787, 2009.
- BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, J. I.; MÜLLER A, G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A. O.; RADIN, B.; BIANCHI, C. A. M.; PEREIRA, P. G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 243-249, 2006.
- BRASIL. Instrução Normativa SDA nº 28, de 27 de julho de 2007. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 31 jul. 2007. Seção 1, 2007. 11p.
- BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento (MAPA), Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. 399p.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 365-372, 2000.
- BRITO, F. L.; ROLIM, M. M. Comportamento do efluente e do solo fertirrigado com vinhaça. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 26, p. 60–67, 2005.
- CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 2009. 94 p. (Boletim técnico, 106)
- CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van; CAMARGO, C. E. O. Cereais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações**

**de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 1996. p. 45-71.

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O. Determinação de nitrogênio inorgânico em solo pelo método da destilação a vapor. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 2001. p. 270-276.

CARMO, C. A. F. S.; ARAÚJO, W. S.; BERNARDI, A. C. C.; SALDANHA, M. F. C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41p.

COELHO, A. M.; FRANÇA G. E.; BAHIA FILHO, A. F. C.; GUEDES G. A. A. Doses e métodos de aplicação de fertilizantes nitrogenados na cultura do milho sob irrigação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 61-67, 1992.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento de safra brasileira: grãos, décimo levantamento.** Brasília, 2012. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12\\_10\\_17\\_16\\_09\\_58\\_boletim\\_graos\\_-\\_julho\\_2012.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_10_17_16_09_58_boletim_graos_-_julho_2012.pdf)>. Acesso em: 06 jun. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Fertilidade de solos: nutrição e adubação do milho.** Sete Lagoas, 2006. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho\\_2ed/feraduba.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho_2ed/feraduba.htm)>. Acesso em: 06 jun. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Manejo da adubação nitrogenada na cultura do milho.** Sete Lagoas, 2007. Disponível em: <[http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2007/circular/Circ\\_96.pdf](http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2007/circular/Circ_96.pdf)>. Acesso em: 08 jun. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Importância econômica:** Introdução e importância econômica do milho. Sete Lagoas, 2012. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivodoMilho/importancia.htm>>. Acesso em: 08 jun. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. p.197-201.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 393-402, 2007.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. p. 21-54.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do milho**. Jaboticabal: Funep, 2007. 574p.

GODOY, L. J. G. **Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho (*Zea mays L.*) em solo arenoso baseado no índice relativo de clorofila**. 2002. 94 f. Dissertação. (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

GONZÁLES SISO, M. I. The biotechnological utilization of cheese whey: a review. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 57, p. 1-11, 1996.

GRANT, C. A; FLATEN, D. N.; TOMASIEWICZ, D. J. SHEPPARD, S. C. **A importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta**. Piracicaba: Potafos, 2001. 1 p. (Potafos. Informações Agrônômicas, 95)

GHERI, E. O.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Resposta do capim-tanzânia à aplicação de soro ácido de leite. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 753-760, 2003.

GUIDI, I. M. **Uso do lodo biológico de indústria de gelatina para adubação de cana-de-açúcar**. 2012. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

HOSSEINI, S.; SALAMI, H.; GHORBANI, M. Estimating the cost of on-farm soil erosion of wheat cultivated area in Northwest of Iran. **Journal of Agricultural Science Iran**, Teerã, v. 18, p. 943-954, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa agrícola municipal, 1990 a 2008**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 11 jun. 2013.

KUHNEN, F. **Mineralização do nitrogênio do soro ácido de leite**. 2010. 45 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2010.

LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; PIEDADE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, p. 242-249, 2009.

LOPES, A. S. **Solos sob “cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1983. 162p.

MAGANHA, M. F. B. **Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos.** São Paulo: Cesteb, 2008. 95 p.

MENDES, G. M. F.; ROLIM, M. M.; MORRIL, W. B. B.; TAVARES, U. E.; BARRETO, M. T. L.; MAGALHÃES, A. G. Produção de milheto forrageiro (*Pennisetum glaucum* L.) adubado com soro de leite. In: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO (JEPEX), 10. 2010, Recife. **Resumos.** Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2010. Disponível em: <http://www.sigeventos.com.br/jepex/inscricao/resumos/0001/R1356-2.PDF>>. Acesso em: 23 nov. 2011.

MIGUEL, J. P. R.; MANTOVANI, J. R.; PAIVA, P. H. O.; MELO, F. G. Uso fertilizante de soro ácido de leite em milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28., 2008, Londrina. **Resumos.** Londrina, SBSC, 2008. 1 CD-ROM.

MODLER, H. W. The use of whey as animal feed and fertilizer. **Bulletin of the International Dairy Federation**, n. 212, p.111-124, 1987.

MORRILL, W. B. B.; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; PEDROSA, E. M. R.; OLIVEIRA, V. S.; ALMEIDA, G. L. P. Produção e nutrientes minerais de milheto forrageiro e sorgo sudão adubado com soro de leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 182–188, 2012.

OLIVEIRA, J. R. A.; VILELA, L.; ANGELAYARZA, M. Adsorção de nitrato em solos de cerrado do Distrito Federal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 1199-1205, 2000.

PAULA, M. B.; HOLANDA, F. S. R.; A.; MESQUITA, A. H.; CARVALHO, V. D. Uso da vinhaça no abacaxizeiro em solo de baixo potencial de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília v. 34, p. 1217-1222, 1999.

PRAZERES, A. R.; CARVALHO, F.; RIVAS, J. Cheese whey management: a review. **Journal of Environmental Management**, Madison, v. 110, p. 48-68, 2012.

PETERSON, A. E.; WALKER, W. G.; WATSON, K. S. Effect of whey applications on chemical properties of soils and crops. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Chicago, v. 27, p. 654-658, 1979.

POLETTI, N. **Absorção e assimilação dos íons amônio e nitrato e os seus efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento de cevada e arroz em solução nutritiva.** 2008. 151 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van. Correção da acidez do solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomico; Fundação IAC, 1996. p.14-19. (Boletim técnico, 100)

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Milho para grãos e silagem. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 1996. p.56-59. (Boletim técnico, 100)

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC, 2001. 235p.

REVISTA LATICÍNIOS. **Mercado – dados da Data Market Intelligence Brazil**. São Paulo, v. 99, p. 28, 2013.

ROBBINS, C. W.; LEHRSCHE, G. A. Cheese whey as a soil conditioner. In: WALLACE, A.; TERRY, R. (Eds). **Handbook of soil conditioners: Substances that enhance the physical properties of soil**. New York: Marcel Dekker, 1998. p. 167-185.

ROBBINS, C. W.; HANSEN, C. L.; ROGINSKE, M. F.; SORENSEN, D. L. Extractable phosphorus and soluble calcium, magnesium and potassium in two whey-treated calcareous soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 25, p. 791-795, 1996.

RUIZ, J. G. C. L. **Mineralização do soro ácido de leite em função do pH do solo**. 2012. 44 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012.

RUBEL, F.; KOTTEK, M. Observed and projected climate shifts 1901-2100 depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 19, p. 135-141, 2010.

SINGH, M.; YADAV, D. S.; KUMAR, V. Leaching and transformation of urea in dry and wet soils as affected by irrigation water. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.81, p. 411-420, 1984.

SILVA, E. C. **Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio na cultura do milho em plantio direto na região de cerrado**. 2001. 83 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2001.

SILVA, M. R. **Efeito de uma bebida láctea fermentada e fortificada com ferro no estado nutricional de ferro em pré-escolares**. 2000. 75 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

SILVA, N. C. L. **Mobilidade e distribuição de solutos de soro de leite em colunas de solo**. 2009. 56 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SILVA, R. O. P.; SÁ, P. B. Z. R.; AMARAL, A. M. P.; BUENO, C. R. F. Aspectos das importações de soro de leite no Brasil: Análise e indicadores do agronegócio. **Instituto de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 8, p. 1-7, 2013.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Correção da acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 81-96.

SCHIMILDT, E. R.; CRUZ, C. D.; ZANUNCIO, J. C.; PEREIRA, P. R. G.; FERRÃO, R. G. Avaliação de métodos de correção do estande para estimar a produtividade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1011-1018, 2001.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim técnico, 5)

VANOTTI, M. B.; BUNDY, L. G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 7, p. 243-249, 1994.

WATSON, K. A.; PETERSON, A. E.; POWELL, R. D. Benefits of spreading whey on agricultural land. **Water Pollution Control Federation**, Alexandria, v.49, p.24-34, 1977.

YAMADA, T. S.; ABDALLA, R. S. V. **Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho**. Piracicaba: POTAFOS, 2000. 3 p. (POTAFOS. Informações Agrônomicas, 91).