

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

PRODUTIVIDADE DE MILHO E ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO EM FUNÇÃO DE APLICAÇÃO DE SORO
ÁCIDO DE LEITE

Samira Furtado de Queiroz
Tecnóloga em Laticínios

2018

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

**PRODUTIVIDADE DE MILHO E ATRIBUTOS QUÍMICOS
DO SOLO EM FUNÇÃO DE APLICAÇÃO DE SORO
ÁCIDO DE LEITE**

Samira Furtado de Queiroz

Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

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

2018

Q3p Queiroz, Samira Furtado
 Produtividade de milho e atributos químicos do solo em função de
 aplicação de soro ácido de leite / Samira Furtado de Queiroz. – –
 Jaboticabal, 2018
 iii, 54 p. : il. ; 29 cm

 Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
 Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018
 Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz
 Banca examinadora: Felipe Batistella Filho, Manoel Evaristo
 Ferreira, Itamar Andrioli, José Ricardo Mantovanni
 Bibliografia

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

 CDU 631.41:633.15

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

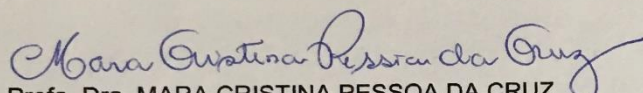
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PRODUTIVIDADE DE MILHO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DE APLICAÇÃO DE SORO ÁCIDO DE LEITE

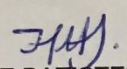
AUTORA: SAMIRA FURTADO DE QUEIROZ

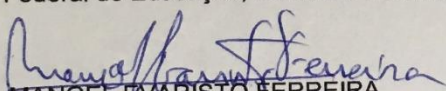
ORIENTADORA: MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

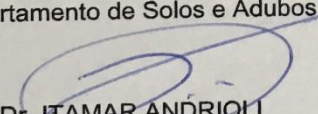
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

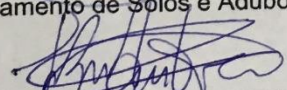


Profa. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. FELIPE BATISTELLA FILHO
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo / Campus Matão/SP


Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. ITAMAR ANDRIOLI
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. JOSÉ RICARDO MANTOVANI
Instituto de Ciências Agrárias / UNIFENAS - Alfenas/MG

Jaboticabal, 30 de maio de 2018

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, Agronegócios, Marketing e Mecanização Agrícola. No ano de 2011 concluiu curso de Pós-Graduação *Lacto Sensu* em Controle de Qualidade na Indústria de Alimentos, na Faculdades Associadas de Uberaba (FAZU). Em 2013, concluiu 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. No ano de 2014, ingressou no curso de Doutorado, no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), UNESP, Câmpus de Jaboticabal – SP, e durante o doutorado foi bolsista CAPES.

DEDICO

Com o mais profundo respeito pela vida e pela memória de Conrado Barcelos de Queiroz, que escrevo estas páginas e as dedico à minha maior inspiração, meu pai, minha motivação, responsável pelas maiores qualidades em mim existentes. A Jacira Furtado Ferreira de Queiroz, minha mãe, minha vida e meu maior amor. Parte de todo resultado deste trabalho árduo devo a sua ajuda.

À Professora Mara e ao Professor Manoel Evaristo, pelo amor, carinho, empenho e dedicação em transmitir as experiências profissionais, e principalmente pelas palavras confortantes nos momentos de dor e desespero de minha vida.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por proporcionar esta oportunidade.

À minha família, que não mediu esforços para me ajudar; devo a ela tudo o que tenho e o que sou.

Às empresas Catupiry® Laticínios, pelo fornecimento do soro de leite, à Coragro Produtos Agrícolas, pela doação dos insumos, e à Dow AgroSciences pela doação das sementes de milho.

Aos meus amigos do Laboratório de Fertilidade do Solo, da FCAV/UNESP – Campus de Jaboticabal, que sempre estiveram por perto, me auxiliando e compartilhando o aprendizado comigo.

Aos amigos Aline Carla T. Bettiol e Lucas Boscov Braos, pelo carinho, paciência e ajuda em todo o desenvolvimento do trabalho.

Ao estagiário Bruno Mendonça, pelo apoio e ajuda durante a execução das análises químicas realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo na FCAV/UNESP.

Ao Leonardo Ferreira do Carmo e sua família, por terem cedido a área experimental para a instalação do experimento.

Ao professor Itamar Andrioli, pelo carinho e ajuda durante todos os anos acadêmicos em que estive na FCAV/UNESP.

Ao professor Edimar Rodrigues Soares, pelo apoio e auxílio na execução do trabalho científico.

A todos que contribuíram para a realização desse trabalho.

Muito Obrigada!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
SUMMARY.....	iii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	2
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Caracterização e histórico da área.....	8
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	9
3.3 Caracterização do soro ácido de leite.....	9
3.4 Preparo do solo e correção da acidez.....	10
3.5 Instalação, condução e colheita dos experimentos.....	10
3.6 Amostragem de solo.....	13
3.7 Precipitação pluvial durante a condução dos experimentos.....	13
3.8 Análise dos dados.....	15
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
4.1 Atributos químicos do solo.....	16
4.2 Concentrações de nutrientes e sódio nas folhas de milho.....	37
4.3 Produtividade de grãos de milho.....	46
5 CONCLUSÕES.....	48
6 REFERÊNCIAS.....	48

PRODUTIVIDADE DE MILHO E ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DE APLICAÇÃO DE SORO ÁCIDO DE LEITE

RESUMO – O soro ácido de leite é um resíduo produzido em grande quantidade no Estado de Minas Gerais e em outros estados do Brasil, que pode ser utilizado como fertilizante. Os objetivos com este trabalho foram avaliar os atributos químicos do solo e a resposta de produtividade do milho à aplicação de soro ácido de leite. O experimento foi instalado em Frutal-MG, em Latossolo Vermelho distrófico de textura média, e conduzido nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, nas mesmas parcelas. O delineamento foi em blocos ao acaso, com cinco tratamentos (doses de soro) e cinco repetições. As doses totais de soro foram equivalentes a 0, 62.500, 125.000, 187.500 e 250.000 L ha⁻¹ por ano, as quais foram divididas em três aplicações, aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura de milho, nos estádios V2, V4 e V6. Foram avaliados atributos químicos do solo, estado nutricional da planta e produtividade de grãos. Os valores de pH (CaCl₂) aumentaram e os teores de (H+Al) diminuíram em função das doses de soro na camada de 0-20 cm. As bases trocáveis aumentaram no solo, no primeiro ano, pela aplicação do soro ácido de leite, nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. No segundo ano, os teores de K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis aumentaram pela aplicação do soro, mas foram menores em relação ao primeiro ano, apesar das duas aplicações de soro, o que evidencia baixo efeito residual do soro quando aplicado em solos com CTC baixa, como o Latossolo no qual o experimento foi instalado. Da diminuição do (H+Al) e do aumento das bases resultou aumento nos valores de V% em ambas as camadas. As formas de N-mineral, NH₄⁺ e NO₃⁻, aumentaram nos dois anos agrícolas na camada de 20-40 cm com a aplicação do soro de leite. Os teores de Na⁺ não atingiram valores críticos, tanto no solo quanto nas plantas. Conclui-se que o soro ácido de leite proporcionou ganhos nas condições de fertilidade do solo, mas apesar de ter havido entrada de grandes quantidades de nutrientes via soro no ambiente de produção, houve efeito na produtividade de milho apenas no primeiro ano, com aumento na produção de grãos de 487 kg ha⁻¹ com aplicação de 85.000 L ha⁻¹ de soro.

Palavras-chave: resíduo orgânico, nitrogênio, potássio, sódio.

MAIZE YIELD AND CHEMICAL ATTRIBUTES OF SOIL AS A FUNCTION OF ACID WHEY APPLICATION

SUMMARY - Acid whey is a residue produced in large quantities in the State of Minas Gerais and in other states of Brazil, which can be used as fertilizer. The objectives of this research were to evaluate the chemical attributes of the soil and a maize yield response to the application of milk acid whey. The experiment was installed in Frutal-MG, in a typic Haplustox, and conducted in the agricultural years 2014/2015 and 2015/2016, in the same plots. The experimental design was randomized blocks, with five treatments (whey doses) and five replicates. The total doses of acid whey were equivalent to 0, 62,500, 125,000, 187,500 and 250,000 L ha⁻¹ per year, and they were divided into three applications at 15, 30 and 45 days after maize sowing at stages V2, V4 and V6. Soil chemical attributes, plant nutritional status and grain yield were evaluated. The pH (CaCl₂) values increased and the (H+Al) contents decreased as a function of the whey doses in the 0-20 cm layer. The exchangeable bases increased in the soil, in the first year, by the application of acid whey, in the layers of 0-20 and 20-40 cm. In the second year, the levels of exchangeable K⁺, Na⁺, Ca²⁺ and Mg²⁺ increased with application of acid whey, but were lower in relation to first year, despite the two whey applications, which shows low residual effect of the whey when applied in soils with low CEC, as the Haplustox where the experiment was carried out. The increase of the bases and the decrease in the acids increase the values of bases saturation degree in both layers. The mineral-N, NH₄⁺ and NO₃⁻ forms, increased in two years in the 20-40 cm layer with a whey application. The Na⁺ contents did not reach critical values, both in the soil and in the plants. It was concluded that the acid whey provided gains in the soil fertility conditions, but despite the input of large amounts of nutrients via whey in the production environment, there was effect on maize yield only in the first year, with an increase in grain yield of 487 kg ha⁻¹ with application of 85,000 L ha⁻¹ of whey.

Key words: organic waste, nitrogen, potassium, sodium.

1 INTRODUÇÃO

As produções estimadas de leite e de queijo no Brasil, no ano de 2017, foram de 35 milhões de toneladas e 795,98 mil toneladas, respectivamente (CONAB, 2017). Para cada 1 kg de queijo produzido são gerados 9 litros de soro (LIMA; ROCHA, 2016), e com base na estimativa de produção de queijo de 2017, obtém-se o volume de 7,2 bilhões de litros de soro gerados no ano. Por mais que este subproduto seja utilizado para alimentação animal e em produtos alimentícios, o alto custo para a concentração do soro limita seu uso como alimento.

Na maioria das vezes os laticínios não conseguem dar vazão a toda produção de soro, o que pode levar ao descarte incorreto. Isso torna importante a proposição de alternativas adequadas para o seu aproveitamento, entre elas, o uso como fertilizante orgânico. Na composição do soro têm-se vários nutrientes de plantas, com maiores concentrações de N e K.

A utilização do soro de leite como fonte alternativa para o fornecimento de nutrientes é aplicável em todas as regiões do País, mas pode ser mais importante onde predomina a agricultura familiar, com produção de milho para grãos e silagem, ou cultivo de gramíneas forrageiras. Goiás e Minas Gerais são os estados onde se concentram as maiores produções de queijo do País e nestes estados, particularmente em Minas Gerais, parte significativa da produção de queijos é artesanal, em propriedades pequenas. Saber reciclar os nutrientes de forma correta dentro destas propriedades é uma forma de manter a produção sustentável e garantir a permanência dos produtores dentro da atividade.

O soro é produzido em grande quantidade e descartado na maioria das indústrias laticinistas do País. Em regiões onde há predominância de solos pobres e ácidos, com agricultura de baixo nível tecnológico, a utilização do soro, somada a práticas de correção de acidez e de fornecimento de nutrientes a partir de outras fontes, pode ser uma forma de alterar a realidade local, mas que precisará de suporte técnico, uma vez que o uso equivocado pode resultar em descrédito para a forma de manejo proposta e em perda da qualidade do ambiente.

Visando os efeitos benéficos que o soro de leite pode proporcionar às culturas, partiu-se no presente estudo da hipótese que o soro de leite aumenta a produtividade de grãos de milho.

Diante do exposto, os objetivos com este trabalho foram avaliar os atributos químicos do solo e a resposta de produtividade de milho à aplicação de soro ácido de leite, em experimento conduzido em Frutal-MG.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O soro de leite é um subproduto da indústria laticinista que apresenta alto valor para nutrição humana. É um produto versátil, adaptável a diversas situações, que pode ser utilizado na produção de bebidas lácteas, bolachas e isotônicos. Pode também ser usado na alimentação animal (SIQUEIRA; MACHADO; STAMFORD, 2013). O soro pode ser ácido, quando as caseínas são coaguladas em meio ácido, ou doce, quando são coaguladas em meio enzimático (OLIVEIRA; BRAVO; TONIAL, 2012).

O soro é um produto perecível (MANTOVANI et al., 2015), que em condições de alta temperatura sofre insolubilização e precipitação das proteínas, e sob condições de refrigeração pode ser armazenado por longos períodos (CARDOSO, 2014). A maior parte do soro de leite que é produzido no Brasil não é aproveitada, sendo descartada como resíduo (PAULA et al., 2011; MANTOVANI et al., 2015), e a quantidade produzida é muito grande.

O alto poder poluente do soro gera a necessidade de tratá-lo adequadamente, o que envolve processos de alto custo, ou obriga a estabelecer formas viáveis para sua utilização (SPADOTI et al., 2016).

O descarte do soro de forma equivocada diretamente em rios, córregos ou lagos, pode afetar a vida aquática e promover sérios impactos ambientais (MAGALHÃES et al., 2011; SIQUEIRA; MACHADO; STANFORD, 2013), visto que o soro de leite apresenta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) elevada, cerca de 30.000 a 60.000 mg L⁻¹, valores maiores do que os do esgoto doméstico em mais de 10 vezes (PAULA et al., 2011).

No processo de produção do queijo, a separação da caseína e da gordura do leite é o que dá origem ao soro, que possui cerca de 55% dos nutrientes do leite e apresenta, em sua composição, aproximadamente 93 a 94% de água, 4,4 a 5,0% de lactose, 0,7 a 0,9% de proteínas solúveis e 0,6 a 1,0% de sais minerais (PAULA et al., 2011). Prazeres, Carvalho e Rivas (2012) citam intervalos maiores para algumas características: 0,018 a 6% de lactose, 0,14 a 3,35% de proteínas e 0,008 a 1,058% de gorduras.

A composição química do soro de leite admite seu uso como fertilizante agrícola em áreas próximas aos pontos de geração, que é uma alternativa de menor impacto para o meio ambiente. O uso de soro de leite como fertilizante exige embasamento técnico, com definição de doses mais adequadas e economicamente viáveis para as culturas, além de estudos sobre seus benefícios em atributos do solo e na produtividade das plantas (MANTOVANI et al., 2015).

Na Tabela 1 está a caracterização do soro ácido segundo alguns autores. Na composição elementar destacam-se as concentrações de N e K, nutrientes, e de Na, não nutriente, pois não é essencial para plantas. O Na ocorre na forma de cátion monovalente, que no solo pode aumentar a concentração salina e causar danos às plantas, e pode também desestabilizar a estrutura, dependendo da quantidade aplicada. Contudo, o Na^+ é um cátion fracamente retido a fase sólida do solo e que pode, deste modo, ser perdido facilmente por lixiviação. O Na é, portanto, o componente que pode limitar o uso agrícola do soro, mas sua presença em concentrações excessivas fica restrita aos processos industriais em que se faz uso de sal.

Tabela 1. Caracterização do soro ácido de leite segundo dados de literatura.

Referência	pH	CO	N	C/N	P	K	Ca	Mg	S	Na
		----g L ⁻¹ ----				-----g L ⁻¹ -----				
Robbins; Lehrs (1998)	-	-	1,5	-	1,1	1,4	0,8	0,1	-	0,6
Gheri; Ferreira; Cruz (2003)	4,4	25	0,6	42	0,6	1,6	1,0	0,1	0,05	-
Lehrs; Robbins; Brown (2008)	3,3	-	1,5	-	1,1	2,0	0,9	0,1	-	0,4
Kuhnen (2010)	-	16	0,8	20	0,8	1,5	1,9	0,1	0,01	-
Kavacik; Topaloglu (2010)	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-
Ruiz (2012)	3,7	12	0,7	17	0,8	1,3	1,2	0,1	0,04	-
Carvalho; Prazeres; Rivas (2013)	3,3	-	2,0		0,5	-	-	-	-	-
Santos; Santos; Silva (2013)	-	-	-	-	-	0,7	-	-	-	0,1
Queiroz (2013)	3,9	17	0,8	22	0,3	1,0	0,3	0,1	0,07	0,4
Morrill et al. (2011)	4,1	-	0,9	-	0,3	1,5	0,2	0,1	-	0,4
Mantovani et al. (2015)	4,1	16	0,9	18	0,7	1,4	0,8	0,1	0,01	-
Ketterings et al. (2017)	4,1	-	0,8	-	0,7	1,6	1,2	0,1	0,07	0,4

Kuhnen (2010) avaliou a mineralização do soro ácido de leite, por meio de experimento em laboratório com as doses 0, 101.000, 203.000, 304.000 e 405.000 L ha⁻¹ de soro contendo 0,8 g L⁻¹ de N, e observou que o pico de liberação de N-mineral ocorreu aos 28 dias de incubação e que aos 56 dias de incubação 50% do nitrogênio mineralizável em 126 dias já havia nitrificado. Segundo o autor, a taxa de mineralização do soro de leite foi menor que a esperada devido à imobilização inicial do N do solo adubado com soro. Como o soro de leite contém grande quantidade de açúcares, a tendência é que ocorra grande aumento da atividade microbiana na fase inicial do processo de decomposição e, com isso, parte do N do solo pode ser imobilizado. Ainda, as proteínas do soro, que são os componentes que contém nitrogênio, são de alto peso molecular, o que torna o processo de degradação mais lento.

Ruiz (2012) também estudou o processo de mineralização do soro ácido de leite em Latossolo Vermelho, em condições de laboratório e em valores de pH iguais a 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 e 6,5. O autor verificou, aos 182 dias de incubação, que cerca de 67% do nitrogênio total do soro havia mineralizado em valores de pH 6,0 e 6,5, resultados semelhantes aos encontrados por Kuhnen (2010).

O uso de soro de leite na agricultura vem sendo estudado, com confirmação de efeitos benéficos nos solos e respostas positivas das culturas, desde as décadas de 1970 e 1980. Nestes trabalhos, Peterson, Walker e Watson (1979) obtiveram maior produção de grãos de milho, em experimento em campo, com aplicação de 846.000 L ha⁻¹ de soro, e Modler (1987) relatou que a aplicação de 640.000 L ha⁻¹ resultou em produção de 3,2 t de grãos de milho.

No Brasil, Gheri, Ferreira e Cruz (2003) avaliaram a produção de matéria seca e a quantidade de nutrientes extraída por *Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia adubado com soro ácido de leite nas doses de 0, 75, 150, 225 e 300 kg ha⁻¹ de K₂O em três aplicações (antes da semeadura, após o primeiro e após o segundo corte). Houve aumento na produção de matéria seca e a produção máxima teórica total de três cortes da forrageira foi obtida com a aplicação acumulada de 390.000 L ha⁻¹. As quantidades de K, P e Ca absorvidas pela planta e o teor de K no solo aumentaram significativamente com as doses de soro.

Há relatos de efeitos benéficos da aplicação de soro também para outras gramíneas. Morrill et al. (2012) conduziram experimento em vasos com sorgo e milho forrageiro, usando aplicação única ou parcelada de 0; 167.000; 333.000; 667.000 e 1.000.000 L ha⁻¹ de soro, doses baseadas na concentração de K (1,5 g L⁻¹). A aplicação parcelada deu melhores resultados que a aplicação única para o milho, e a máxima produção de matéria seca foi obtida com 374.000 L ha⁻¹. 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⁻¹. 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 aplicação de resíduo líquido de laticínio (soro de leite, água de descarga de condensador e águas de lavagem de equipamentos e utensílios) no solo sob pastagens, nas doses de 10.000, 50.000, 100.000, 150.000, 200.000 e 400.000 L ha⁻¹, resultou em melhora na fertilidade, com aumento dos teores de P, K⁺ e Ca²⁺ e matéria orgânica; para a pastagem, a dose de 400.000 L ha⁻¹ do resíduo pode substituir parcialmente a adubação fosfatada, e completamente a adubação potássica (SANTOS; SANTOS; SILVA, 2013).

O uso agrícola do soro de leite é particularmente indicado para pastagens e milho para grãos e silagem, que são culturas típicas das propriedades em que há criação de gado de leite e que estarão próximas aos pontos de geração do resíduo. A cultura do milho tem alto potencial de produção e grande importância econômica, devido ao valor nutricional de seus grãos, tanto para a alimentação humana como animal (TORRES et al., 2014). Esse fato é confirmado pela produção mundial de milho na safra 2016/2017, que chegou a 1.075,3 milhões de toneladas. O *ranking* da produção mundial é liderado pelos Estados Unidos, seguido da China e do Brasil, com valores de 384,8 (35,7%); 219,6 (20,4%) e 98,5 (9,2%) milhões de toneladas, respectivamente. Os Estados Unidos e o Brasil comandam as exportações de grãos de milho, com 58,2 e 36 milhões de toneladas de grãos de milho (FIESP, 2017).

No Brasil, os Estados da Região Sul foram destaque na safra 2016/2017, responsáveis pela produção de 13.992,7 mil toneladas de grãos de milho e produtividade de 8.169 kg ha⁻¹. Em seguida estão os Estados da Região Sudeste, com produção de aproximadamente de 8 milhões toneladas e produtividade de 6.295 kg

ha⁻¹. O Estado de Minas Gerais apresentou produção de 5,8 milhões de toneladas e produtividade de 6.374,0 kg ha⁻¹ (CONAB, 2017).

Em Minas Gerais, considerando a produção de milho por região, tem-se: no Alto Paranaíba, 1.679.553 toneladas e produtividade de 7.314 kg ha⁻¹; no Sul de Minas, 1.429.621 toneladas e produtividade de 6.693 kg ha⁻¹; e no Triângulo Mineiro, 1.343.624 toneladas e 5.641 kg ha⁻¹ de produtividade (SPAMG, 2017). Este estado ocupa o quinto lugar na produção nacional de milho em condições de sequeiro, considerando a soma da primeira e da segunda safras (IBGE, 2015; AGRIANUAL, 2015).

No Estado de Minas Gerais existem extensas áreas de solos típicos de cerrados que, na sua condição natural, apresentam grandes limitações ao cultivo devido à baixa fertilidade (LOPES, 1983). Contudo, a existência de uma estação seca e outra chuvosa definidas, que favorecem o planejamento do plantio e da colheita, os solos profundos com boa qualidade física, e a topografia plana, fizeram do bioma Cerrado a maior fronteira agrícola brasileira nas décadas de 1970 e 1980, uma vez corrigidas as condições de fertilidade do solo (SOUZA; ALVES, 2003; SIQUEIRA NETO et al., 2009).

Entre os cereais, o milho é uma das culturas mais exigentes em nutrientes, especialmente em nitrogênio (N). O suprimento inadequado de N é considerado um dos principais fatores limitantes ao rendimento de grãos de milho (FERNANDES; LIBARDI, 2007). O custo dos fertilizantes nitrogenados é limitante para pequenos produtores, de modo que a utilização de sistemas alternativos de produção que busquem a sustentabilidade, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico, é de fundamental importância para firmar o agronegócio como setor que possibilita retornos duradouros aos investimentos (LEAL et al., 2005).

Neste contexto, o reaproveitamento de resíduos que forneçam nutrientes e aumentem o teor de matéria orgânica e a capacidade de troca de cátions do solo é uma via de sustentabilidade. O soro de leite pode fornecer nutrientes em altas quantidades, como N e K, que são os nutrientes mais exportados pelas culturas (PAULA et al., 2011; MORRILL et al., 2012; MANTOVANI et al., 2015), e pode ser uma boa opção para produtores do Estado de Minas Gerais, onde está concentrada parte importante da produção de queijos do País.

No município de Frutal (MG), no qual predominam solos de cerrado, o soro de leite é um dos principais resíduos disponíveis, com potencial de utilização na agricultura. Não há estimativas locais de produção de soro, mas em uma indústria na região do Triângulo Mineiro foram descartados, no ano de 2010, mensalmente, 181.394 L de soro de leite, o que representa 2.176.189 L ao ano (QUEIROZ; FERREIRA; MATA, 2011).

Mantovani et al. (2015), em experimento em vasos mantidos em casa de vegetação, afirmaram que a aplicação de soro ácido de leite ao solo aumenta os teores de P disponível e de K⁺ trocável, aumenta a produção de matéria seca das plantas de milho e as acumulações de N, P, K e Ca na parte aérea. Segundo os autores o soro ácido de leite em doses de até 200.000 L ha⁻¹ deve ser utilizado de forma associada à adubação mineral no cultivo de milho.

Ketterings et al. (2017), publicaram um guia de uso de soro de leite para os Estados Unidos. Nele os autores recomendam o soro ácido como fertilizante tendo em vista que: o soro ácido de leite é uma fonte alternativa de nutrientes para as culturas; sua infiltração é mais rápida do que a dos esterco, por ser solúvel, e também a disponibilização dos nutrientes é mais rápida, quando comparado com esterco bovino, mas mesmo apresentando infiltração mais rápida, o soro ácido pode apresentar risco de escoamento superficial quando o teor de sólidos é elevado e a umidade do solo é alta. Segundo os autores deve-se evitar semear culturas sensíveis a acidez logo após a aplicação e uma calagem adicional torna-se necessária para manter o pH quando o soro for aplicado a solos naturalmente ácidos e de baixo poder tampão, pois, na maioria dos trabalhos em que é avaliado o pH do solo após a aplicação do resíduo, o pH é afetado. A taxa de aplicação pode ser limitada pelo teor de nitrogênio ou fósforo do soro (com base nas necessidades de cultivo e no teor de P do solo), pelo teor de cloro ou por propriedades e condições do solo que regulam as taxas de infiltração de soro de leite.

As doses de soro já avaliadas na literatura são muito variáveis e, ao estabelecimento de doses e critérios de aplicação, está vinculado o sucesso do uso agrícola do resíduo. Há necessidade de, ao longo do tempo, gerar banco de dados que permita estabelecimento de normas de uso para o soro, como as que já existem para lodo de esgoto (CONAMA, 2006) e vinhaça (CETESB, 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e histórico da área

O experimento foi conduzido nos anos agrícolas 2014/2015 (ano 1) e 2015/2016 (ano 2), na Fazenda São Matheus, município de Frutal (MG). As coordenadas geográficas do local são 19°51'26,36"S e 49°07'54,04"O, a altitude é de 524 m, e o solo, Latossolo Vermelho Distrófico (EMBRAPA, 2013) de textura média. O clima do local é Aw, tropical, com inverno seco (RUBEL; KOTTEK, 2010).

A área experimental foi instalada em local em que o solo estava em sua condição natural, não cultivada anteriormente, e nele a vegetação era típica de cerrado, com gramíneas nativas e pequenos arbustos (Figura 1).



Figura 1. Vegetação da Região do Triângulo Mineiro no município de Frutal (MG), onde o experimento foi instalado.

A área experimental foi demarcada em agosto de 2014, e a amostragem de solo foi realizada nas profundidades de 0-20 cm e 20-40 cm, com o uso de enxadão. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo,

FCAV/UNESP e foram secas, destorroadas e passadas em peneira de 2 mm. As análises químicas foram feitas segundo Raji et al. (2001) e a granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (CAMARGO et al., 2009). Os resultados da caracterização da fertilidade do solo da área e a granulometria estão na Tabela 2.

A área experimental foi preparada no mês de setembro de 2014, para a instalação e condução do experimento.

Tabela 2. Atributos químicos e análise granulométrica, do solo da área experimental, na Fazenda São Matheus, Frutal (MG).

Prof.	P-resina	MO	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V	B	Zn
Cm	mg dm ⁻³	g dm ⁻³		-----mmol _c dm ⁻³ -----						%	mg dm ⁻³		
0-20	3	16	4,1	0,6	4	1	31	8	6	37	15	0,31	0,2
20-40	3	13	4,1	0,4	3	1	28	11	4	32	14	0,25	0,2
			Areia			Silte			Argila				
			-----g kg ⁻¹ -----										
0-20			730				20				250		
20-40			730				20				250		

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido na mesma área, nos dois anos, em delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos (doses de soro de leite) e cinco repetições. As doses totais de soro foram equivalentes a 0, 62.500, 125.000, 187.500 e 250.000 L ha⁻¹. Elas foram definidas com base no teor médio de N do soro, 1,1 g L⁻¹, calculado com base em artigos publicados com data anterior a 2015 (Tabela 1). Deste modo, foram estimadas doses de N de 70, 140, 210 e 280 kg ha⁻¹.

A área total do experimento foi de 1.716 m². As parcelas foram constituídas por cinco linhas de plantas, com 5 plantas por metro linear, espaçadas entre si por 0,8 m (24 m²), totalizando 62.500 plantas por hectare. A área útil foi constituída pelas três linhas centrais, desprezando 1 m em cada extremidade (9,6 m²).

3.3 Caracterização do soro ácido de leite

O soro de leite (SL) foi fornecido pela Catupiry® Laticínios, unidade de Santa Fé do Sul (SP), e é resultante do processo de fabricação de queijo tipo requeijão, no qual não há adição de sal.

Para caracterização do soro foi feita amostragem nas datas de aplicação, nos dois anos agrícolas. Nas amostras *in natura* foram determinados: C total e N total por

combustão via seca em equipamento Leco® CN 628, valor de pH e teores de N-NH_4^+ e N-NO_3^- . Na determinação das formas minerais de N foi usado o procedimento de destilação/titulação descrito em Cantarella e Trivelin (2001) para extratos de solo. Após digestão nítrico-perclórica da amostra, foram determinadas as concentrações de P, K, Ca, Mg, S e Na. Nestas determinações foram usados os procedimentos descritos em Carmo et al. (2000) e os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização química do soro ácido de leite do queijo tipo requeijão, utilizado nos experimentos conduzidos em 2014/2015 e 2015/2016.

Anos agrícolas	pH	CO	N	N-NH_4^+	N-NO_3^-	C/N	P	K	Ca	Mg	S	Na
		--g kg ⁻¹ --		-----mg L ⁻¹ -----						-----g L ⁻¹ -----		
2014/2015	3,7	22	1,7	17,6	1,3	13	1,0	2,0	1,3	0,1	0,004	0,37
2015/2015	4,4	24	1,6	10,5	2,2	15	1,1	2,3	1,2	0,1	0,004	0,37

3.4 Preparo do solo e correção da acidez

O solo da área experimental, no primeiro ano, foi preparado no dia 30 de setembro de 2014, com aração seguida de aplicação de calcário para elevar a saturação por bases a 70% ($2,4 \text{ t ha}^{-1}$; PRNT= 85%), conforme recomendação de Raij e Cantarella (1997) para cultura de milho para grãos. Juntamente com o calcário foi aplicado gesso agrícola, $1,5 \text{ t ha}^{-1}$, usando como critério o teor de argila da camada de 20 a 40 cm, multiplicado por 6, para definir a dose (QUAGGIO; RAIJ, 1997). O calcário e o gesso foram distribuídos na área total e incorporados com grade aradora.

Em 2014/2015, após a colheita (ano 1), foi realizada amostragem de solo dentro de cada parcela para verificação do índice de saturação por bases e, posteriormente, foi feita distribuição de calcário (PRNT= 85%) a lanço (aplicado manualmente parcela por parcela) para elevar o V a 70%, seguindo a recomendação de Raij e Cantarella (1997).

3.5 Instalação, condução e colheita dos experimentos

Nos dois anos agrícolas a semeadura ocorreu no dia 30 de novembro, em sistema de cultivo convencional (ano 1) e plantio direto (ano 2). No (ano 1) foram usados, na semeadura, 500 kg ha^{-1} da fórmula 5-20-10 com 0,8% de Zn, que resultou na aplicação de 25 kg ha^{-1} de N, 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 , 50 kg ha^{-1} de K_2O e 4 kg ha^{-1} de

Zn. No segundo ano foram aplicados 640 kg ha^{-1} da fórmula (4-14-8), que resultou em $25,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, $89,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 e $51,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de K_2O . Nos dois anos agrícolas as adubações foram baseadas na análise de solo, com meta de produtividade de 6 a 8 t ha^{-1} de grãos e classe de média resposta – solos muito ácidos (RAIJ; CANTARELLA, 1997).

Aos dez dias após a semeadura (ano 1) foram aplicados $0,35 \text{ kg ha}^{-1}$ de Zn na forma de sulfato de zinco, para complementar a dose recomendada por Raij e Cantarella (1997) e, no segundo ano, aos cinco dias após a semeadura, foram aplicados 4 kg ha^{-1} de Zn, também na forma de sulfato de zinco. Nos dois anos, a aplicação foi por meio de solução, usando regadores de jardim, e fazendo a distribuição a cerca de 20 cm das plantas.

As doses de soro ácido de leite foram divididas em três aplicações iguais, aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura, nos estádios V2, V4 e V6. A distribuição de soro foi feita com regadores de jardim com capacidade para 10 L, a cerca de 10 cm da linha de plantas (Figura 2).



Figura 2. Aplicação de soro ácido de leite com regadores de jardim.

Foram aplicados em cobertura, logo após a distribuição do soro, 4 kg ha⁻¹ de N, na forma de sulfato de amônio, para minimizar eventual deficiência de N nas plantas devido à imobilização de N.

As doses de soro aplicadas no solo, durante os dois anos, apresentaram as equivalências de N, P e K, em kg ha⁻¹, que estão na Tabela 4.

Tabela 4. Equivalências de soro ácido de leite a quantidades de nitrogênio, fósforo, P₂O₅, potássio, K₂O e sódio aplicadas em cobertura nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Anos Agrícolas	Soro	N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Na
	L ha ⁻¹	kg ha ⁻¹					
	0	0	0	0	0	0	0
2014/2015	62.500	106,25	62,50	143,12	125,00	150,00	23,12
	125.000	212,50	125,00	286,25	250,00	300,00	46,25
	187.500	318,75	185,50	424,79	375,00	450,00	69,37
	250.000	425,00	250,00	572,50	500,00	600,00	92,50
	0	0	0	0	0	0	0
2015/2016	62.500	100,00	68,75	157,44	143,50	172,20	23,12
	125.000	200,00	137,50	314,87	287,50	345,00	46,25
	187.500	300,00	206,25	472,31	431,25	517,50	69,37
	250.000	400,00	275,00	629,75	575,00	690,00	92,50

Aos sessenta dias após a semeadura, no estágio reprodutivo (R1), quando aproximadamente 50% das plantas apresentavam inflorescência feminina, foram coletadas amostras do terço central da folha abaixo e oposta à primeira espiga, de 30 plantas da área útil da parcela, conforme recomendação de Coelho et al. (2002). As amostras foram lavadas no mesmo dia da amostragem com solução de detergente neutro 1 mL L⁻¹ e enxaguadas com água deionizada. As amostras foram previamente secas com papel toalha para retirar o excesso de água e colocadas em estufa com ventilação forçada a 65-70°C até atingirem peso constante. Depois foram moídas e utilizadas para avaliação da concentração de N por combustão via seca em equipamento Leco® CN 628 e P, K, Ca, Mg, Na e Zn, de acordo com os métodos descritos por Carmo et al. (2000). Estes procedimentos foram adotados nos dois anos.

Para obtenção da produção foram colhidas as espigas na área útil das parcelas, nos dois anos agrícolas. A colheita foi feita no dia 14 de abril, cento e trinta dias após a emergência das plantas e cerca de noventa dias após a última aplicação de soro de

leite. As espigas foram despalhadas manualmente e expostas ao sol por cinco dias, para diminuição da umidade. A seguir, foram debulhadas manualmente, os grãos foram pesados, homogeneizados e amostrados para determinação da umidade, segundo os métodos descritos em Brasil (2009). Os dados de produção foram corrigidos para 13% de umidade.

3.6 Amostragem de solo

Foram coletadas amostras de solo nos dias 24 e 25 de abril, nos dois anos, cerca de cem dias após a última aplicação de SL. Na coleta foi usado trado tipo sonda e as amostras de solo foram resultado de 20 subamostras por parcela, coletadas a cerca de 20 cm das linhas de plantas, na faixa onde foi feita aplicação de soro, e nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. As amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo UNESP/FCAV e foram secadas, destorroadas e passadas em peneira de malha de 2 mm. Após este procedimento, foram conservadas em geladeira, procedimento recomendado para as análises de N-mineral. Nas amostras, além do N-mineral, foram determinados MO, pH (CaCl_2), K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , $\text{H}+\text{Al}$ e Al^{3+} (RAIJ et al., 2001). Por meio de cálculo foram obtidos os valores de V%.

3.7 Precipitação pluvial durante a condução dos experimentos

Durante a condução dos experimentos, as precipitações pluviais foram medidas diariamente e foram calculadas em função do estágio fenológico do milho, conforme Tabela 5. As precipitações pluviais totais foram de 1.005 mm (ano 1) e de 1.677 mm (ano 2) (Tabela 6). A distribuição diária das chuvas, com a localização dos principais procedimentos adotados na condução do experimento, está na Figura 3. No intervalo de tempo entre os experimentos, o solo ficou em pousio e a precipitação foi de 154 mm (Tabela 6).

Tabela 5. Precipitação pluvial em função do estágio fenológico da cultura do milho nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Estádio fenológico do milho	Precipitação pluvial (mm)	
	2014-2015	2015-2016
VE (emergência da plântula)	30	0
V1 (1 folha)	40	0
V2 (2 folhas)	9	27
V3 (3 folhas)	30	30
V4 (4 folhas)	20	12
V5 (5 folhas)	60	15
V6 (6 folhas, ponto de crescimento acima do solo)	19	20
V7 (7 folhas)	10	26
V8 (8 folhas, pendão começando a crescer)	0	34
V9 (9 folhas)	0	48
V10 (10 folhas)	9	0
V11 (11 folhas)	30	44
V12 (12 folhas: formação da espiga)	0	60
V13 (13 folhas)	40	230
V14 (crescimento acelerado, estigmas começando seu crescimento)	20	60
VT(Pendoamento: 4 dias antes do aparecimento da inflorescência feminina)	50	28
R1 (Embonecamento: 15 DA, V14)	60	112
R2 (grão bolha de água: 12 DA, R1)	224	90
R3 (grão leitoso: 18 DA, R1)	87	239
R4 (grão farinhoso: ponto de pamonha 24 DA R1)	66	250
R5 (formação da linha do amido:30 DA, R1)	48	113
R6 (maturidade fisiológica: 40 DA, R1)	0	0

VE: 5 dias após a semeadura; V1 até V14: os estádios vegetativos são a cada 3 dias. V14: rápido crescimento até V18. R6: a maturidade fisiológica das espigas colhidas, foram alcançadas após 20 dias da colheita no campo.

Tabela 6. Precipitação pluvial mensal (mm) na área experimental na Fazenda São Matheus, município de Frutal (MG).

Matheus, município do Paraná (MG):													
Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Médias
-----mm-----													
2014										76	107	188	371
2015	149	304	172	9	10	0	5	99	40	32	134	173	1.127
2016	536	300	363	139									1.338

2014-2015				2015-2016				Período em pousio					
-----mm-----													
Totais				1.005				1.677				154	

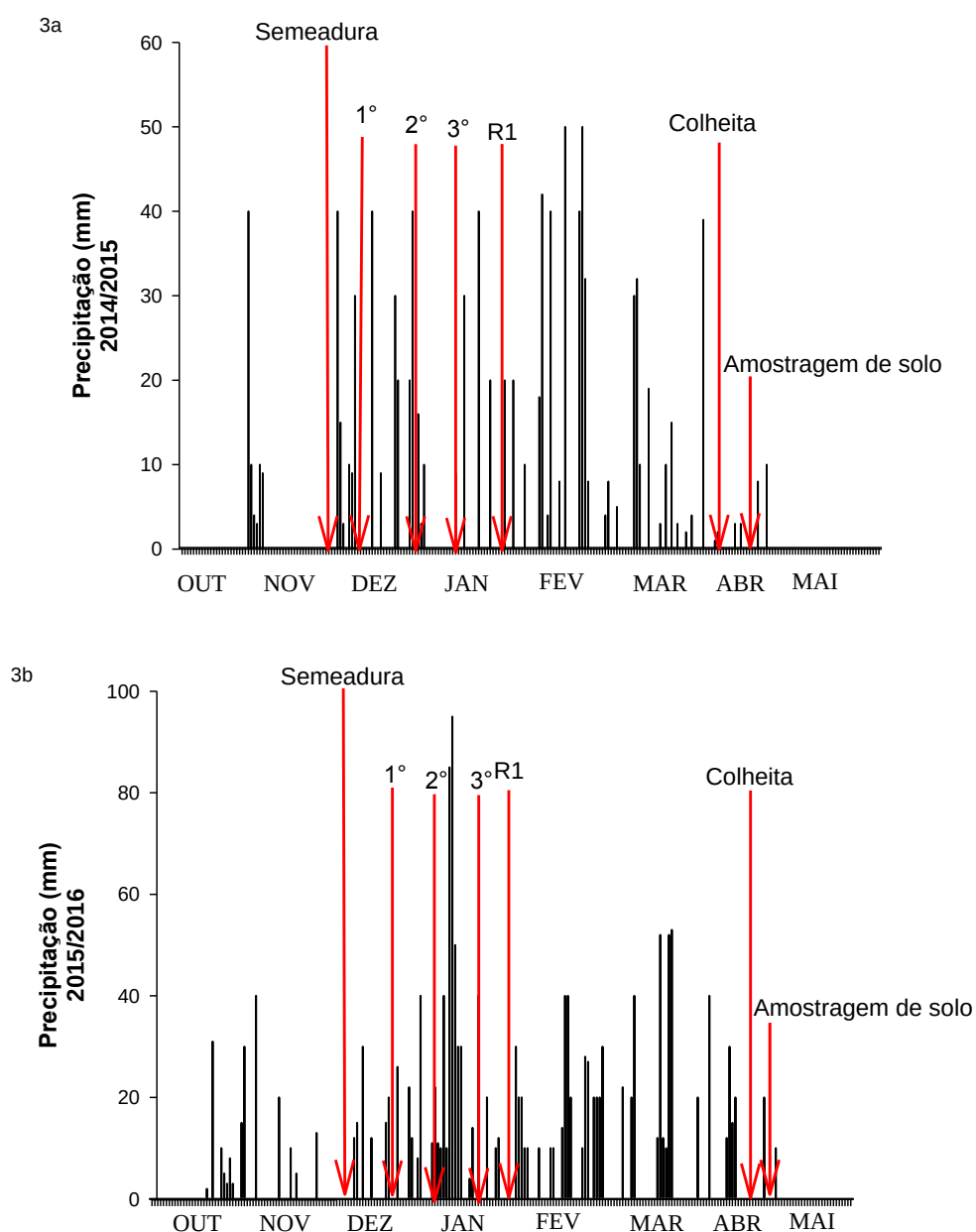


Figura 3. Precipitação pluvial (mm) na área experimental, no município de Frutal (MG) nos anos agrícolas 2014/2015 (1a) e 2015/2016 (1b). 1°, 2° e 3° aplicação de soro ácido de leite.

3.8 Análise dos dados

Os dados de análises foliares e de produção de grãos de cada ano foram submetidos à análise de variância conjunta e de regressão polinomial, em delineamento em blocos ao acaso, com cinco tratamentos e cinco repetições. Os atributos químicos do solo foram avaliados em parcelas subdivididas (doses de soro

como tratamentos principais e profundidades como tratamentos secundários), e de forma conjunta para comparação entre anos agrícolas (BARBOSA; MALDONADO Jr., 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos químicos do solo

a) Matéria orgânica

Em 2014/2015 e 2015/2016 houve diferença nos teores de matéria orgânica do solo (MOS) em relação às profundidades, com os maiores teores na camada de 0 a 20 cm. Não ocorreu significância para as doses de soro, assim como não ocorreu interação entre os tratamentos e profundidades (Tabela 7).

Tabela 7. Matéria orgânica no solo, em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Prof.	Anos agrícolas	Soro de leite (L ha ⁻¹)					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
Cm		MO g dm ⁻³					
0-20	2014/2015	17	18	17	18	18	17aA ²
20-40		14	15	15	15	14	14bA
40-60		14	13	13	13	12	13cA
0-20	2015/2016	17	19	16	17	19	18aA
20-40		14	13	14	14	15	14bA
40-60		13	13	13	14	14	13cA
				Teste F		CV%	
Soro	2014/2015	0,31 ^{ns}					9,60
Prof.		103,27 ^{**}					8,12
Soro X Prof.		0,74 ^{ns}					
Soro	2015/2016	1,78 ^{ns}					11,22
Prof.		88,58 ^{**}					8,27
Soro X Prof.		1,19 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	0,77 ^{ns}					9,00 ³
Anos agrícolas		1,81 ^{ns}					12,00 ⁴
Anos X Soro		0,03 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	0,45 ^{ns}					6,07
Anos agrícolas		0,14 ^{ns}					7,65
Anos X Soro		2,51 ^{ns}					
Soro	40-60 cm	3,34 ^{ns}					9,52
Anos agrícolas		2,01 ^{ns}					6,07
Anos X Soro		1,36 ^{ns}					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** e ^{ns}: significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. ³CV: 2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

Não ocorreu diferença significativa nos teores de MOS entre anos agrícolas, o que está associado à composição do soro e à aplicação do soro por apenas dois anos, pois admite-se que os teores da MOS estável do solo se alteram em intervalos de tempo maiores sob adoção de um mesmo manejo, como relatado por Barros et al. (2010), que determinaram aumento no teor de MO de 21 para 34 g dm⁻³, comparando solo não adubado e adubado com 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça, por 10 anos. Ainda, o soro de leite não possui celulose e lignina das plantas na sua composição, que são componentes essenciais da MOS.

b) Acidez ativa (pH CaCl₂) e acidez total (H+Al)

O maior valor de pH foi obtido na camada de 0-20 cm, nos dois anos de avaliação, resultado que está relacionado com a calagem (anos 1 e 2) e à aplicação de soro (Tabela 8). A calagem libera íons hidroxila (OH⁻) que reagem com os íons H⁺ da solução do solo, resultando em moléculas de água, o que permite a dissociação de H⁺ de coloides da fase sólida e a entrada de Ca²⁺ e Mg²⁺ no complexo de troca, aumentando o índice de saturação por bases e, por consequência, o valor de pH (ZANDONÁ et al., 2015).

No primeiro ano agrícola, os valores de pH na camada de 0-20 cm aumentaram, com o ponto de máximo em 5,0, obtido com aplicação de 134.000 L ha⁻¹ de soro de leite (Figura 4). No ano 2, apesar de os valores serem maiores, não houve efeito significativo em nenhuma das profundidades estudadas, houve apenas diferença entre os anos agrícolas, e esta diferença está relacionada a calagem realizada nos dois anos (Tabela 8).

O soro é um resíduo ácido, com pH, em média, igual a 4,0 (Tabela 3). Deste modo, a expectativa seria acidificação do solo, logo após a aplicação. No entanto, a avaliação dos atributos químicos do solo foram feitas após a colheita, condição na qual já ocorreu a maior parte das transformações do resíduo no solo. Resultados como este foram obtidos por Mantovani et al. (2015), trabalhando com aplicação de soro ácido de leite, e por Barros et al. (2010) que, aplicando 150 m³ ha⁻¹ de vinhaça – resíduo com pH em torno de 4,5 – também não obtiveram efeito na acidez ativa do solo. O soro provavelmente apresente comportamento no solo semelhante ao da vinhaça. Silva, Bono e Pereira (2014), estudando, em Neossolo Quartzarênico, doses

de 0, 100, 200, 400 e 800 m³ ha⁻¹ de vinhaça, observaram que ao longo de três anos agrícolas, a vinhaça aumentou o pH do solo de 5,0 para 5,4.

Tabela 8. Valores de pH (CaCl₂) no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Prof.	Anos agrícolas	Soro de leite (L ha ⁻¹)					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
Cm		pH CaCl ₂					
0-20	2014/2015	4,51	4,93	4,94	4,85	4,67	4,78aB ²
20-40		4,08	4,18	4,07	4,23	4,24	4,16bB
40-60		4,28	3,90	4,01	3,98	4,02	4,04bB
0-20	2015/2016	5,39	5,29	5,44	5,38	5,41	5,38aA
20-40		4,77	4,80	4,97	4,71	4,75	4,80bA
40-60		4,64	4,67	4,86	4,65	4,75	4,71bA
				Teste F		CV%	
Soro	2014/2015	0,18 ^{ns}					5,53
Prof.		25,45 ^{**}					9,10
Soro X Prof.		0,95 ^{ns}					
Soro	2015/2016	0,85 ^{ns}					6,09
Prof.		30,94 ^{**}					6,58
Soro X Prof.		0,13 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	0,83 ^{ns}					8,04 ³
Anos agrícolas		42,77 ^{**}					7,04 ⁴
Anos X Soro		0,71 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	0,19 ^{ns}					7,33
Anos agrícolas		72,45 ^{**}					7,48
Anos X Soro		0,63 ^{ns}					
Soro	40-60 cm	0,69 ^{ns}					5,28
Anos agrícolas		67,58 ^{**}					4,66
Anos X Soro		1,78 ^{ns}					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns} e ^{**}: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. ³CV:2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

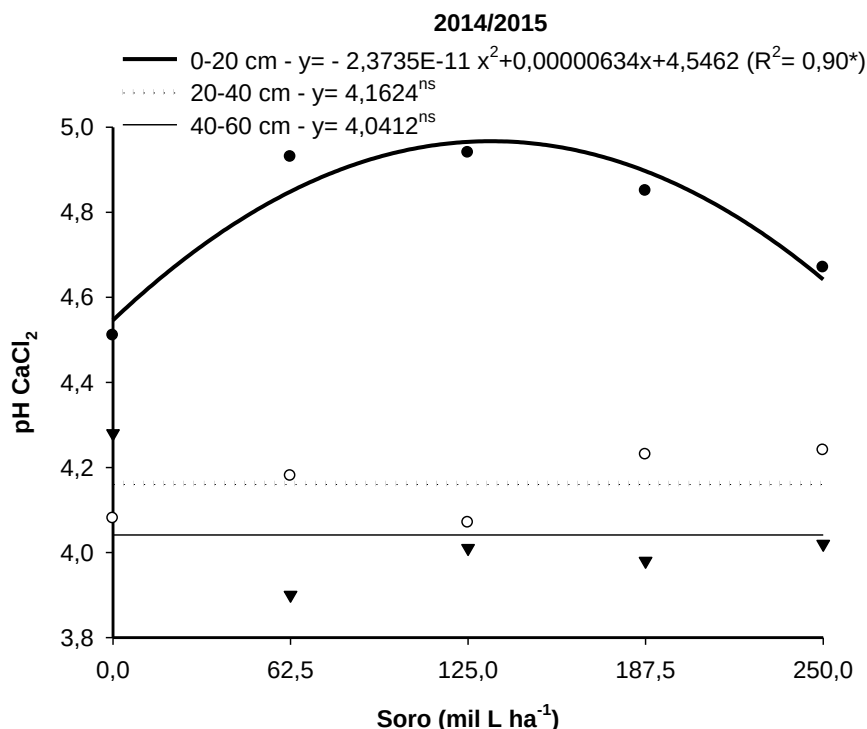


Figura 4. Valores de pH ($CaCl_2$) no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, no ano agrícola 2014/2015, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.* e^{ns}: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

A acidez potencial foi menor na profundidade de 0-20 cm nos dois anos agrícolas (Tabela 9), devido ao consumo de H^+ e precipitação de Al^{3+} pela aplicação de calcário. No ano 1, nesta camada, os tratamentos com soro influenciaram nos valores de $H+Al$, com efeito quadrático e redução inicial de $5,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. O efeito do soro no $H+Al$ na profundidade de 0-20 cm, no primeiro ano agrícola, é inverso ao que foi descrito para o valor de pH, e o consumo dos H^+ de reserva, componentes do ($H+Al$) é, na verdade, a causa da variação observada no valor de pH (Tabela 8).

Em 2015/2016 não houve efeito das doses de soro ácido de leite em relação aos valores da acidez potencial no solo (Tabela 9), mas foram observados menores teores de $H+Al$ relacionados ao efeito residual da calagem, e da aplicação do soro, como citado anteriormente. Nas demais profundidades não houve efeito significativo (Tabela 9 e Figura 5). Houve diferença significativa entre os anos agrícolas em todas as profundidades avaliadas, em decorrência do manejo proposto do solo, e em função da adição de bases ao solo com as doses de soro e com a calagem.

Tabela 9. Acidez potencial, no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Prof.	Anos agrícolas	Soro de leite (L ha ⁻¹)					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
cm		H+Almmol _c dm ⁻³					
0-20	2014/2015	28	24	23	23	30	26bB ²
20-40		29	29	31	28	28	29aB
40-60		27	29	29	28	28	28aB
0-20	2015/2016	20	20	18	19	19	19bA
20-40		23	24	27	28	23	25aA
40-60		22	23	23	26	24	23aA
				Teste F		CV%	
Soro	2014/2015	0,48 ^{ns}				16,72	
Prof.		6,34 ^{**}				12,39	
Soro X Prof.		1,70 ^{ns}					
Soro	2015/2016	0,36 ^{ns}				24,90	
Prof.		22,60 ^{**}				14,09	
Soro X Prof.		1,81 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	2,48 ^{ns}				19,36 ³	
Anos agrícolas		38,35 ^{**}				17,93 ⁴	
Anos X Soro		0,73 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	1,22 ^{ns}				9,80	
Anos agrícolas		12,31 ^{**}				19,95	
Anos X Soro		0,89 ^{ns}					
Soro	40-60 cm	0,36 ^{ns}				39,50	
Anos agrícolas		163,67 ^{**}				21,54	
Anos X Soro		0,56 ^{ns}					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{**} e ^{ns}: significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. ³CV: 2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

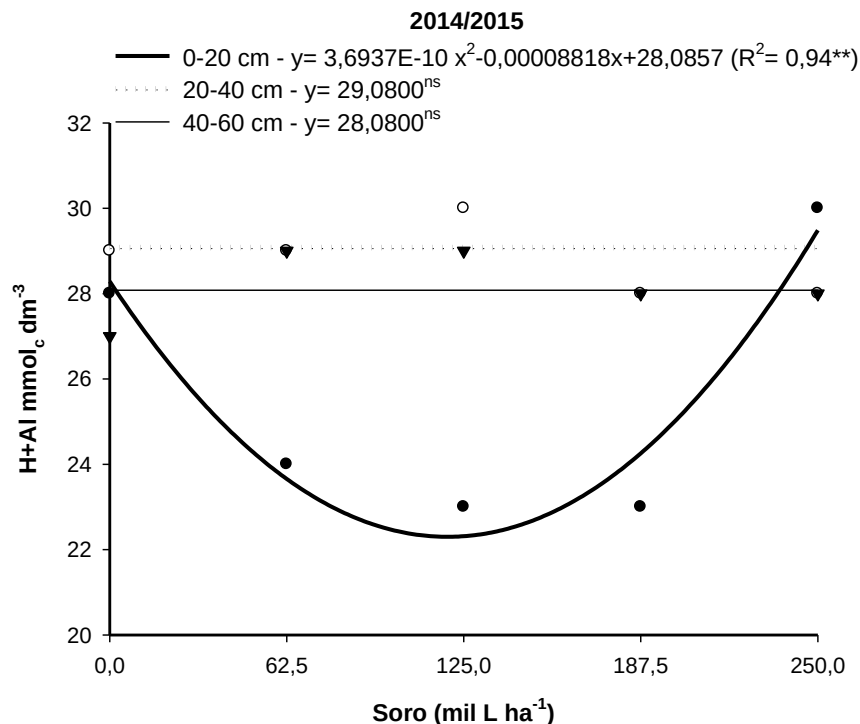


Figura 5. Acidez potencial no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, no ano agrícola 2014/2015, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. ****** e **^{ns}**: significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

c) N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻

Os teores de amônio variaram em função das profundidades no primeiro ano (Tabela 10). Em 2014/2015 os teores de amônio foram maiores na profundidade de 20-40 cm, e semelhantes nas camadas de 0-20 e 40-60 cm (Tabela 10). Em 2015/2016 os teores de N-NH₄⁺ não diferiram estatisticamente do primeiro ano, nas camadas de 0-20 e 40-60 cm. Apenas na profundidade de 20-40 cm houve decréscimo de 6 mg dm⁻³, em média, quando se faz a comparação com os dados do primeiro ano de avaliação (Tabela 10).

Tabela 10. Amônio no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Prof.	Anos Agrícolas	Soro de leite (L ha ⁻¹)					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
cm		N-NH ₄ ⁺ mg dm ⁻³					
0-20	2014/2015	5,73	10,86	11,58	8,49	7,21	8,78bA ²
20-40		5,86	19,78	11,77	7,27	33,25	15,59aA
40-60		7,22	4,89	18,47	7,21	6,51	8,86bA
0-20	2015/2016	9,93	10,03	9,11	8,17	10,24	9,49aA
20-40		8,58	9,22	8,98	10,19	11,43	9,68aB
40-60		6,76	7,61	7,48	9,60	7,81	7,85aA
				Teste F		CV%	
Soro	2014/2015	2,22 ^{ns}					27,12
Prof.		4,75*					23,54
Soro X Prof.		3,55**					
Soro	2015/2016	1,31 ^{ns}					26,66
Prof.		1,74 ^{ns}					19,11
Soro X Prof.		0,37 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	0,73 ^{ns}					67,51 ³
Anos agrícolas		0,33 ^{ns}					55,75 ⁴
Anos X Soro		0,62 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	1,13 ^{ns}					23,,12
Anos agrícolas		2,30 ^{ns}					47,37
Anos X Soro		43,05**					
Soro	40-60 cm	0,89 ^{ns}					31,39
Anos agrícolas		0,16 ^{ns}					48,26
Anos X Soro		7,33**					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e **: não significativo e significativo a 5 e 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. Na análise estatística os dados foram transformados em -log (x+1). ³CV: 2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

O soro resultou, no primeiro ano, em aumento linear no teor de N-NH₄⁺ na profundidade de 20-40 cm (Figura 6). Este resultado está relacionado possivelmente a menor concentração de oxigênio nesta camada, que proporcionou maiores teores de N-NH₄⁺ e menor nitrificação. Queiroz (2013), após 30 dias da aplicação de 62.500 L ha⁻¹ de SL, obteve aumento no teor de N-NH₄⁺ na profundidade de 20-40 cm, em Latossolo Vermelho de textura média. Rodrigues et al. (2011), trabalhando com resíduo líquido de laticínios, também obtiveram aumento de N-NH₄⁺ até a camada de 40-60 cm, aos 30 dias após a aplicação de 56.000 L ha⁻¹ do resíduo. No presente caso, nas profundidades de 0-20 e 40-60 cm, após 100 dias de aplicação, não houve efeito das doses de soro no N-NH₄⁺ e no ano 2, não houve efeito do SL no teor de N-NH₄⁺. No segundo ano, as condições de precipitação foram melhores, o que,

combinado a altas temperaturas e maiores valores de pH (Tabela 10), pode ter resultado em aumento na taxa de nitrificação do N do soro.

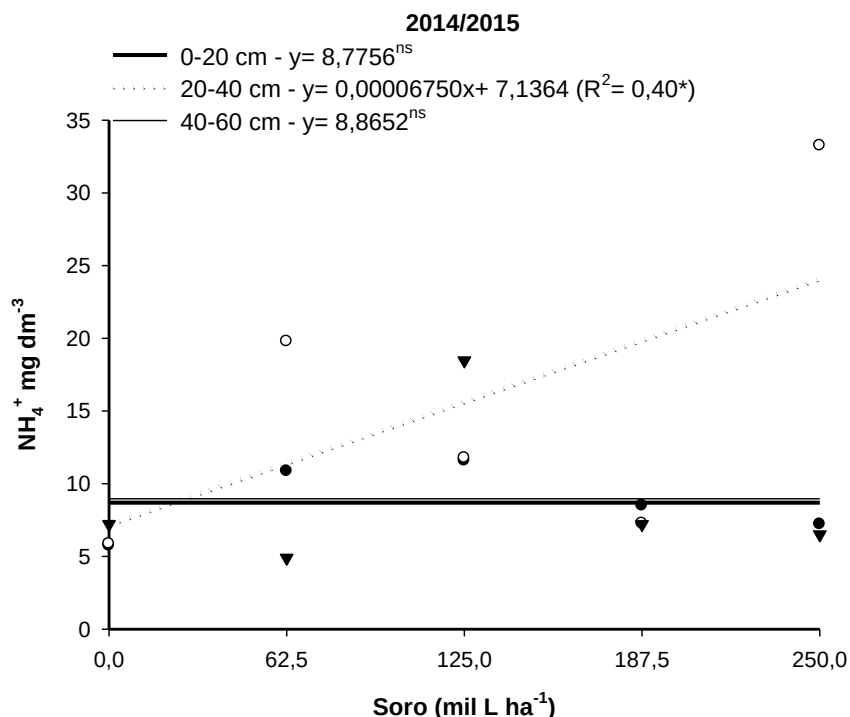


Figura 6. N-amônio no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, no ano agrícola 2014/2015, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.*^{ns}: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Para $N-NO_3^-$ houve efeito de interação entre doses de soro e profundidades no ano 1. Neste ano, os teores de nitrato foram maiores em cerca de $5,5 \text{ mg dm}^{-3}$ nas camadas de 20-40 e 40-60 cm (Tabela 11).

Solos de textura média podem apresentar teores de nitrato maiores em camadas mais profundas, porque o nitrato é fracamente retido as cargas positivas do solo, o que favorece a mobilidade vertical do ânion. Ainda, no período entre a última aplicação de SL e a amostragem de solo, a precipitação foi de 624 mm, o que favorece a lixiviação (Tabela 6 e Figura 3), ao contrário do que foi observado por Queiroz (2013), que com aplicação de 62.500 L ha^{-1} de SL, relatou que não houve aumento dos teores de nitrato até a profundidade de 40-60 cm com precipitação pluvial no período de 400 mm.

Tabela 11. Nitrato no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Prof.	Anos Agrícolas	Soro de leite (L ha ⁻¹)					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
cm		N-NO ₃ ⁻ mg dm ⁻³					
0-20	2014/2015	12,18	12,90	13,48	5,81	17,96	12,47bA ²
20-40		6,73	14,47	11,17	29,26	31,65	18,66aA
40-60		12,41	15,40	20,74	18,52	18,80	17,18aA
0-20	2015/2016	5,35	4,84	2,95	5,32	8,75	5,48aB
20-40		5,69	5,15	5,75	5,51	5,66	5,56aA
40-60		4,41	3,19	3,55	6,79	2,90	4,16aB
				Teste F		CV%	
Soro	2014/2015	6,06**					20,02
Prof.		8,01**					13,42
Soro X Prof.		6,96**					
Soro	2015/2016	2,28 ^{ns}					13,92
Prof.		0,96 ^{ns}					35,90
Soro X Prof.		0,79 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	2,06 ^{ns}					68,10 ³
Anos agrícolas		16,02**					42,04 ⁴
Anos X Soro		1,49 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	0,99 ^{ns}					27,05
Anos agrícolas		7,22 ^{ns}					63,87
Anos X Soro		14,99**					
Soro	40-60 cm	0,98 ^{ns}					36,51
Anos agrícolas		63,52**					64,75
Anos X Soro		1,49 ^{ns}					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}, e **: não significativo e significativo 1% de probabilidade, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. Na análise estatística os dados foram transformados em -log (x+1). CV: 2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

No primeiro ano, o soro forneceu ao solo 0; 106,25; 212,50; 318,75 e 425,00 kg ha⁻¹ de N, predominantemente na forma orgânica (Tabelas 3 e 4). Considerando a taxa de mineralização do N do soro determinada por Kuhn (2010), equivalente a 50% em 126 dias, seriam disponibilizados 0, 53, 106, 159 e 212 kg ha⁻¹ de N no solo, que correspondem a 0, 59, 117, 176 e 235 % do nitrogênio recomendado por Raij e Cantarella (1997) para a cultura de milho para grãos, com meta de produtividade de 6 a 8 t ha⁻¹, e levando em consideração a classe de resposta média, ou seja, 90 kg ha⁻¹ de N.

Deste modo, com os dados de N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ do solo obtidos tem-se que após 100 dias da aplicação ainda havia efeito das doses de soro nas formas de N-mineral do solo, particularmente na camada de 0-20 cm no ano 1 do experimento

(Figuras 6 e 7), o que está associado a menor precipitação pluvial neste ano. O SL apresenta relação C/N baixa (Tabela 3), e por isso a imobilização não é esperada. Porém, ele possui na sua composição proteínas de extensas cadeias ramificadas, entre elas, α -lactalbumina, que é precursora da lactose. A lactose é um dissacarídeo de degradação rápida, que pode levar ao rápido crescimento da comunidade microbiana do solo, com possibilidade de consumo de todo o N do soro e ainda, N-NH_4^+ e N-NO_3^- do solo (BRASIL et al., 2015).

Com base na análise de regressão, o soro resultou em aumento linear de até $2,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de N-NO_3^- em 2014/2015, na camada de 20-40 cm, e efeito quadrático de redução de $3,6 \text{ mg dm}^{-3}$, quando aplicada a dose de $100.848 \text{ L ha}^{-1}$ em 2015/2016, na profundidade de 0-20 cm (Figuras 7a e 7b). Logo em seguida à diminuição do N-NO_3^- na camada de 0-20 cm, que foi em função de maior imobilização N, observou-se aumento a partir da dose de $187.500 \text{ L ha}^{-1}$, em razão do maior fornecimento de N-mineral com as maiores doses (Tabela 4 e Figura 7b). A diferença foi de $5,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de N-NO_3^- entre o ponto de mínimo e a estimativa do ponto máximo.

Entre os anos agrícolas, ocorreu diferença significativa entre as profundidades de 0-20 e 40-60 cm e houve interação entre as doses de soro de leite na profundidade de 20-60 cm em 2015/2016 (Tabela 11). Não se observou, pelo teste F, diferenças entre os tratamentos, havendo apenas diferença entre os anos agrícolas, com maiores teores no ano 1 devido à menor precipitação (Tabela 11).

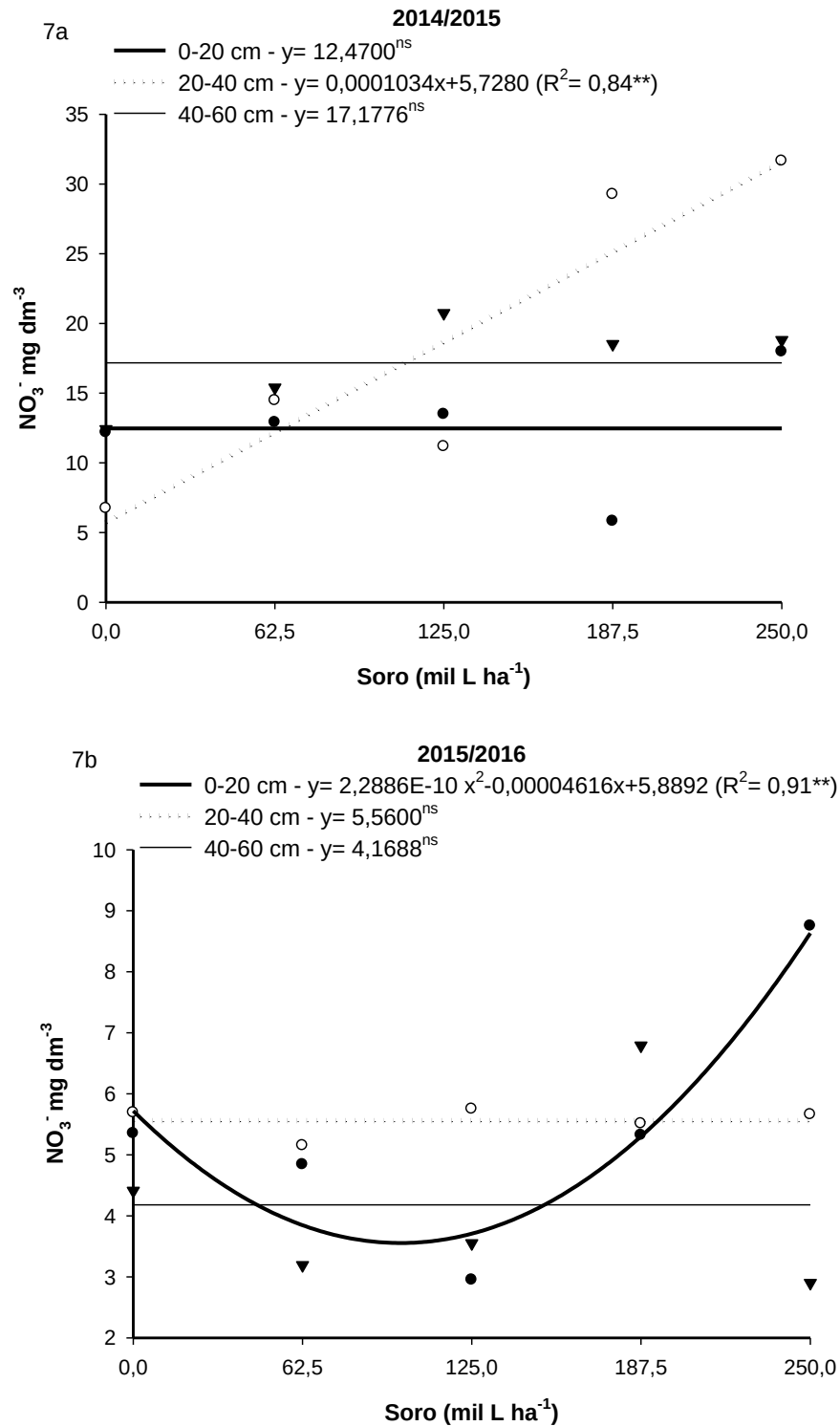


Figura 7. N-nitrato no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 (8a) e 2015/2016 (8b), nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. ** e^{ns}: significativo a 1% e não significativo, respectivamente.

d) Bases trocáveis

Houve variação dos teores de K^+ no solo com as doses de soro e as profundidades, nos dois anos de avaliação, com interação entre as doses de soro e as profundidades no primeiro ano (Tabela 12). Em 2014-2015, a adubação com soro ácido aumentou os teores de potássio no solo, na camada de 0-20 cm, de muito baixo (testemunha) para teor baixo, ou seja, um acréscimo de $0,74 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (55%) com aplicação de 62.500 L ha^{-1} de soro, e para teor médio, com aumento médio de $2,24 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (73%), com aplicação das doses maiores (Tabela 12). Com a maior dose, o teor de K^+ no solo passou de muito baixo para baixo, na camada de 20-40 cm (Tabela 12), o que evidencia movimento vertical do íon.

Tabela 12. Potássio trocável no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Prof.	Anos agrícolas	Soro de leite (L ha^{-1})					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
cm		$K^+ \text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$					
0-20	2014/2015	0,60	1,34	1,94	2,40	2,38	1,73aA ²
20-40		0,44	0,78	0,86	0,78	1,02	0,78bA
40-60		0,44	0,50	0,60	0,54	0,62	0,54cA
0-20	2015/2016	0,52	0,54	1,10	1,40	1,82	1,07aB
20-40		0,40	0,46	0,82	0,84	1,20	0,79bB
40-60		0,38	0,46	1,02	1,04	1,08	0,74bB
		Teste F					CV%
Soro	2014/2015	7,81**					46,39
Prof.		124,71**					27,81
Soro X Prof.		9,06**					
Soro	2015/2016	22,89**					37,00
Prof.		10,89**					31,00
Soro X Prof.		2,12 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	13,01 ^{ns}					32,69 ³
Anos agrícolas		16,75 ^{ns}					25,43 ⁴
Anos X Soro		1,62 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	7,81**					33,01
Anos agrícolas		0,15 ^{ns}					38,64
Anos X Soro		1,15 ^{ns}					
Soro	40-60 cm	2,16 ^{ns}					18,04
Anos agrícolas		4,16 ^{ns}					31,81
Anos X Soro		5,34**					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ** e ^{ns}: significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. ³CV: 2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

No primeiro ano agrícola, o efeito das doses de soro no teor de K^+ foi quadrático, com ponto máximo de $2,4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ na dose de $250.000 \text{ L ha}^{-1}$ na camada de 0-20 cm. Na camada de 20-40 cm o aumento foi linear e, na camada de 40-60 cm, não houve variação significativa (Figura 8a). A ausência de efeito das doses de soro no teor de K^+ na camada de 40-60 cm indica que a mobilização vertical ocorreu apenas até a camada de 20-40 cm, o que está associado à precipitação pluvial baixa neste ano (Figura 3). Em anos com precipitação normal, considerando a CTC baixa do solo, $37 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 2), é esperada maior mobilidade do K aplicado em superfície. Este efeito ocorreu no segundo ano (2015/2016), em que os teores de K^+ aumentaram de forma linear nas três camadas, 0-20, 20-40 e 40-60 cm (Figura 8b).

Em 2015/2016, as aplicações de soro foram feitas entre 15 de dezembro e 15 de janeiro e, neste período a precipitação foi de 706 mm. No ano anterior a precipitação no intervalo das aplicações de soro foi de 189 mm (Tabelas 5 e 6 e Figura 3). Qaryouti et al. (2015) obtiveram resultados semelhantes quando aplicaram águas residuárias da indústria de alimentos, e concluíram que o K não foi lixiviado profundamente no perfil do solo devido ao uso de irrigação por gotejamento, com a dose de $150.000 \text{ L ha}^{-1}$.

O teor de K foi cerca de três vezes maior na profundidade de 0-20 cm com relação à camada de 40-60 cm e também em relação ao teor inicial da área, que era de $0,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Tabela 2). No ano de 2015/2016, ocorreu diferença entre as profundidades, com maior teor de K^+ na camada de 0-20 cm. Neste caso foram observados teores de K^+ classificados como baixos, a partir da aplicação de $125.000 \text{ L ha}^{-1}$ de soro, em todas as profundidades (Tabela 12). Em 2015/2016 os teores de K^+ foram menores do que no ano anterior, provavelmente devido às condições mais favoráveis para lixiviação.

No ano 2 houve, possivelmente, aumento dos teores de K^+ no solo em profundidades abaixo de 60 cm, devido ao movimento vertical do nutriente. O K^+ é a base mais fracamente retida aos colóides do solo, em relação ao Ca^{2+} e ao Mg^{2+} (YAMADA; ROBERTS, 2005), e na área do experimento havia um conjunto de fatores favoráveis a perda por lixiviação: baixos teores de argila, MO e CTC baixas (Tabela 2), aplicação de gesso, alta permeabilidade do solo e, no ano de 2015/2016, grande volume de chuvas durante o ciclo da cultura.

No primeiro ano, o soro forneceu 0, 125, 250, 375 e 500 kg ha^{-1} de K, e no segundo ano 0, 143, 287, 431 e 575 kg ha^{-1} (Tabela 4). Estas doses corresponderam a aplicação de 0, 150, 300, 400 e 600 kg ha^{-1} de K_2O (ano 1) e 0, 172, 345, 517 e 690

kg ha⁻¹ de K₂O (ano 2) (Tabela 4). Como no primeiro ano as quantidades de K aplicadas e a precipitação pluvial foram menores, as perdas de K no segundo ano foram maiores.

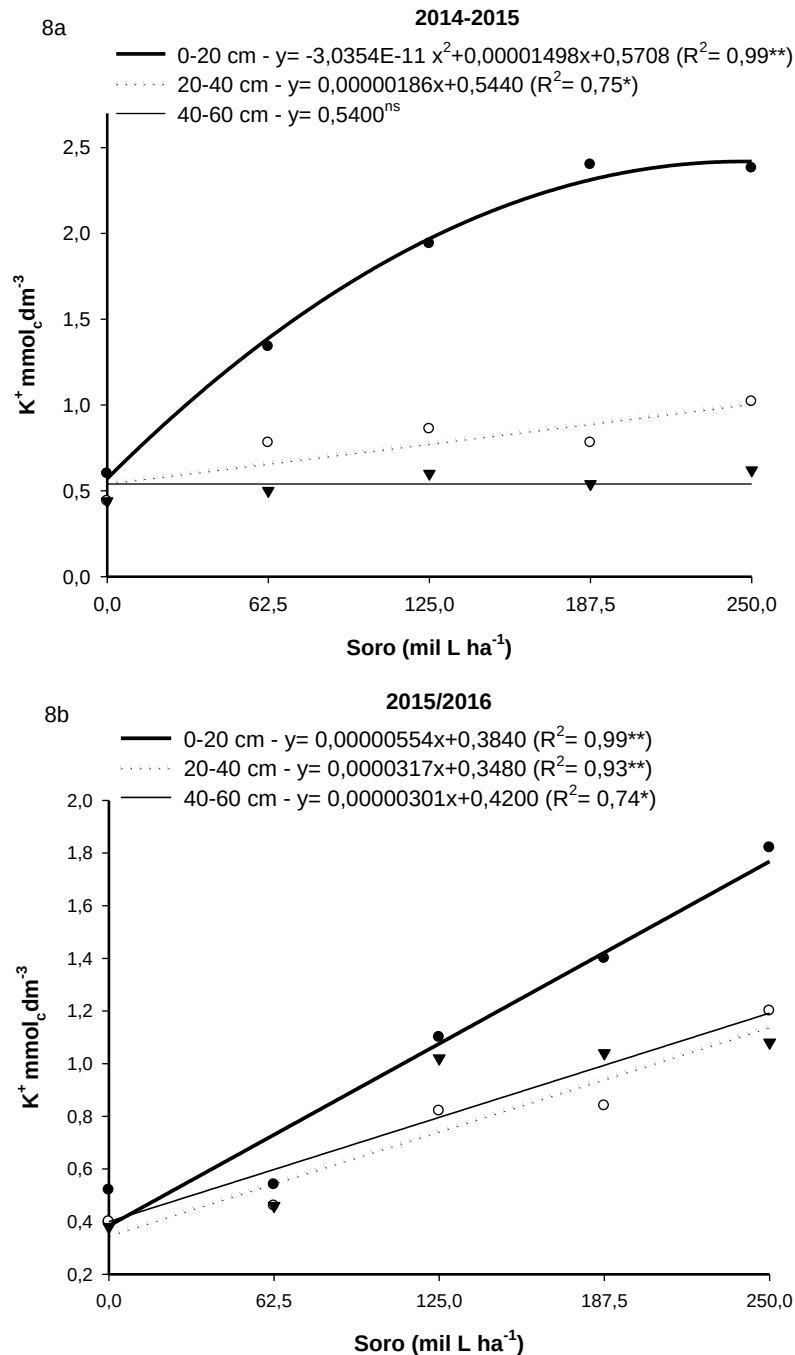


Figura 8. Potássio trocável no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 (9a) e 2015/2016 (9b), nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. **, * e ^{ns}: significativo a 1 e 5% e não significativo, respectivamente.

No caso do Ca^{2+} , os teores na camada de 0-20 cm passaram de 4 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (Tabela 2), para 16 e 22 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, respectivamente (Tabela 13). Entre os anos agrícolas, na camada de 0-20 cm, a diferença foi de 27%, maior em 2015/2016 (Tabela 13). No ano agrícola de 2015/2016 não ocorreu efeito significativo das doses de soro ácido de leite, em relação aos teores de Ca^{2+} . Entretanto, houve diferença entre as profundidades, pois os teores do nutriente foram maiores na profundidade de 0-20 cm do que nas camadas de 20-40 e 40-60 cm, com diferença média de 43% (Tabela 13).

Tabela 13. Cálcio trocável no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Prof.	Anos agrícolas	Soro de leite (L ha ⁻¹)					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
cm		Ca ²⁺ mmol _c dm ⁻³					
0-20	2014/2015	11	17	18	17	17	16aB ²
20-40		5	6	7	8	7	7bB
40-60		5	3	4	4	5	4bB
0-20	2015/2016	21	22	22	21	22	22aA
20-40		13	13	11	14	13	13bA
40-60		10	12	13	12	13	12bA
				Teste F		CV%	
Soro	2014/2015	1,87 ^{ns}				39,44	
Prof.		85,39**				37,35	
Soro X Prof.		1,26 ^{ns}					
Soro	2015/2016	0,12 ^{ns}				25,47	
Prof.		39,52**				26,28	
Soro X Prof.		0,27 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	1,29 ^{ns}				26,40 ³	
Anos agrícolas		20,52**				22,44 ⁴	
Anos X Soro		0,95 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	1,05 ^{ns}				20,74	
Anos agrícolas		100,04**				26,37	
Anos X Soro		0,77ns					
Soro	40-60 cm	0,48 ^{ns}				59,07	
Anos agrícolas		167,07**				26,83	
Anos X Soro		0,52 ^{ns}					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}, **: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. ³CV: 2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

Os aumentos de Ca^{2+} foram provenientes da calagem realizada nos dois anos agrícolas e da aplicação de gesso no ano 1, e das doses de soro. Com a aplicação do soro foram fornecidos: 0; 81,25; 162,5; 243,75 e 325 kg ha^{-1} de Ca (Tabela 4), o que

levou ao aumento de cerca de 35% na camada de 0-20 cm no primeiro ano, em relação ao tratamento testemunha (Tabela 13). Este resultado é oposto ao apresentado por Mantovani et al. (2013), que ao aplicar 200.000 L ha⁻¹ de soro ácido de leite, não obtiveram efeito significativo no teor de Ca na camada de 0-20 cm.

Os teores de Ca²⁺ na camada de 0-20 cm (ano 1) foram influenciados pela adição do soro de leite (Figura 9), obtendo-se efeito quadrático com máximo de 18,4 mmol_c dm⁻³ de Ca²⁺ na dose de 162.420 L ha⁻¹. Santos et al. (2013) obtiveram aumento dos teores de Ca²⁺ no solo na profundidade de 0-20 cm, trabalhando com aplicação de resíduo líquido de laticínios. O soro não proporcionou aumento dos teores de Ca²⁺ nas profundidades de 20-40 e 40-60 cm (Figura 9).

O cálcio presente no soro de leite pode estar livre nas micelas de caseínas, mas a maior parte está ligada à proteína α -lactoalbumina. Assim, a disponibilidade de Ca²⁺ do soro depende da mineralização, que é função de condições de temperatura e umidade, e de valores de pH próximos de 6,6 - *in natura* (POPPIA et al., 2010), além de outros fatores. Como os valores de pH do solo estavam próximos de 5,0 – CaCl₂ (Tabela 8), este fator pode ter limitado a mineralização.

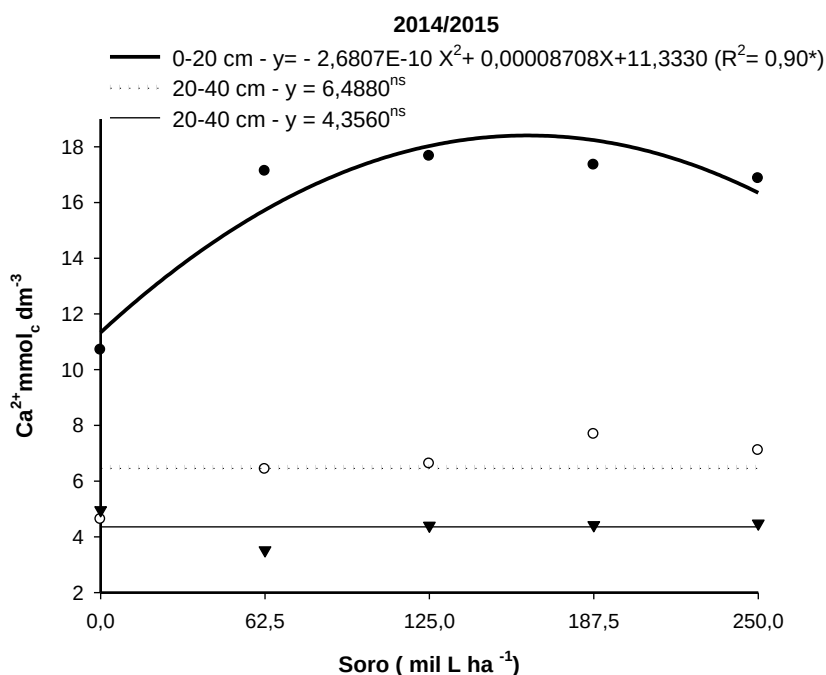


Figura 9. Cálcio trocável no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, no ano agrícola 2014/2015, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.* e ^{ns}: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Os aumentos dos teores de Mg^{2+} , no primeiro ano (Tabela 14) estão associados primeiramente ao uso de calcário (RODRIGHERO; BARTH; CAIRES, 2015), e segundo pela contribuição do soro de leite, com o fornecimento de 0; 6,25; 12,5; 18,7 e 25 kg ha⁻¹ (Tabela 4). Maiores teores deste nutriente no solo com aplicação de resíduo de laticínios também foram observados por Santos, Santos e Silva (2013), ao contrário de Mantovani et al. (2013), que não obtiveram alteração nos teores de Mg^{2+} no solo, devido a baixa concentração deste nutriente no resíduo orgânico.

Tabela 14. Magnésio trocável no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Prof.	Anos agrícolas	Soro de leite (L ha ⁻¹)					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
cm		Mg ²⁺ mmolc dm ⁻³					
0-20	2014/2015	2	4	4	3	3	3aB ²
20-40		1	2	2	2	1	2bB
40-60		1	1	1	1	1	1bB
0-20	2015/2016	6	6	5	5	5	5aA
20-40		4	4	4	3	4	4bA
40-60		4	4	4	4	4	4bA
				Teste F		CV%	
Soro	2014/2015	1,71 ^{ns}					33,88
Prof.		64,01 ^{**}					36,70
Soro X Prof.		0,89 ^{ns}					
Soro	2015/2016	0,94 ^{ns}					24,71
Prof.		20,51 ^{**}					26,22
Soro X Prof.		0,99 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	0,49 ^{ns}					27,78 ³
Anos agrícolas		39,49 ^{**}					19,23 ⁴
Anos X Soro		1,69 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	0,34 ^{ns}					25,88
Anos agrícolas		6,04 ^{ns}					30,54
Anos X Soro		6,10 ^{**}					
Soro	40-60 cm	0,27 ^{ns}					35,45
Anos agrícolas		215,44 ^{**}					31,57
Anos X Soro		0,47 ^{ns}					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}, ^{**}: não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. CV: 2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

O incremento de Mg^{2+} na camada de 0-20 cm, nos anos de 2014/2015 e 2015/2016, foi de 2,16 e 4,36 mmol_c dm⁻³ (Tabela 14), respectivamente, quando comparados com a amostra inicial da área experimental, que era de 1 mmol_c dm⁻³ (Tabela 2). Pode-se ajustar o modelo quadrático na profundidade de 0-20 cm, no

primeiro ano agrícola, com máximo na dose de 150.204 L ha⁻¹. Nas camadas de 20-40 e 40-60 cm não houve diferença no teor de Mg²⁺ com as doses de soro (Figura 10). A não significância está associada a menor mobilidade vertical deste íon, particularmente em relação ao K⁺ (GHERI; FERREIRA; CRUZ, 2003).

Em 2015/2016, não ocorreu efeito das doses de soro ácido de leite em relação aos teores de Mg²⁺ (Tabela 14). Entre os anos agrícolas, ocorreu diferença significativa, como maiores teores de Mg²⁺ no segundo ano, nas camadas de 0-20 e 40-60 cm. Na camada de 20-40 cm houve interação entre as doses de soro e os anos agrícolas, evidenciando que o soro aumentou os teores de Mg²⁺ no primeiro ano. O magnésio possui comportamento semelhante ao do Ca²⁺, todavia está em menor concentração no resíduo aplicado no solo.

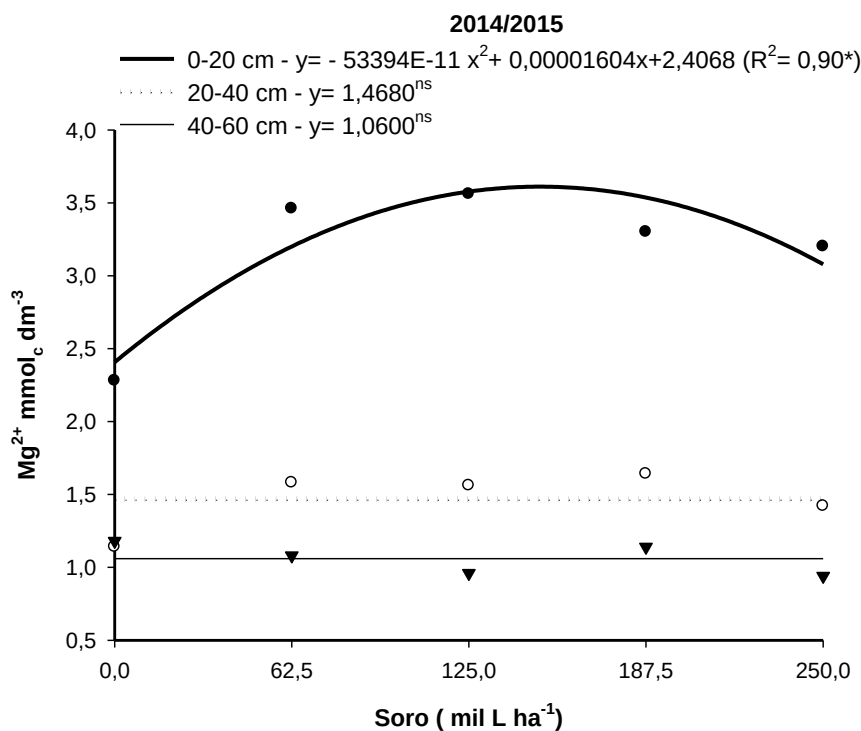


Figura 10. Magnésio trocável no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, no ano agrícola 2014/2015, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.* e ^{ns}: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Os teores de Na^+ no solo não variaram em função das doses de soro e profundidades, no ano agrícola 2014/2015 (Tabela 15). Raij (2017) menciona que os teores de Na^+ no solo devem estar abaixo de 5% da CTC, e no primeiro ano a saturação de Na^+ na CTC foi, em média, de 2,3% nos tratamentos sem soro, e de 2,5% nos tratamentos com soro (Tabela 15).

Tabela 15. Sódio trocável no solo, em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 120 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2016/2016.

Prof.	Anos agrícolas	Soro de leite (L ha ⁻¹)					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
cm		Na ⁺ mmol _c dm ⁻³					
0-20	2014/2015	0,88	0,92	0,88	0,90	1,04	0,94aB ²
20-40		0,86	1,08	0,84	0,94	1,00	0,92aB
40-60		0,90	0,78	0,82	1,08	1,02	0,92aB
0-20	2015/2016	0,22	0,36	0,42	0,30	0,56	0,37aA
20-40		0,20	0,38	0,46	0,26	0,42	0,34aA
40-60		0,12	0,44	0,28	0,40	0,38	0,32aA
Teste F							CV%
Soro	2014/2015	0,51 ^{ns}					38,80
Prof.		0,11 ^{ns}					11,37
Soro X Prof.		1,75 ^{ns}					
Soro	2015/2016	3,36*					31,43
Prof.		0,55 ^{ns}					24,45
Soro X Prof.		1,18 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	4,66 ^{ns}					16,10 ³
Anos agrícolas		120,66**					20,84 ⁴
Anos X Soro		0,64 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	1,55 ^{ns}					20,39
Anos agrícolas		104,65**					26,27
Anos X Soro		0,66 ^{ns}					
Soro	40-60 cm	1,36 ^{ns}					18,00
Anos agrícolas		63,70**					32,12
Anos X Soro		1,47 ^{ns}					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{ns}, ** e *: não significativo, significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. Na análise estatística os dados foram transformados em raiz (x+1). ³CV: 2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

Em 2015/2016 foi observado aumento linear dos teores de sódio no solo, em função das doses de soro, na camada de 0 a 20 cm (Tabela 15 e Figura 11). Entretanto, no segundo ano, a saturação de Na^+ na CTC foi menor que no primeiro, de 0,4 % no tratamento testemunha e 1% nos tratamentos com soro (Tabela 15). Nos

dois anos agrícolas foram consideradas as médias para o cálculo de saturação de sódio na CTC (ano 1= 40 mmol_c dm⁻³) e (ano 2 = 43 mmol_c dm⁻³). Resultados semelhantes foram obtidos por Queiroz (2013), sendo que os maiores valores, em média, foram registrados na camada de 0-20 cm. O sódio presente no resíduo aplicado (soro de queijo tipo requeijão), é do próprio leite, não tendo sido adicionado nenhum tipo de sal de sódio durante do processo de fabricação do queijo requeijão.

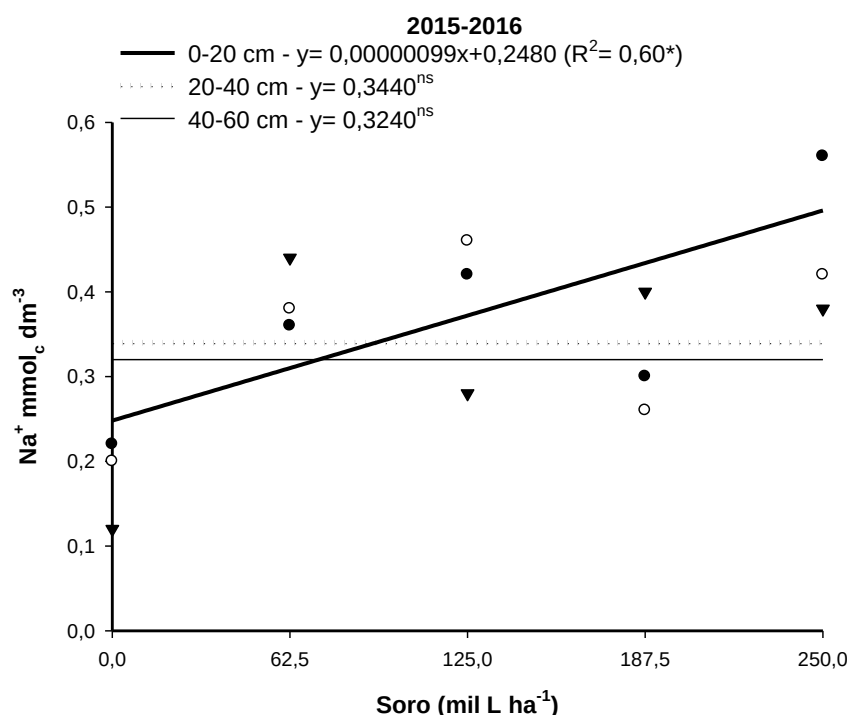


Figura 11. Sódio trocável no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, no ano agrícola 2015/2016, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm.* e ^{ns}: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

f) Índice de Saturação por bases - V%

Houve aumento dos valores de V% em todas as camadas avaliadas, resultando em acréscimo, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, de 31, 75 e 115%, quando se comparam com os resultados do primeiro ano (Tabela 16). Além disso, os valores de V apresentaram-se muito maiores em relação ao inicial, que era igual a 15 e 14%, ou seja, aumento de 67 e 74 % nas profundidades de 0-20 e 20-40, respectivamente (Tabelas 2 e 16).

Tabela 16. Índice de saturação por bases no solo, em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Prof.	Anos agrícolas	Soro de leite (L ha ⁻¹)					Médias ¹
		0	62.500	125.000	187.500	250.000	
cm		V%					
0-20	2014/2015	34	49	50	50	44	45aB ²
20-40		15	25	24	28	27	24bB
40-60		21	17	17	20	20	19bB
0-20	2015/2016	57	59	61	61	57	59aA
20-40		44	38	38	39	44	42bA
40-60		39	41	46	39	43	41bA
				Teste F		CV%	
Soro	2014/2015	2,90 ^{ns}					28,33
Prof.		86,76 ^{**}					25,27
Soro X Prof.		1,64 ^{ns}					
Soro	2015/2016	0,18 ^{ns}					22,05
Prof.		48,77 ^{**}					15,87
Soro X Prof.		0,75 ^{ns}					
Soro	0-20 cm	2,29 ^{ns}					17,66 ³
Anos agrícolas		34,40 ^{**}					12,29 ⁴
Anos X Soro		1,22 ^{ns}					
Soro	20-40 cm	0,41 ^{ns}					21,76
Anos agrícolas		24,55 ^{**}					21,87
Anos X Soro		2,65 ^{ns}					
Soro	40-60 cm	0,36 ^{ns}					39,65
Anos agrícolas		163,67 ^{**}					21,54
Anos X Soro		0,67 ^{ns}					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. ^{**} e ^{ns}: significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente. ²Letras minúsculas comparam as profundidades e maiúsculas comparam os anos agrícolas em cada profundidade. ³CV: 2014/2015. ⁴ CV: 2015/2016.

No ano 1, o soro resultou em efeito quadrático na profundidade de 0-20 cm com ponto máximo de valor de V= 52% na dose de 149.210 L ha⁻¹ (Figura 12). Os valores de V% acompanharam os resultados obtidos para acidez ativa e acidez total (Figuras 4 e 5), uma vez que foram observados aumentos dos valores de pH e redução dos cátions ácidos retidos a fase sólida do solo (Tabelas 8 e 9). Neste mesmo ano, o soro proporcionou aumento linear dos valores de V% na camada de 20-40 cm (Figura 12). Este resultado indica que houve mobilidade de bases trocáveis até esta camada e se comprova observando os resultados obtidos para K⁺, que neste ano, na profundidade de 20-40 cm aumentou no solo (Tabela 12 e Figura 8).

Em 2015/2016 não houve efeito das doses de soro ácido de leite nos valores de V%. Houve apenas diferença significativa entre as profundidades, com maiores

valores na camada de 0-20 cm. Entre os anos agrícolas ocorreu diferença em todas as profundidades e os maiores valores de V% ocorreram no segundo ano agrícola, consequência das doses de soro aplicadas no ano anterior e da calagem realizada nos dois anos agrícolas, que possivelmente contribuíram neste ano, não de forma significativa, mas acumulativa, proporcionando melhores condições de fertilidade do solo (Tabela 16).

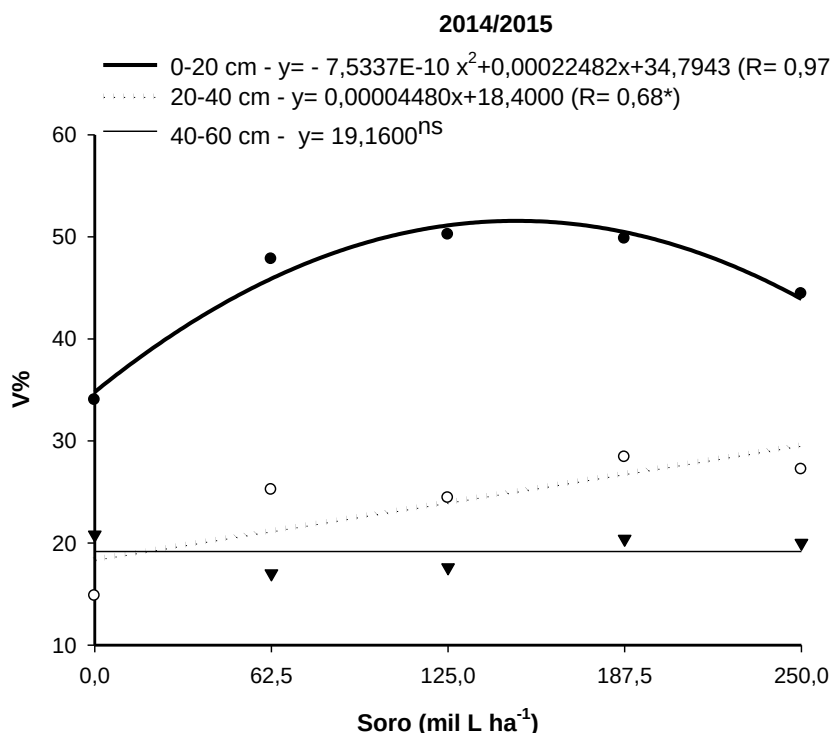


Figura 12. Índice de saturação por bases no solo em função de doses de soro ácido em cobertura, em amostras coletadas aos 100 dias após a última aplicação de soro, no ano agrícola 2014/2015, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm. **, * e ^{ns}: significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

4.2. Concentrações de nutrientes e sódio nas folhas de milho

As concentrações de N e P nas folhas de milho foram influenciadas pela aplicação das doses de soro ácido de leite (Tabela 17). No primeiro ano, as concentrações de N aumentaram linearmente com as doses de soro (Figura 13) e no caso do P houve também aumento linear, nos dois anos (Figura 14).

Os aumentos em função das doses de soro foram de 1,41, 1,81, 2,05 e 2,71 g kg⁻¹ de N e a diferença de P foi de 0,7 g kg⁻¹, comparando o tratamento testemunha com a maior dose de soro no ano 1 (Tabela 17). Gheri, Ferreira e Cruz (2003) também

relataram aumento na concentração de N da parte aérea do capim-tanzânia devido à aplicação de soro de leite.

Em 2015/2016 não houve efeito das doses de soro na concentração de N (Figura 13) e, na média das doses de soro, a concentração de N no segundo ano foi maior (Tabela 17). A concentração de N nas folhas é resultado do quanto a planta absorve do solo e de quanto de biomassa ela produz. Por isso, não necessariamente há relação direta entre o fornecimento e a concentração, porque pode ocorrer efeito de diluição, ou seja, a concentração de N na parte aérea das plantas diminui (ou não se altera) à medida que elas crescem, mesmo quando o suprimento de N não é limitante ao crescimento (PLÉNET; LEMAIRE, 1999).

As entradas de N no solo foram altas, maiores ou iguais a 400 kg ha⁻¹ de N com aplicação de 250.000 L ha⁻¹ de soro. Apesar disso, no primeiro ano a concentração de N nas folhas ficou abaixo da faixa considerada adequada (27,5 a 32,5 g kg⁻¹) para a cultura do milho, segundo Coelho et al. (2002). No segundo ano, as concentrações ficaram mais próximas do limite inferior da faixa, mas ainda abaixo do intervalo de suficiência. A diferença entre os anos agrícolas foi de 2,66 g kg⁻¹, maior no segundo ano (Tabela 17). No primeiro ano as condições para que houvesse efeito de diluição na concentração de N foram menores porque as plantas cresceram menos, limitadas pela precipitação pluvial nos meses de dezembro e janeiro (Figura 3a). Neste período, o estresse hídrico foi acentuado, devido às condições de precipitação somadas à característica de baixa capacidade de retenção de água do solo. A umidade do solo, além de limitar diretamente o crescimento da planta, também está associada a menor absorção de nutrientes e menor quantidade de N disponível, porque os processos de transformação e disponibilização de N são essencialmente microbianos (HAVLIN et al., 2005). Nos períodos em que não houve limitação de água, pode ter havido excesso de N, e parte significativa do N mineralizado pode ter lixiviado, uma vez que o teor de areia do solo, 730 g kg⁻¹ (Tabela 2) favorece as perdas.

Tabela 17. Nutrientes e sódio na folha de milho em função das doses de soro ácido de leite nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Anos Agrícolas		Nutr. e Na	Doses de soro (L ha ⁻¹)				Médias ¹	
			0	62.500	125.000	187.500	250.000	
			-----g kg ⁻¹ -----					
2014/2015		N	23,09	24,50	24,90	25,14	25,80	24,69b
		P	0,97	1,21	1,55	1,71	1,64	1,42b
		K	16,80	23,40	24,70	26,70	24,70	23,26a
		Ca	4,14	4,25	4,37	5,35	5,28	4,68a
		Mg	2,0	1,88	1,46	1,74	1,68	1,72a
		Na	3,63	4,12	4,12	4,63	4,35	4,61a
		Zn	11	12	12	12	18	13a
2015/2016		N	27,70	27,81	26,37	28,68	26,91	27,35a
		P	1,75	2,01	2,22	2,55	2,84	2,27a
		K	17,40	23,60	23,90	27,10	26,40	24,28a
		Ca	3,97	3,57	3,56	3,35	3,24	3,54b
		Mg	1,77	1,59	1,26	1,23	1,23	1,41b
		Na	1,87	2,07	2,07	1,89	2,27	2,32b
		Zn	12	15	12	12	12	12a
			Teste F				CV%	
Soro			1,24 ^{ns}				7,62 ²	
Anos Agrícolas	N		21,80 ^{**}				6,20 ³	
Soro X Anos			1,25 ^{ns}					
Soro			14,49 [*]				14,00	
Anos Agrícolas	P		106,09 ^{**}				10,12	
Soro X Anos			1,81 ^{ns}					
Soro			81,76 ^{**}				13,55	
Anos Agrícolas	K		0,08 ^{ns}				11,57	
Soro X Anos			0,19 ^{ns}					
Soro			0,21 ^{ns}				11,18	
Anos Agrícolas	Ca		9,11 ^{**}				5,63	
Soro X Anos			11,30 ^{**}					
Soro			12,33 ^{**}				17,67	
Anos Agrícolas	Mg		33,33 ^{**}				9,41	
Soro X Anos			0,71 ^{ns}					
Soro			2,24 ^{ns}				5,90	
Anos Agrícolas	Na		180,36 ^{**}				18,56	
Soro X Anos			3,10 [*]					
Soro			0,81 ^{ns}				20,56	
Anos Agrícolas	Zn		0,18 ^{ns}				12,10	
Soro X Anos			5,99 ^{**}					

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. *, ** e ^{ns}: significativo a 5 e 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente. ²(CV% - 2014/2015) e ³(CV% - 2015/2016).

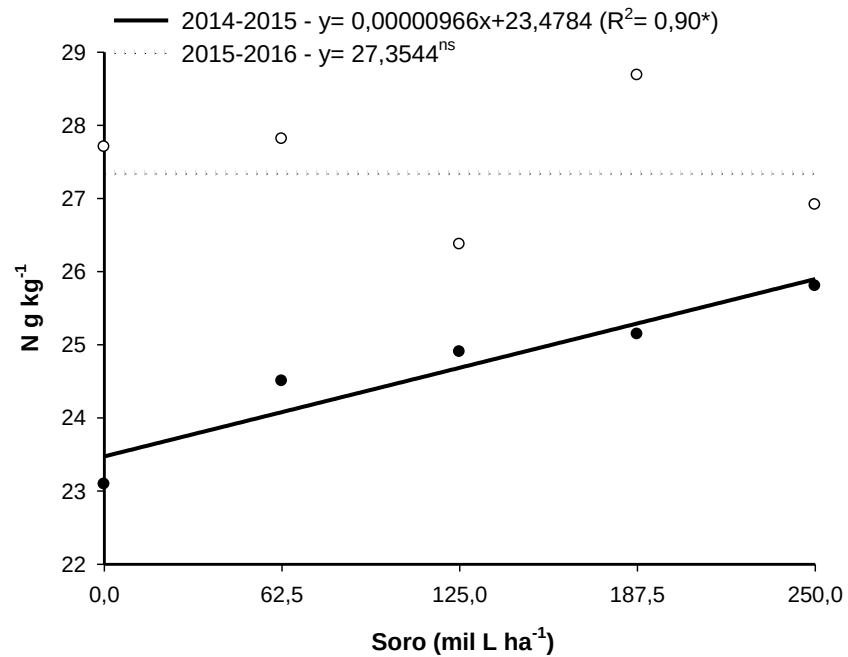


Figura 13. Nitrogênio nas folhas de milho em função das doses de soro ácido de leite nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016. * e ^{ns}: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

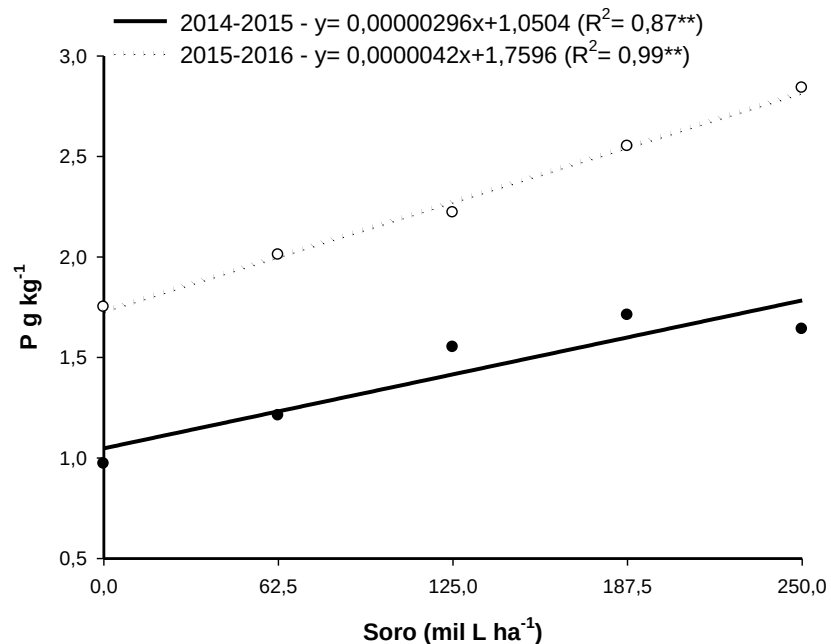


Figura 14. Fósforo nas folhas de milho em função das doses de soro ácido de leite nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016. ** significativo a 1% de probabilidade.

No ano agrícola 2015/2016 a possibilidade de efeito de diluição pode ter sido maior porque as plantas cresceram mais. Apesar disso, as concentrações foram compensadas porque as condições para mineralização do N do soro de leite foram mais favoráveis e porque deve ter havido efeito residual da aplicação feita no ano anterior.

No segundo ano do experimento as concentrações de P nas folhas de milho também aumentaram linearmente em função das doses de soro (Figura 14) e a diferença foi de $1,09 \text{ g kg}^{-1}$, quando comparado o tratamento testemunha com a dose de $250.000 \text{ L ha}^{-1}$ (Tabela 17).

A aplicação de soro, mais a adubação mineral com P não foram suficientes para resultar em concentrações de P adequadas nas folhas de milho, entre $2,5$ e $3,5 \text{ g kg}^{-1}$ (COELHO et al., 2002). Para este resultado devem ter contribuído também o efeito de diluição e, no caso, indisponibilização de P por adsorção. Resultados como este foram citados por Gheri, Ferreira e Cruz (2003) e por Santos, Santos e Silva (2013).

A concentração de K nas folhas foi semelhante nos dois anos de avaliação (Tabela 17). Todavia, observa-se aumento linear da concentração de K em função das doses de soro, nos dois anos agrícolas (Figura 15). As concentrações de K nas folhas nos tratamentos testemunha ficaram próximas da faixa considerada adequada para a cultura do milho, $17,5$ a $22,5 \text{ g kg}^{-1}$ (COELHO et al., 2002). Nos tratamentos com soro, a partir da dose de 62.000 L ha^{-1} foi observado acréscimo de cerca de 8 g kg^{-1} nos dois anos agrícolas. O SL contém altas concentrações de potássio, já na forma disponível para as plantas, sem necessidade de transformações microbianas para conversão em formas disponíveis, o que justifica os aumentos lineares obtidos (Tabela 17 e Figura 15).

No caso do Ca, os teores nas folhas de milho foram maiores no primeiro ano (Tabela 17), aumentando linearmente com as doses de soro ácido de leite (Figura 16). No entanto, no ano 2, houve decréscimo linear das concentrações de Ca nas folhas de milho em função das doses de SL, quando comparadas com o tratamento testemunha (Tabela 17 e Figura 16).

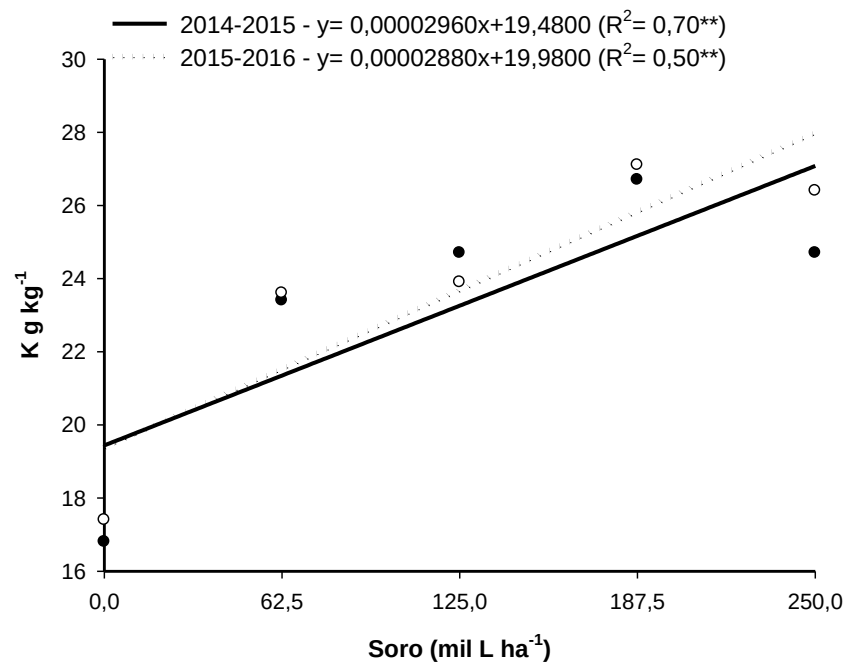


Figura 15. Potássio nas folhas de milho em função das doses de soro ácido de leite nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016. ** significativo a 1% de probabilidade.

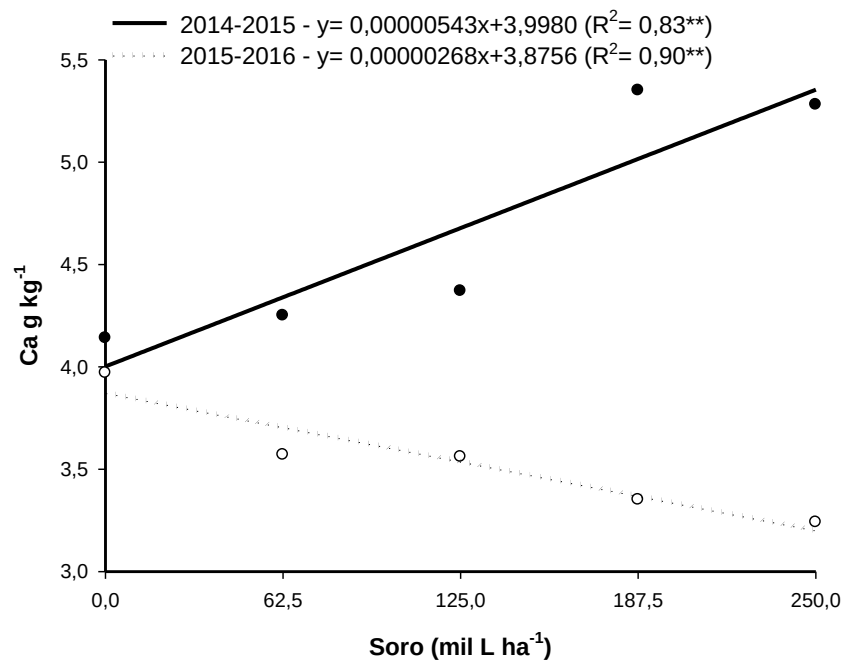


Figura 16. Cálcio nas folhas de milho em função das doses de soro ácido de leite nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016. ** significativo a 1% de probabilidade.

As concentrações de Ca nas folhas de milho ficaram pouco acima da faixa adequada e dentro da faixa adequada, nos anos 1 e 2, respectivamente. A faixa adequada, sugerida por Coelho et al. (2002), é de 2,3 a 4,0 g kg⁻¹ de Ca para a cultura do milho (Tabela 17). No primeiro ano, as concentrações de Ca foram maiores do que no segundo, também influenciadas pelo efeito de diluição causado pelo maior crescimento das plantas no segundo ano.

Em relação ao Mg, as concentrações foram maiores no primeiro ano, porém houve efeito linear decrescente, em função das doses de soro, nos dois anos agrícolas (Tabela 17 e Figura 17). O soro de leite não é um bom fornecedor de Mg. Além disso, há uma relação entre Mg e K que, no caso, pode ser importante, uma vez que o soro de leite apresenta alta concentração de K, o que pode fazer com que ocorra diminuição na absorção de Mg (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006) (Tabela 17). Em média, nos dois anos, a diminuição na concentração de Mg foi de aproximadamente 0,4 g kg⁻¹, em função das doses de soro e comparando com o tratamento testemunha. Apesar da diminuição, as concentrações de Mg no ano 1 ficaram dentro da faixa recomendada para o milho, de 1,5 a 4,0 g kg⁻¹ (COELHO et al., 2002).

As concentrações de Na também foram maiores no primeiro ano do que no segundo (Tabela 17). No primeiro ano, o soro resultou em ajuste quadrático nas concentrações de Na, com máximo na dose de 201.689 L ha⁻¹, e aumento linear crescente em 2015-2016 (Figura 18).

No primeiro ano, como citado anteriormente, o soro resultou em aumento médio de 0,6 g kg⁻¹ de Na em relação ao tratamento testemunha (Tabela 17), resultado semelhante aos obtidos por Queiroz (2013), que observou acréscimo de 0,42 g kg⁻¹ de Na com aplicação de 62.500 L ha⁻¹ de soro. Neste ano (2014/2015) as condições de precipitação foram mais propícias para os acúmulos deste elemento químico nas folhas de milho (Figura 3a). No segundo ano, as concentrações de Na foram, em média, 50% menores do que as obtidas no primeiro ano (Tabela 17). O Na⁺ presente no soro lixivia facilmente, particularmente em solos arenosos ou de textura média, o que diminui o seu potencial fitotóxico em solos como o que foi avaliado. Isso justifica porque, mesmo tendo ocorrido efeito quadrático e aumento linear nas concentrações de Na nas folhas de milho, houve diferença pequena entre o tratamento testemunha

e a maior dose de soro, de 0,7 e 0,4 g kg⁻¹ nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016, respectivamente (Tabela 17 e Figura 18).

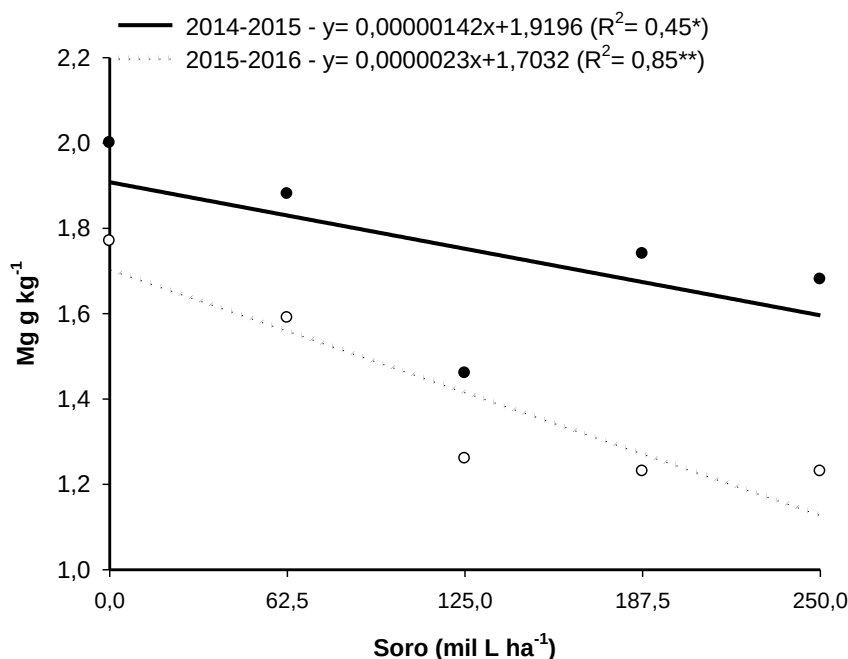


Figura 17. Magnésio nas folhas de milho em função das doses de soro ácido de leite nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016. ** e *significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

O sódio não é um nutriente e, de modo geral, não é desejável que as plantas o absorvam. Entretanto, o SL possui em sua composição teores de sódio que são decorrentes da alimentação animal e não da adição de sal no processo de fabricação do queijo. Deste modo é recomendado que se faça o monitoramento do Na em áreas agrícolas que recebem o soro como fertilizante, mesmo quando no processo industrial não há adição de sal.

Para as concentrações de Zn não houve diferença significativa entre os anos, porém houve interação entre as doses de soro de leite e os anos agrícolas. Em 2014/2015 ocorreu efeito quadrático com ponto de mínimo na dose de 63.423 L ha⁻¹, e no segundo ano não houve efeito das doses SL (Tabela 17 e Figura 19). Em todas as situações avaliadas as concentrações de Zn nas folhas de milho ficaram abaixo da faixa adequada que varia de 15 a 100 mg kg⁻¹ (COELHO et al., 2002), mesmo com as aplicações de Zn que foram feitas na semeadura, nos dois anos de avaliação.

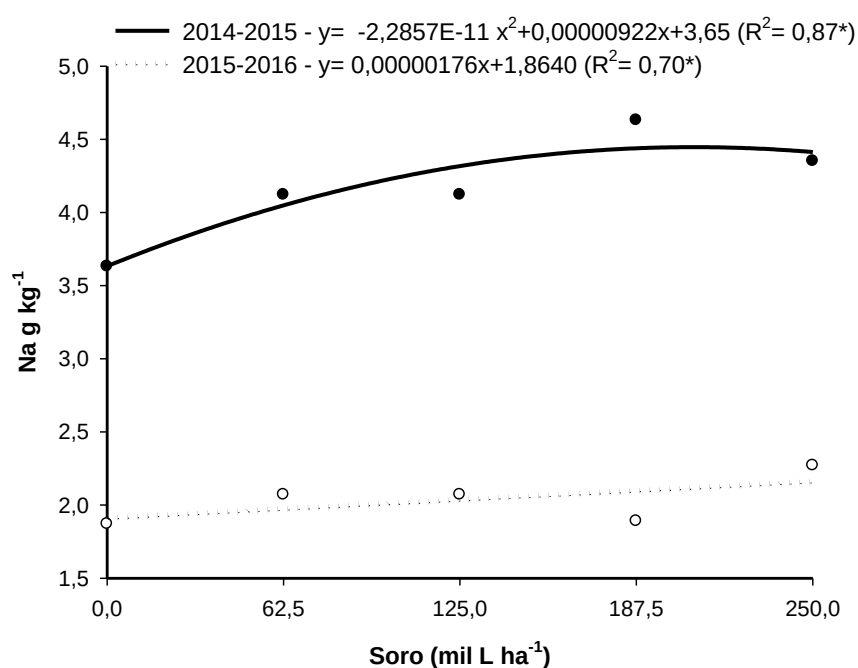


Figura 18. Sódio nas folhas de milho em função das doses de soro ácido de leite nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016. *significativo a 1% de probabilidade.

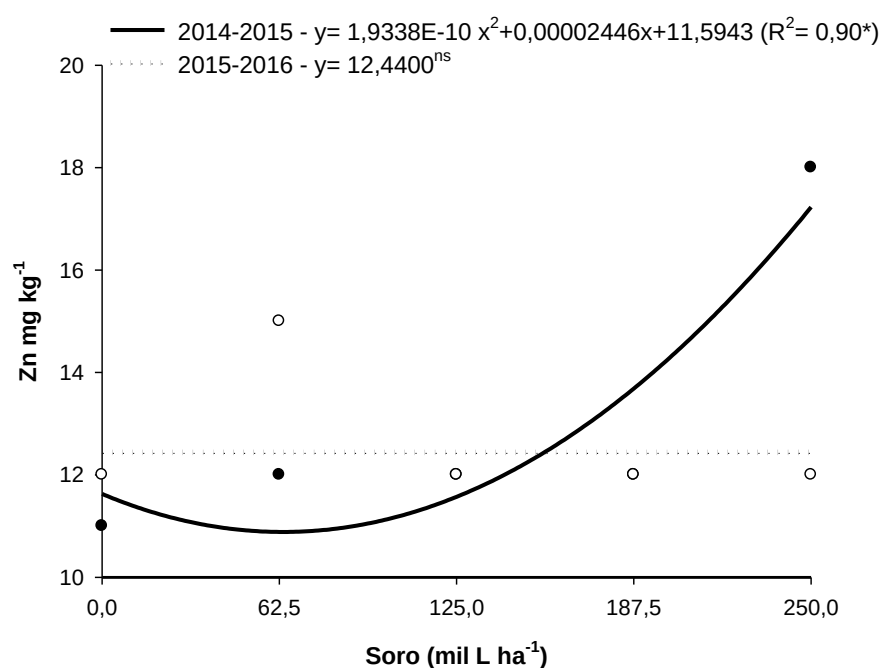


Figura 19. Zinco nas folhas de milho em função das doses de soro ácido de leite nos anos agrícolas 2014-2015 e 2015-2016. * e ^{ns}: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

4.3. Produtividade de grãos de milho

Em relação a produção de grãos, o efeito das doses de soro foi quadrático no primeiro ano (Tabela 18, Figura 20), com máxima produção de 2.950 kg ha⁻¹ na dose de 85.000 L ha⁻¹ de soro, ou seja, um incremento de 452 kg ha⁻¹, em comparação ao tratamento sem soro de leite (testemunha). No primeiro ano a produção foi limitada pela aplicação de soro, ao ponto de as produções com as doses de 187.500 e 250.000 L ha⁻¹ terem sido menores do que a obtida no tratamento sem aplicação de soro (Tabela 18). Este efeito deve estar associado ao acúmulo de sais de K⁺ e Na⁺ no solo, devido à quantidade menor de chuvas neste período (Figura 3).

Tabela 18. Produção de milho em função das doses de soro ácido de leite, aplicadas em cobertura aos 15, 30 e 45 dias após a semeadura, nos anos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016.

Soro	Safras	
	2014-2015	2015-2016
L ha ⁻¹	-----kg ha ⁻¹ -----	
0	2.494	3.420
62.500	2.981	4.406
125.000	2.803	3.478
187.500	2.342	3.940
250.000	1.340	3.941
Médias¹	2.392b	3.837a
	Teste F	CV%
Soro 2014/2015	6,08**	24,24
Soro 2015/2016	1,12 ^{ns}	22,20
Soro nos anos agrícolas	1,06 ^{ns}	-
Anos Agrícolas	18,79*	-
Soro X Anos	2,62 ^{ns}	-

¹Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferiram entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. * e ^{ns}: significativo a 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

As plantas de milho absorvem cerca de 63% do N aplicado até o estágio fenológico R1 (DEBRUIN; BUNTZEN, 2015). A deficiência de N durante o período de maior absorção da cultura pode levar a perdas de produção, principalmente durante o período que vai de V8 a VT, em que há maior demanda para o crescimento foliar e formação do aparato fotossintético (ALMEIDA et al., 2017). Portanto, acredita-se que ocorreu deficiência de N durante este período, pois parte significativa do N do soro estava na forma orgânica e precisava passar por processos de transformação microbianos, para ser disponibilizada para as plantas de milho. Além disso, deve-se

levar em consideração que durante os estádios fenológicos V8 e V12 (Tabela 5), houve um período de cerca de 15 dias com ocorrência de veranicos, e precipitação pluvial de 39 mm. Chuvas mal distribuídas de acordo com a necessidade da cultura levaram, conseqüentemente, a uma menor produção (ALMEIDA, et al., 2017).

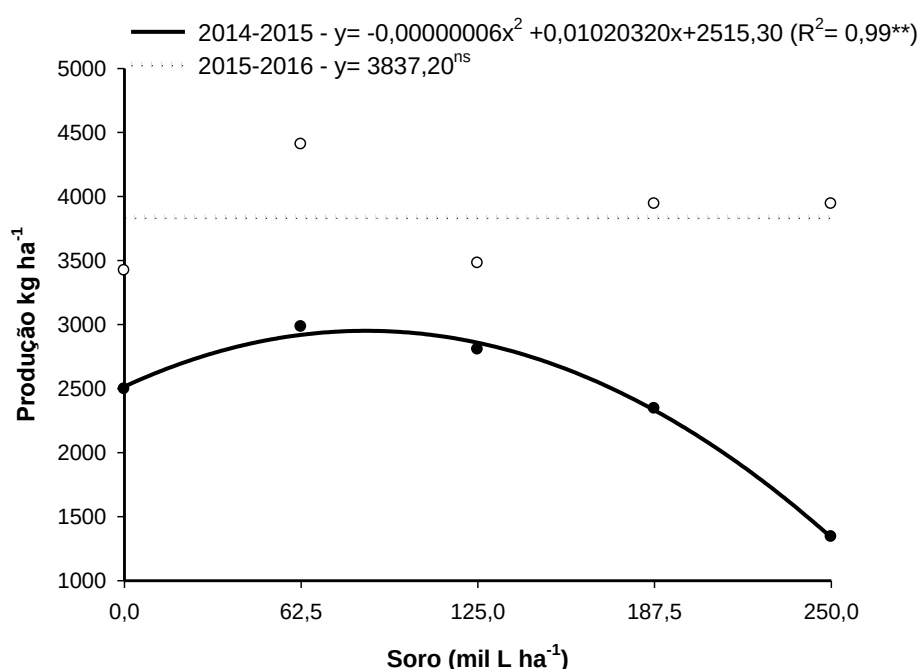


Figura 20. Produção de milho em kg ha⁻¹, em função das doses de soro ácido de leite aplicadas em cobertura aos 15, 30 e 45 após a semeadura, nos agrícolas 2014/2015 e 2015/2016. ** e ns: significativo a 1% de probabilidade e não significativo, respectivamente.

No segundo ano não houve efeito significativo das doses de soro, mas a produtividade obtida neste ano foi maior do que a do primeiro ano (Tabela 18), o que deve estar associado à distribuição de chuvas mais ajustadas às necessidades da cultura, e à melhora das condições de fertilidade do solo do primeiro para o segundo ano devido às aplicações de calcário, gesso, fertilizantes e soro de leite. Apesar do teste F não ter sido significativo no segundo ano é possível observar pelos dados, que a diferença entre o tratamento testemunha e a dose de 62.500 L ha⁻¹ foi de 986 kg ha⁻¹. A diferença média de produção entre os anos foi de 1.445 kg ha⁻¹ (Tabela 18), devido à precipitação pluvial mais abundante e menor ocorrência de veranicos (Figura 3). Porém, mesmo com o aumento no segundo ano, a produção de grãos ficou abaixo da

meta estabelecida na definição do manejo da adubação, 6 a 8 toneladas por hectare, nos dois anos agrícolas. A área onde o experimento foi instalado não era adubada e está em região de vegetação de cerrado típica, com acidez alta e teores muito baixos de nutrientes (Tabela 2).

A baixa produção nos dois anos está mais provavelmente associada à falta de N, apesar de as doses aplicadas por meio do soro terem sido altas. No soro predominam formas de N orgânico, com taxa de mineralização relativamente baixa, em torno de 50% em cerca de 120 dias, em condições de laboratório (KUHLEN, 2010). Nas condições de campo, sobretudo porque as condições climáticas variam, a taxa de mineralização pode ser menor do que os 50% determinados em laboratório, e pode, ainda, não haver sincronismo entre a necessidade da planta e a liberação das formas minerais.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o soro ácido de leite proporcionou ganhos nas condições de fertilidade do solo, e no primeiro ano agrícola ocorreu aumento da produção de 487 kg ha⁻¹ na dose de 85.000 L ha⁻¹. Apesar de terem sido aplicadas grandes quantidades de nutrientes via soro ácido de leite no ambiente de produção, não ocorreu efeito estatístico na produtividade de grãos de milho no segundo ano agrícola.

6 REFERÊNCIAS

- ACIEGO PIETRI, J. C.; BROOKES, P. C. Relationships between soil pH and microbial properties in a UK arable soil. **Soil Biology and Biochemistry**, New York v. 40, p. 1856-1861, 2008.
- AGRIANUAL. **Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Instituto FNP, 2015. 480 p.
- ALMEIDA, A. C. S., BONIFÁCIO, J.; PUSCH, M.; OLIVEIRA, F. C.; GESINHOFF, L. O.; BISCARO, G. A. Produtividade e eficiência de uso da água em milho cultivado com diferentes estratégias de manejo hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 3, p. 1448-1457, 2017.
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO Jr., W. **Experimentação agronômica & Agro Estat: Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**. Jaboticabal: Multipress, 2015: 396.

BARROS, R. P.; VIÉGAS, P. R. A.; SILVA, T. L.; SOUZA, R. M.; BARBOSA, L.; VIÉGAS, R. A.; BARRETTO, M. C. V.; MELO, A. S. Alterações em atributos químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar e adição de vinhaça. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 3, p. 341-346, 2010.

BRASIL. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento (MAPA), Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. 399p.

BRASIL, R. B.; NICOLAU, E. S.; CABRAL, J. F.; SILVA, M. A. P. Estrutura e estabilidade das micelas de caseína do leite bovino. **Ciência Animal Brasileira**, Goiânia, v. 25, n. 2, p. 71-80, 2015.

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.; 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.

CARDOSO, G. S. P. **Avaliação físico-química e microbiológica do leite cru refrigerado e soros dos queijos minas frescal e mussarela estocados sob diferentes temperaturas**. 2014. 125 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Escola de Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

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.

CARVALHO, F. A.; PRAZERES, A. R.; RIVAS, J. B. A. CHEESE WHEY WASTEWATER: characterization and treatment. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 445-446, p. 385 a 396, 2013.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; PITTA, V. E.; ALVES, V. M. C. **Cultivo do milho: diagnose foliar do estado nutricional da planta**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo; 2002. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado Técnico, 45).

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola**. São Paulo: Cetesb, 2006. 12p. (Norma P4.231)

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução nº 375/2006**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/post/conama/legiano/>>. Acesso em: 04 fev. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos, terceiro levantamento (Safra 2017/18). Brasília, 2017. Disponível em:<<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253>>. Acesso em: 19 dez.2017.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Conjunta mensal: Leite e derivados**, 2017. Disponível:<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_05_15_14_13_38_leite_abril_2017.pdf>. Acesso: 05 de abr.2018.

DEBRUIN, J.; BUNTZEN, S. (2015) Nitrogen uptake in corn.Crop **Insights**.DuPont Pioneer, Johnston, IA. Disponível:<<https://www.pioneer.com/home/site/us/agronomy/library/n-uptake-corn/>>. Acesso: 25 de jun.2018.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 4.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013. p.183.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Safra mundial do milho 2017/18**: 6º Levantamento do USDA. São Paulo: Deagro, 2017. p 1. (Boletim informativo). Disponível em:<<http://az545403.vo.msecnd.net/uploads/2017/09/boletimmilhooutubro2017pdf.pdf>>. Acesso em: 19 de dez.2017.

FERNANDES, F. C. S.; LIBARDI, P. L. Percentagem de recuperação de nitrogênio pelo milho, para diferentes doses e parcelamentos do fertilizante nitrogenado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 6, n. 03, 2007.

FREITAS, F. C; PRESOTTO, R. A.; GENÚNCIO, G. C.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B, ZONTA, E. pH, sódio, potássio, cálcio, magnésio e alumínio em solos contaminados com fluido de perfuração de poços de petróleo após ensaios de lixiviação. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n.8, p. 1418-1423, 2015.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9201-levantamento-sistemico-da-producao-agricola.html?&t=o-que-e>>. Acessoem: 18 dez.2017.

KAVACIK, B.; TOPALOGLOB. Biogas production from co-digestion of a mixture of cheese whey and dairy manure. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 33, p. 1321 a 1329, 2010.

KETTERINGS, Q.; CZYMMEK, K.; GAMI, S.; GODWIN, G.; GANOE, K. **Guidelines for Land Application of Acid Whey**. Department of Animal Science Publication Series N°247, 2017, p.18.

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, A. J. F.; LAZARINI, E.; TARSITANO, M. A. A.; SÁ, M. E.; JÚNIOR, F. G. G. Viabilidade econômica da rotação de culturas e adubos verdes antecedendo o cultivo do milho em sistema de plantio direto em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, n. 3, 2005.

LEHRSCHE, G. A.; ROBBINS, C. W.; BROWN, M. J. Whey utilization in furrow irrigation: Effects on aggregate stability and erosion. **Bioresource Technology**, Essex, n. 99, p. 8458–8463, 2008.

LIMA, F. R.; ROCHA, L. O. F. Aproveitamento do soro de leite proveniente da produção do queijo do serro para fabricação de doce de leite: viabilidade econômica. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v. 71, n. 2, p. 83-93, 2016.

LOPES, A. S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fósforo, 1983.

MAGALHÃES, K. T.; DRAGONE, G.; PEREIRA, G. V. M.; OLIVEIRA, J. M.; DOMINGUES, L.; TEIXEIRA, J. A.; SILVA, J. B. A.; SCHWAN, R. F. Comparative study of the biochemical changes and volatile compound formations during the production of novel whey-based kefir beverages and traditional milk kefir. **Food Chemistry**, v. 126, p. 249-253, 2011.

MANTOVANI, J. R.; CARRERA, M.; LANDGRAF, P. R. C.; MIRANDA, J. M. Soro ácido de leite como fonte de nutrientes para o milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n. 4, p.324-329, 2015.

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.; OLIVEIRA, V. S.; ALMEIDA, G. L. P. produção e nutrientes minerais de milho 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, D. F.; BRAVO, C. E. C.; TONIAL, I. B. Soro de leite: um subproduto valioso. **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, Juiz de Fora, v. 67, n. 385, p. 64-71, 2012.

PAULA, L.; ROLIM, M. M.; BEZERRA NETO, E.; SOARES, T. M.; PEDROSA, E. M. R.; SILVA, E. F. F. Crescimento e nutrição mineral de milho forrageiro em cultivo

hidropônico com soro de leite bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, p.931-939, 2011.

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.

PLÉNET D, LEMAIRE G. Relationship between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and Soil*, 1999; 216: 65-82.

POPPIA, F. A.; COSTAB, M. R.; RENSISC, C. M. V. B; SIVIERID, K. Soro de Leite e Suas Proteínas: Composição e Atividade Funcional. **UNOPAR – Científica. Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 12, n. 2, p. 31-70, 2010.

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

QARYOUTI, M.; BANI-HANI, N.; ABU-SHARAR, T. M; SHNIKAT, I.; HIARI, M.; RADIADDEH M. Effect of using raw waste water from food industry on soil fertility, cucumber and tomato growth, yield and fruit quality. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.193, n. 200, p. 99-104, 2015.

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 Agrônomo; Fundação IAC, 1997. p.14-19. (Boletim técnico, 100)

QUEIROZ, S. F.; FERREIRA, O. E.; MATA, J. F. Produção de leite e queijo bovino da indústria laticinista Miraleite* no triângulo mineiro. **Caderno de Pós Graduação da FAZU**, Uberaba, v. 2, p. 1-5, 2011.

QUEIROZ, S. F. **Soro ácido de leite associado a doses de nitrogênio em cobertura na cultura do milho**. 2013. 38 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, “Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2013.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo dos nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2017. 420p.

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. 235p.

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 Agrônomo; Fundação IAC, 1997. p.56-59. (Boletim técnico, 100)

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.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto: Comissão 3.2 - Corretivos e fertilizantes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, p. 1723-1736, 2015.

RODRIGUES, M. B.; BOAS, M. A. V.; CLAUDIA, S. C. S.; SIMONE, D. F. R. G. Efeitos de fertirrigações com águas residuárias de laticínio e frigorífico no solo e na produtividade da alface. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p.173-182, 2011.

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.

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.

SANTOS, P. M.; SANTOS, A. C.; SILVA, J. E. C. Resíduo de laticínio em pastagem de capim Mombaça: atributos químicos da forragem e do solo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 377-390, 2013.

SECRETARIA DE PECUÁRIA E ABASTECIMENTO DE MINAS GERAIS (SPAMG). Milho. Imprensa oficial do Estado, p. 25, 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.mg.gov.br/images/Arq_Relatorios/Agricultura/2017/Mar/perfil_milho_mar_2017.pdf>. Acessado em 09 de dezembro de 2017.

SILVA, A. P. M.; BONO, J. A. M.; PEREIRA, F. A. R. Aplicação de vinhaça na cultura da cana-de-açúcar: efeito no solo e na produtividade de colmos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 38-43, 2014.

SIQUEIRA NETO, M.; PICCOLO, M. D. C.; SCOPEL, E.; COSTA JUNIOR, C.; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono total e atributos químicos com diferentes usos do solo no Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, n. 4, p. 709-717, 2009.

SIQUEIRA, A. M. O.; MACHADO, E. C. L.; STAMFORD, T. L. M. Bebidas lácteas com soro de queijo e frutas. **Ciência Rural**, v.43, p.1693-1700, 2013.

SOUZA, Z. M.; ALVES, M. C. Propriedades químicas de um latossolo vermelho distrófico de cerrado sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 1, 2003.

SPADOTI, L. M.; VIEIRA, M. C.; CAVICHIOLO, J. R.; GOMES, R. A. R.; ZACARCHENCO, P. B.; ALVES, A. T. S. Análise comparativa e viabilidade econômica da produção industrial de queijo minas frescal tradicional e light com diferentes teores de concentrado proteico de soro. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 46, n. 6, p. 14-26, 2016.

TORRES, F. E.; SOUZA, L. C.; ANDRADE, L. H.; PEDROSO, F. F.; MATOSO, A. D. O.; TORRES, L. D.; BENETT, C. G. S.; BENETT, K. S. Influência da cobertura do solo e doses de nitrogênio na cultura do milho safrinha. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 9, n. 1, p. 36-41, 2014.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, Magnésio e Enxofre. In: (Eds.) Nutrição Mineral de Plantas. (ed. FERNANDES, M. S.). Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006 p.299-325.

YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 2005.

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER, A. N.; BURG, G. M.; BARRETO, C. F.; SCHMID, M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 45, n. 2, p. 128-137, 2015.