

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

LETICIA CRISTINA BERTUSSO TOFFOLLI

**FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO PARA ALFAFA
IMPLANTADA EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2013

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

LETICIA CRISTINA BERTUSSO TOFFOLLI

**FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO PARA ALFAFA
IMPLANTADA EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2013

LETICIA CRISTINA BERTUSSO TOFFOLLI

**FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO PARA ALFAFA
IMPLANTADA EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Agronomia - Área de Concentração: Integração Lavoura - Pecuária.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Tangriani Simioni
Assamann

Co-Orientador: Prof. Dr. André Brugnara
Soares

Co-Orientador: Dr. Alceu Luiz Assmann

PATO BRANCO

2013

- T644f TOFFOLLI, Leticia Cristina Bertusso**
Formas de Aplicação e Doses de Calcário para Alfafa Implantada em Área de Plantio Direto Consolidado / Leticia Cristina Bertusso Toffolli – 2013
- XIV, 85 f. : il. ; 30 cm**
- Orientadora: Prof. Dr. Tangriani Simioni Assmann**
Coorientador: Prof. Dr. André Brugnara Soares
Coorientador: Dr. Alceu Luiz Assmann
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Pato Branco/PR, 2013.
Bibliografia: f. 65 – 74
- 1. Acidez do solo. 2. Calagem. 3. Medicago sativa. 4. Produção de Forragem. I. Assmann, Tangriani Simioni, orient. II. Soares, André Brugnara, co-orient. III. Assmann, Alceu Luiz, co-orient. IV. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. V. Título.**
- CDD(22. ed.) 630**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Pato Branco
Gerência de Ensino e Pesquisa
Programa de Pós-Graduação em Agronomia



TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Dissertação nº 079

FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO PARA ALFAFA IMPLANTADA EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO

por

LETICIA CRISTINA BERTUSSO TOFFOLLI

Dissertação apresentada às 14 horas 00 min. do dia 29 de ABRIL de 2013 como requisito parcial para obtenção do título de MESTRE EM AGRONOMIA, Linha de Pesquisa – INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo-assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Banca examinadora:

Prof. Dr. André Brugnara Soares
UTFPR

Prof. Dr. Luís César Cassol
UTFPR

Prof. Dr. Alceu Luiz Assmann
UFPR

**Prof. Dr. Tangriani Simioni
Assmann**
UTFPR
Orientador

Visto da Coordenação:

Prof. Dr. Andre Brugnara Soares
Coordenador do PPGAG

* "O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do PPGAG."

A Deus por tudo que me proporciona na vida.

À minha mãe e meu pai, os quais amo muito, pelo exemplo de vida e família.

A meus irmãos por tudo que me ajudaram até hoje.

Ao meu marido Rodolfo, pelo carinho, inspiração, compreensão e companheirismo.

E ao meu “filho peludo” Faísca pela alegria e diversão.

Não conquistaria nada se não estivessem ao meu lado.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, que foi meu maior porto seguro. Com a ajuda dele eu tive forças para chegar ao final dessa jornada. A mim atribuiu alma e missões pelas quais já sabia que eu batalharia e venceria, agradecer é pouco. Por isso lutar, conquistar, vencer e até mesmo cair e perder, e o principal, viver, é o meu modo de agradecer sempre!

Aos meus pais, Joci e Elizabette, que mais do que me proporcionaram uma boa infância e vida acadêmica, formaram os fundamentos do meu caráter e me apontaram uma vida correta. Obrigada por serem a minha referência de tantas maneiras e estarem sempre presentes na minha vida de uma forma indispensável, mesmo separados pela distância.

Ao meu marido, Rodolfo, por confiar no meu potencial para esta conquista. Obrigada, por estar sempre presente em todos os momentos, me dando carinho, apoio, incentivo, determinação, fé, e principalmente pelo seu Amor.

À minha professora e orientadora deste trabalho, Tangriani Simioni Assmann, pela sua dedicação, seus conhecimentos transmitidos, persistência e paciência e, sobretudo pelo otimismo e amizade compartilhada.

À UTFPR pelos excelentes professores que nos acompanharam no decorrer da caminhada, e pela disponibilização de seus laboratórios para a realização deste trabalho.

Ao IAPAR por ceder o espaço, funcionários, mão-de-obra e recursos para todas as avaliações. Assim como ao pesquisador Dr. Alceu Luiz Assmann pela amizade.

Agradeço também á turma do “O que Importa é o que interessa!”, pela amizade e companheirismo, por todos os momentos que juntos passamos de dificuldades e também pelos de alegria.

E a todos que de algum modo, nos momentos serenos e ou apreensivos, fizeram ou fazem parte da minha vida. Muito obrigada nunca será suficiente para demonstrar a grandeza do que recebi de vocês. Peço a Deus que os recompense à altura. E é a Ele que dirijo minha maior gratidão.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota”.
(Theodore Roosevelt).

RESUMO

TOFFOLLI, Leticia C. B. FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO PARA ALFAFA IMPLANTADA EM ÁREA DE PLANTIO DIRETO CONSOLIDADO. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração: Produção vegetal), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2013.

A alfafa (*Medicago sativa* L.) é uma forrageira leguminosa com alto potencial produtivo, qualidade de forragem e variabilidade de utilização. Quando bem manejada, é uma cultura capaz de fornecer forragem de qualidade e promover um aumento na produtividade dos rebanhos. Para se expandir o uso desta forrageira no país, torna-se necessário superar alguns entraves, como a falta de cultivares adaptadas as diferentes condições edafoclimáticas e resistência ao pastejo. Este trabalho busca avaliar o efeito de diferentes doses de calcário combinadas a distintas formas de aplicação sobre o desenvolvimento da cultura da alfafa em sistema plantio direto. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná, localizada no Município de Pato Branco - PR. A cultivar utilizada foi a Crioula. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas sub-sub divididas. Para as avaliações dos atributos químicos do solo as parcelas constituíram-se das formas de aplicação de calcário (aração+gradagem, subsolagem e superficial), as sub-parcelas pelas doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 t. ha⁻¹) e as sub-sub parcelas pelas profundidades de solo amostradas (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm). Para a avaliação dos teores de N, P, K, Ca e Mg do tecido foliar da alfafa e taxa de acúmulo de MS diária as parcelas constituíram-se pelos dias acumulados (56, 116, 144, 184, 220, 248, 286, 322, 353, 391, 432, 485, 530, 574 e 597 dias), as sub-parcelas pelas formas de aplicação de calcário (aração+gradagem, subsolagem e superficial) e as sub-sub parcelas pelas doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 t. ha⁻¹). A aplicação de calcário, mesmo que de forma superficial, provocou aumentos de pH, dos teores de Ca e Mg e da saturação por bases do solo, bem como, causou a diminuição dos teores de Al e da acidez potencial do solo (H+Al), sendo estes efeitos percebidos nas camadas mais inferiores do solo. Apenas em um período de avaliação de taxa de acúmulo de matéria seca (220 dias acumulados) constatou-se influência da forma de aplicação de calcário, sendo que nas 14 demais avaliações, não se constatou efeito deste fator. Plantas cultivadas com 4 t. ha⁻¹ de calcário nas parcelas sem incorporação apresentaram teores de N do tecido foliar da alfafa superiores aos encontrados nas demais plantas onde o calcário foi incorporado. Não há inconveniência da aplicação do calcário na superfície do solo sobre os teores foliares de Ca, K, Mg e P para alfafa cultivada sob sistema de plantio direto. A prática de aração e gradagem ou de subsolagem visando à incorporação de calcário no sistema de plantio direto mostrou-se desnecessária. Em consequência disso, recomenda-se que, para a alfafa cultivada em sistema plantio direto estabilizado, a aplicação de calcário no solo seja feita de forma superficial.

Palavras-chave: Acidez do solo. Calagem. Formas de aplicação. *Medicago sativa*. Produção de Forragem.

ABSTRACT

TOFFOLLI, Leticia C. B. APPLICATION FORMS AND DOSAGE OF LIMESTONE FOR ALFALFA GROWN IN SYSTEM TILLAGE. 85 f. Dissertation (M.Sc. in Agronomy) - Graduate Program in Agronomy (Area of Concentration: Crop), Federal Technological University of Parana. Pato Branco, 2013.

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) is a forage legume with high yield potential, forage quality and variability of use. When well managed, is a culture able to provide quality forage and promote an increase in productivity of the herds. To enlarge the use of this forage in the country, it is necessary to overcome some obstacles, such as lack of suitable cultivars in our different environmental conditions and resistance to grazing. This study sought to determine the effect of different doses of lime combined with different forms of application to the development of culture in the alfalfa no-till system. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Paraná, located in Pato Branco - PR. The cultivar used was Creole. The experimental design was a randomized block design with four replications in split sub-divided. For the evaluations of soil chemical attributes the plots consisted of the forms of lime application (plowing + harrowing, subsoil and surface), the sub-plots for limestone (0, 2, 4, 6 and 8 t. ha⁻¹) and the sub-sub plots sampled for soil depths (0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm). To assess the levels of N, P, K, Ca and Mg in alfalfa leaf tissue and accumulation rate of MS daily portions constituted by accumulated days (56, 116, 144, 184, 220, 248, 286, 322, 353, 391, 432, 485, 530, 574 and 597 days), the sub-plots in the forms of lime application (plowing + disking, sub soiling and surface) and the sub-sub plots for limestone (0, 2, 4, 6 and 8 tonnes. ha⁻¹). Liming, even if superficially, caused increases in pH, Ca and Mg and base saturation of the soil and caused the decrease in the levels of Al and potential soil acidity (H + Al), and these perceived effects in lower layers of soil. Only in an evaluation period of accumulation rate of dry matter (220 cumulative days) revealed the influence of lime application form, and the 14 other reviews, we found no effect of this factor. Plants grown with 4 t. ha⁻¹ of lime in the plots without incorporation showed concentration of the alfalfa leaf tissue than those found in other plants where the limestone was incorporated. No inconvenience of applying lime to the soil surface on the leaf Ca, K, Mg and P for alfalfa grown under no-tillage system. The practice of plowing or disking and sub soiling seeking the incorporation of lime in the no-tillage system proved to be unnecessary. As a result, it is recommended that for alfalfa grown in no-till system stabilized, the application of lime in the soil is made lightly.

Keywords: Soil acidity. Liming. Application forms. *Medicago sativa*. Rate of dry matter daily.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Temperatura média e precipitação pluviométrica durante o período de implantação da cultura da alfafa e o período experimental (junho de 2010 a dezembro 2012) IAPAR-UTFPR.....	21
Figura 02 – Croqui experimental, UTFPR 2011.....	22
Figura 03 – pH no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário, ((a) arado+gradagem; (b) subsolador; (c) superficial) doses de calcário e de profundidade de amostragem do solo.	25
Figura 04 – Al no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário dentro de uma mesma dose de calcário.....	27
Figura 05 – Saturação por bases no solo cultivado com alfafa, em função da profundidade de amostragem do solo e de doses de calcário.....	27
Figura 06 – Saturação por bases no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário e de profundidade de amostragem do solo. .	29
Figura 07 – pH e Saturação por Bases no solo cultivado com alfafa, em função das doses de calcário.....	30
Figura 08 – H+Al no solo cultivado com alfafa, em função das doses de calcário....	31
Figura 09 – K no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação e doses de calcário.....	33
Figura 10 – P no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário e de profundidade de amostragem do solo.....	34
Figura 11 – MO no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário e de doses de calcário.....	36
Figura 12 – Ca+Mg no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário e de profundidade de amostragem do solo.....	37
Figura 13 – Ca+Mg no solo cultivado com alfafa, em função das profundidades de amostragem do solo e de doses de calcário.....	38
Figura 14 – CTC no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário e de profundidade de amostragem do solo.....	40
Figura 15 – Temperatura média e precipitação pluviométrica durante o período de implantação da cultura da alfafa e o período experimental (junho de 2010 a dezembro 2012) IAPAR-UTFPR.....	46
Figura 16 – Croqui experimental – UTFPR 2011.....	47
Figura 17- Taxa de acúmulo de matéria seca de alfafa em um período de 597 dias em função de doses de calcário.....	51
Figura 18 – Influência dos dias acumulados e formas de aplicação do calcário sobre a taxa de acúmulo de alfafa.....	53
Figura 19 – Efeito dos dias acumulados e formas de aplicação do calcário sobre a concentração de N do tecido foliar da alfafa.....	54
Figura 20 – Efeito das doses de calcário e formas de aplicação sobre a produção de N do tecido foliar da alfafa.....	55
Figura 21 – Efeito dos dias acumulados e formas de aplicação do calcário sobre os teores de P do tecido foliar da alfafa.....	56
Figura 22 – Efeito das doses de calcário sobre os teores de P do tecido foliar da alfafa.....	57
Figura 23 – Efeito dos dias acumulados sobre os teores de K do tecido foliar da alfafa.....	59
Figura 24 – Efeito dos dias acumulados sobre os teores de Ca do tecido foliar da alfafa.....	60

Figura 25 – Efeito dos dias acumulados sobre os teores de Mg do tecido foliar da alfafa.....	61
Figura 26 – Efeito das doses de calcário e formas de aplicação sobre os teores de Mg do tecido foliar da alfafa.....	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Características químicas do solo antes do início do experimento – UTFPR 2010.....	20
Tabela 02 – Tabela de Médias para os valores de Al ³⁺ , K, MO e H+Al da análise química do solo.....	26
Tabela 03 – Características químicas do solo antes do início do experimento - UTFPR 2010.....	45
Tabela 04 – Dias de coletas, dias entre as avaliações para a produção de matéria seca e concentração de N, P, K, Ca e Mg.....	48

LISTA DE SIGLAS

Al	Alumínio
Ca	Cálcio
cm	Centímetro
CTC	Capacidade de troca catiônica
dm	Decímetro
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
H	Hidrogênio
ha-1	Hectare
IAPAR	Instituto agrônomo do Paraná
K	Potássio
Kg	Quilograma
m	Metro
Mg	Magnésio
mg	Miligrama
mm	Milímetro
Mn	Manganês
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria Seca
N	Nitrogênio
O	Oxigênio
P	Fósforo
PR	Unidade da Federação – Paraná
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
SPC	Sistema de Plantio Convencional
SPD	Sistema de Plantio Direto
t	Tonelada
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 EFEITO DE FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO.....	17
2.1 RESUMO.....	17
2.2 ABSTRACT.....	17
2.3 INTRODUÇÃO.....	18
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	20
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
2.6 CONCLUSÕES.....	41
3 EFEITO DE FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO SOBRE A PRODUÇÃO VEGETAL E COMPOSIÇÃO MINERAL DA PARTE AÉREA DE PLANTAS DE ALFAFA CULTIVADA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO.....	42
3.1 RESUMO.....	42
3.2 ABSTRACT: EFFECT OF APPLICATION WAYS AND DOSAGE OF LIMESTONE ON CROPS AND MINERAL COMPOSITION OF AIR PLANT PART OF ALFALFA GROWN IN DIRECT SYSTEM PLANTING.....	42
3.3 INTRODUÇÃO.....	43
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
3.6 CONCLUSÕES.....	63
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	64
REFERÊNCIAS.....	65
APÊNDICES.....	77

1 INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil a demanda por informações sobre forrageiras de alta qualidade vem sendo intensificada, pois a alimentação dos rebanhos depende basicamente das pastagens. O uso de leguminosas forrageiras pode melhorar o valor nutricional e a produtividade das pastagens, refletindo assim em melhores índices de desempenho animal e reduzindo o custo de alimentação pela menor necessidade de alimentos concentrados ou conservados, para um mesmo nível de produtividade.

O cultivo da alfafa tem despertado o interesse dos produtores de leite com o intuito de reduzir os custos de produção e aumentar a produtividade do rebanho leiteiro. Alguns estudos apontam que a redução no custo de produção da alfafa pode ser ainda maior quando utilizada na forma de pastejo. Chacón (1984) comparou o custo unitário da massa seca da alfafa na forma verde picada com o de pastejo, observou que a redução foi de 44% e ainda foi mais expressiva quando comparou o custo da alfafa na forma de feno com o de pastejo, cerca de 57%. Com a cultura da alfafa, torna-se possível a redução de custos de produção de forragem para o rebanho leiteiro, pois se bem manejada, ela apresenta custos de produção similares com os da silagem de milho (OLIVEIRA & LÉDO, 2008).

Além disso, o uso de alfafa em pastejo pode amenizar a estacionalidade de produção de forragens, a qual é um dos principais problemas dos sistemas de produção de leite que fazem uso de pastagens de gramíneas tropicais, mesmo quando irrigadas, e também por não haver necessidade de adubação nitrogenada, por ser uma leguminosa que fixa simbioticamente o nitrogênio do ar (RASSINI et al., 2008). Outro fator importante é que a alfafa pode ser utilizada como banco de proteína, para complemento da dieta à base de forrageiras tropicais, permitindo, assim, redução no uso de concentrados (RODRIGUES et al., 2008).

Quando bem manejada esta cultura, possibilita a produção de um material de excelente qualidade, com até onze cortes por ano, no mínimo cerca de cinco cortes a mais que nos países de clima temperado (ANCHÃO, 1995) podendo alcançar produtividade anual de matéria seca de aproximadamente 20 t. ha⁻¹ (RASSINI et al., 2008).

A alfafa foi introduzida no Brasil através do Rio Grande do Sul no ano de 1968. Estima-se que até hoje a área cultivada de alfafa é de aproximadamente

70% concentrada no estado do Rio Grande do Sul. Atualmente, percebe-se que houve um aumento da área plantada com esta forrageira nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, onde foi implantada crescentemente em áreas intensivas de bovinocultura de leite, devido ao fato do aumento da demanda por alimentos de alto valor nutritivo (RASSINI et al, 2003).

Há muitas dificuldades para a expansão do cultivo de alfafa no Brasil que vão desde o desconhecimento da cultura, dos aspectos de fertilidade do solo, manejo, produção de sementes, até a necessidade de produção de cultivares mais adaptadas às condições brasileiras (MARQUES et al., 2010).

Grande parte dos solos agrícolas das regiões tropicais e subtropicais apresenta limitações ao crescimento de muitas culturas devido aos efeitos negativos da acidez. Na região Sul do Brasil, a correção dos solos é indispensável para alcançar altos índices de produção de grande parte das plantas cultivadas (BISSANI et al., 2004).

A calagem é uma prática agrícola capaz de alterar várias características químicas e biológicas do solo, dentre elas o aumento do valor do pH do solo que torna certos nutrientes mais disponíveis e enquanto outros como Al^{+3} têm suas disponibilidades reduzidas (MORAES et al., 1998).

Outra questão é o manejo da calagem em culturas forrageiras no Brasil, onde há grande adoção do sistema plantio direto, o qual preconiza o não revolvimento do solo e, conseqüentemente a aplicação de adubos e corretivos que deve ser feita de forma superficial.

Para realizar a correção da acidez do solo no sistema plantio direto, o calcário deve ser distribuído na superfície sem incorporação. A eficiência da aplicação superficial de calcário em solo sob plantio direto, especialmente na correção do subsolo, é questionada. Pesquisas realizadas em solos brasileiros apontam pequeno ou nenhum movimento do calcário além do local de sua aplicação (POTTKER & BEN, 1998; PAVAN et al., 1984; RITCHEY et al., 1980). Entretanto, em outros trabalhos realizados no Brasil, foram observados aumentos de pH e nos teores de cálcio e magnésio trocável (QUAGGIO et al., 1993; OLIVEIRA et al., 1997; CAIRES & ROSOLEM, 1998) e redução de alumínio trocável em camadas do subsolo com a aplicação de calcário na superfície (PETRERE & ANGHINONI, 2001; e CAIRES et al., 2000).

Estudos têm indicado que a necessidade de calcário no sistema de plantio direto talvez seja menor do que no sistema convencional de preparo (CAIRES et al., 1998; POTTKER & BEN, 1998). Porém faltam informações a respeito da reação do calcário aplicado na superfície do solo e de critérios de recomendação de calagem, com base na análise química do solo, em sistemas de plantio direto (CAIRES et al, 2000), principalmente para a cultura da alfafa, que talvez seja a mais exigente em termos de pH.

Com isto este trabalho busca avaliar a resposta de produção de alfafa às diferentes doses e formas de aplicação de calcário em sistema plantio direto.

2 EFEITO DE FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO SOBRE OS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE UM LATOSSOLO

2.1 RESUMO

A alfafa (*Medicago sativa* L.) apresenta elevado valor nutritivo, boa produtividade e aceitabilidade pelos animais. Por ser uma planta rica em minerais, a alfafa exige boas condições de fertilidade do solo, tanto em relação ao pH quanto na disponibilidade de nutrientes. O Brasil é caracterizado por solos ácidos que reduzem o potencial das culturas. Para solucionar este problema se deve corrigir a acidez do solo, que pode ser feita através da calagem, de forma incorporada e/ou superficial. Este trabalho busca estudar as doses de calcário e formas de aplicação, para alfafa cultivada em latossolo vermelho. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná, localizada no Município de Pato Branco - PR. A cultivar utilizada foi a Crioula. As parcelas constituíram-se das formas de aplicação de calcário (aração+gradagem, subsolador, superficial), as sub-parcelas pelas doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 t.ha⁻¹) e as sub-sub parcelas pelas profundidades de solo amostradas (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm). O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas subdivididas. Os resultados mostram que a aplicação de calcário, mesmo que de forma superficial, provocou aumentos de pH, dos teores de Ca e Mg e da saturação por bases do solo, bem como, causou a diminuição dos teores de Al e da acidez potencial do solo (H+Al), sendo estes efeitos percebidos nas camadas mais inferiores do solo. A prática de aração e gradagem ou de subsolagem visando a incorporação de calcário no sistema plantio direto se mostrou desnecessária. Em consequência disso, recomendando-se que para a implantação da alfafa em solos de sistema plantio direto consolidado a aplicação de calcário no solo seja feita de forma superficial.

Palavras-chave: Acidez do solo. Formas de aplicação do calcário. Implantação de alfafa. pH do solo.

2.2 ABSTRACT

EFFECT OF APPLICATION FORMS AND DOSES OF LIMESTONE ON THE ATTRIBUTES OF A CHEMICAL OXISOLS

Alfalfa (*Medicago sativa* L.) has high nutritional value, good productivity and acceptability by animals. Being a plant rich in minerals, alfalfa requires good soil fertility, both related to pH and nutrient availability. Brazil is characterized by acidic soils which reduce the potential of the crop. To solve such problem it must correct soil acidity, which can be done through liming, in an embedded and / or superficial way. Such paper seeks to explore the limestone and forms of application forms for alfalfa grown in oxisol. The experiment was conducted at the Experimental Station of Paraná Agronomic Institute, located in Pato Branco city, in Paraná state. The

cultivation used was Crioula. The plots consisted of the lime application forms (plow and harrow, subsoil, surface), the sub-plots by lime doses (0, 2, 4, 6 and 8 t ha⁻¹) and sub-sub plots sampled for soil depths (0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm). The experimental design was a randomized block design with four replications in a split plot. The results show that the lime application, even tried in a superficial way, caused increases in pH, Ca and Mg and soil base saturation, and caused a decrease in the levels of Aluminum and potential soil acidity (H + Al). Such perceived effects were found in the lowest layers of soil. The plowing or disking and sub soiling practice seeking the incorporation of lime in the no-tillage system was proved unnecessary. As a result, it is recommended that for the alfalfa grown in no-till system stabilized, the lime application in the soil is performed superficially.

Keywords: soil acidity, forms of liming, implantation of alfalfa, soil pH.

2.3 INTRODUÇÃO

A alfafa é uma leguminosa forrageira perene, considerada a "rainha das plantas forrageiras" pelo seu alto valor nutritivo, boa produtividade e aceitabilidade pelos animais (NUERNBERG, 1986). A cultura é capaz de produzir rendimentos elevados chegando á 28 t de MS ha⁻¹ sob condições não limitantes (BROWN, 2004).

Devido aos seus teores de minerais elevados, a alfafa exige boas condições de fertilidade do solo, tanto em relação ao pH quanto na disponibilidade de nutrientes (NUERNBERG et al., 1990).

Em relação à adaptação da alfafa nas condições brasileiras, o solo, é um dos problemas que mais interferem, sendo o mais limitante, pois a cultura exige pH entre 6,0 e 7,5, sendo necessário corrigir a acidez do solo, que pode ser realizada utilizando-se o calcário como elemento de correção da acidez e neutralização do alumínio trocável (TISDALE et al., 1993).

O Brasil é composto por solos ácidos, cerca de 70%, capazes de reduzir o potencial produtivo das culturas em cerca de 40% (QUAGGIO, 2000). Na região Sul, a correção dos solos é indispensável para alcançar altos índices de produção de grande parte das culturas cultivadas (BISSANI et al., 2004). Para que esta situação seja revertida, é imprescindível a correção deste problema através da prática da calagem que é uma maneira simples e barata, já que o calcário é um material abundante no País.

Atualmente no Brasil a área do sistema plantio direto é de aproximadamente 32 milhões de hectares, mostrando que evoluiu muito desde as

safras de 72/73 onde ocupava uma área de somente 180 hectares. Até o ano de 2008 o Brasil estava em terceiro lugar no ranking, perdendo apenas para os Estados Unidos e Argentina (FEBRAPDP, 2012).

O termo sistema plantio direto vem sendo usado de modo generalizado para representar qualquer prática de manejo do solo que apresente uma preocupação conservacionista, tornando-se atualmente no Brasil um conceito tão abrangente que se acredita, tornou-se sinônimo de Agricultura Conservacionista que por sua vez, constitui um conceito amplo, representando qualquer prática que mantenha pelo menos 30% da cobertura vegetal sobre a superfície do solo (BAKER et al., 2002). Rigorosamente, o sistema de plantio direto inclui também os requerimentos de movimentação mínima do solo, limitando-se à colocação das sementes e fertilizantes no sulco, manutenção do solo coberto permanentemente com palha e a adoção da rotação de culturas com adubação verde (BOLLIGER et al., 2006; CALEGARI, 2006; MUZILLI, 2006).

Quanto á calagem há uma controvérsia em diferentes estudos em relação á forma de aplicação do calcário. Alguns defendem a incorporação, por outro lado outros defendem a aplicação superficial, como encontrado por Pearson et al. (1962) e Gonzalez-Erico et al. (1979), que defendem a incorporação pois encontraram em seus estudos que os valores de pH e Al^{+3} modificam-se pouco em profundidade devido à baixa solubilidade dos corretivos agrícolas da acidez, e à alta reatividade dos ânions com os ácidos presentes na camada de solo em que o calcário é incorporado.

Para alguns autores o calcário requer incorporação ao solo por ser um produto de baixa solubilidade, para que assim haja maior reação. Porém, a mobilização do solo para a sua incorporação não é desejável no sistema plantio direto, pois altera os atributos físicos favoráveis, do ponto de vista de conservação, obtidos ao longo do tempo de adoção do sistema.

Outra questão é o manejo da calagem em culturas forrageiras no Brasil, onde há grande adoção do sistema plantio direto, o qual preconiza o não revolvimento do solo e, conseqüentemente a aplicação de adubos e corretivos deve ser feita de forma superficial.

Pottker & Ben (1998), Rheinheimer et al. (2000) constataram que a calagem superficial promove incrementos no rendimento das culturas, variando de acordo com a espécie e tipo de solo, condições de fertilidade, e principalmente com

o pH. Rechcigl et al. (1985) observaram que a alfafa apresentou acréscimos superiores a 100% de produção pela aplicação de calcário na superfície do solo.

Assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar os efeitos de doses de calcário sobre os valores de pH, Al^{+3} , V%, H+Al, MO, CTC, P, K e Ca+Mg, aplicadas em superfície e com incorporação para alfafa cultivada em latossolo Vermelho distroférico.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em latossolo Vermelho distroférico, com relevo ondulado de textura argilosa (BHERING et al., 2008), na área pertencente à Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná - IAPAR, localizada no Município de Pato Branco - PR, que se encontra na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense, entre as coordenadas de 25°07' latitude Sul e 52°41' longitude Oeste e tem altitude média de 700 m. As atividades do presente estudo tiveram início no ano de 2011 estendendo-se até 2012. A Tabela 01 apresenta as características químicas do solo coletado no mês de fevereiro de 2010, antes da implantação do experimento.

Tabela 01 – Características químicas do solo antes do início do experimento – UTFPR 2010.

Prof.	pH	MO	Al^{+3}	H+Al	Ca	Mg	CTC	K	P	V
<i>Cm</i>	<i>CaCl₂</i>	<i>g dm⁻³</i>							<i>mg dm⁻³</i>	<i>%</i>
0 - 10	5,4	42,8	0,00	3,97	6,44	2,81	13,85	0,63	31,5	71
10 - 20	4,8	40,2	0,18	5,35	3,75	1,87	11,47	0,50	6,9	53
20 - 40	4,6	29,5	0,47	5,35	1,91	1,26	8,72	0,20	2,7	40

MO=Matéria orgânica V= Saturação de bases CTC= Capacidade de Troca de Cátions.

Por mais de quinze anos a área experimental foi utilizada em sistema plantio direto, nos verões era cultivado milho em rotação com soja e nos invernos utilizava-se a rotação de cereais de inverno com nabo forrageiro.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa em transição para Cfb (MAAK, 1968). A precipitação pluviométrica dos últimos dez anos tem variado de 1.578 a 3.101 mm por ano e a temperatura máxima 25°C e

mínima de 14,2°C. A caracterização meteorológica do período estudado está descrito na Figura 01.

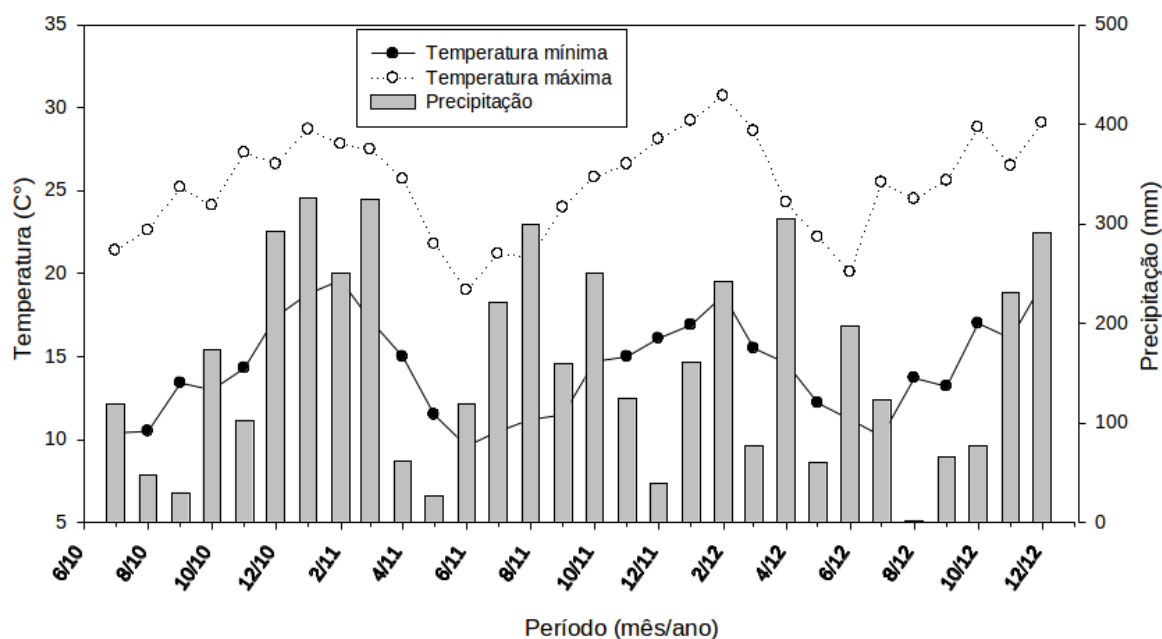


Figura 01 – Temperatura média e precipitação pluviométrica durante o período de implantação da cultura da alfafa e o período experimental (junho de 2011 a dezembro 2012) IAPAR-UTFPR.

As doses de calcário foram aplicadas em julho de 2010, com as operações de aração+gradagem e subsolagem nos tratamentos com incorporação. A profundidade de atuação da aração+gradagem foi de 25 até 30 cm de profundidade, sendo que o arado utilizado foi o de discos. Já a profundidade atingida pelo subsolador ou também conhecido popularmente por pé de pato foi de 30 até 35 cm de profundidade. As doses de calcário usadas foram: 0, 2, 4, 6 e 8 t. ha⁻¹. O critério utilizado para definir as doses foi através da recomendação de calagem para a cultura realizada por meio dos dados da análise química do solo antes da implantação do experimento.

O calcário utilizado foi do tipo dolomítico com um poder relativo de neutralização total (PRNT) de 80% e as doses usadas foram convertidas para valores de PRNT 100%.

A cultivar utilizada foi a Crioula, com densidade de 20 kg de sementes por hectare. As sementes foram inoculadas no momento da semeadura com *Rhizobium meliloti*. A semeadura da alfafa foi realizada no dia 27 de setembro de 2010, em sistema plantio direto estabilizado, utilizando-se uma semeadora de parcela com espaçamento entre linhas de 23 cm. A adubação de semeadura foi feita

com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de K₂O e 120 kg ha⁻¹ de P₂ O₅, repetindo-se uma vez ao ano (03/06/2011 e 17/11/2012) para manutenção da cultura, seguindo as recomendações de CQFS–RS/SC (2004).

Durante todo o experimento foram realizados tratos culturais de controle de plantas daninhas de forma manual.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas sub-sub divididas, constituindo-se em um trifatorial 3 x 5 x 4 resultando em 60 tratamentos por bloco. As parcelas constituíram-se das formas de aplicação de calcário (aração+gradagem, subsolagem, superficial), as sub-parcelas pelas doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 t. ha⁻¹) e as sub-sub parcelas pelas profundidades de solo amostradas (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm). A área experimental ocupada teve um total de 2500 m², e as unidades experimentais foram compostas por subparcelas de 27 m² (3 x 9 m), e 4 m entre blocos (Figura 02).

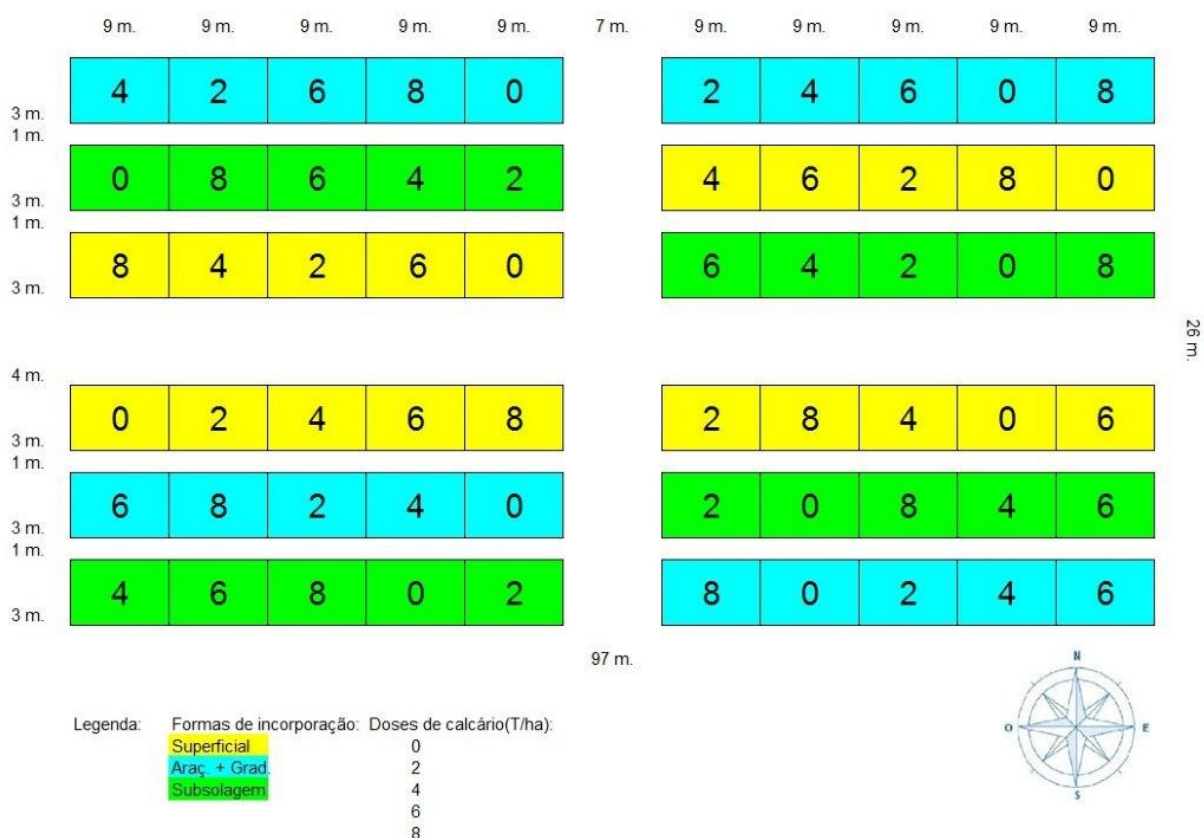


Figura 02 – Croqui experimental, UTFPR 2011.

No dia 20 de agosto de 2012, 25 meses após a aplicação do calcário, com o objetivo de caracterização química do solo coletou-se duas sub amostras

dentro de cada sub parcela, visando à obtenção de uma amostra composta representativa. As camadas amostradas foram: 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm. As amostras até a profundidade de 20 cm foram coletadas com auxílio de uma pá, e de 20 a 30 cm com um trado do tipo calador, aos 25 meses da aplicação do calcário, para posterior determinação do pH (CaCl_2), teores de Ca, Mg, MO, Al^{+3} , H+Al, P, K, CTC e Saturação por bases (V%), pelos métodos descritos por Pavan et al. (1984).

Para a obtenção do teor de matéria orgânica foi utilizada a metodologia por digestão úmida. P e K foram extraídos com solução de Mehlich I, e o pH em CaCl_2 , Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol/L.

Os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância. As variâncias foram avaliadas pelo teste de Bartlett, quanto à homogeneidade. As variáveis que se mostraram homogêneas tiveram os tratamentos avaliados pelo Teste F. Quando os resultados revelaram significância a 5 ou 1% de probabilidade, as médias dos fatores qualitativos (Formas de aplicação e Profundidade do solo) foram comparadas pelo Teste Mínima Diferença Significativa a 5% de probabilidade. Para os fatores quantitativos (dose de calcário), as equações foram ajustadas com F significativo pelas regressões polinomiais entre as doses de calcário (variável independente) com as demais variáveis dependentes, buscando o modelo que melhor expressasse esta relação. Foram testados modelos linear e quadrático e a escolha foi baseada na significância do coeficiente determinação (menor que 8%).

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se o efeito da interação tripla das formas de aplicação X doses de calcário X profundidade de amostragem sobre o pH do solo após aproximadamente 25 meses da calagem. Na Figura 03 observa-se que a forma de aplicação do calcário superficial foi a que mais elevou os valores de pH do solo mesmo em profundidade em comparação as demais formas de aplicação. Resultados semelhantes foram encontrados por Quaggio et al. (1993) e Caires & Rosolem (1998) que apontam aumentos no pH e nos teores de Ca e Mg trocáveis abaixo da região de aplicação do calcário. Ressalta-se que a operação de aração+gradagem atinge no máximo 20-25 cm de profundidade no solo e, provavelmente causando a desestruturação nesta camada do solo, prejudicando a

descida dos produtos da dissolução do calcário enquanto que nas parcelas em que o calcário foi aplicado superficialmente ou com subsolador, a presença de canais preferências que permaneceram intactos provavelmente facilitou a translocação de substâncias neutralizadoras (OH) de Al^{+3} para as camadas mais profundas elevando o pH.

Estes resultados concordam com os encontrados por Fidalski & Tormena (2005) que estudaram a calagem superficial onde houve evolução da correção da acidez do solo na camada de 5-10 cm, em que o pH elevou-se para um valor máximo de 6,1 com 6,4 t. ha^{-1} de calcário. Também sendo semelhantes pelos resultados encontrados por Petrere & Anghinoni (2001), Oliveira & Pavan (1996) e Caires et al. (2000) que em pesquisas realizadas com aplicação do calcário na superfície do solo observaram alterações dos valores de pH nas camadas subsuperficiais, podendo atingir até 60 cm de profundidade.

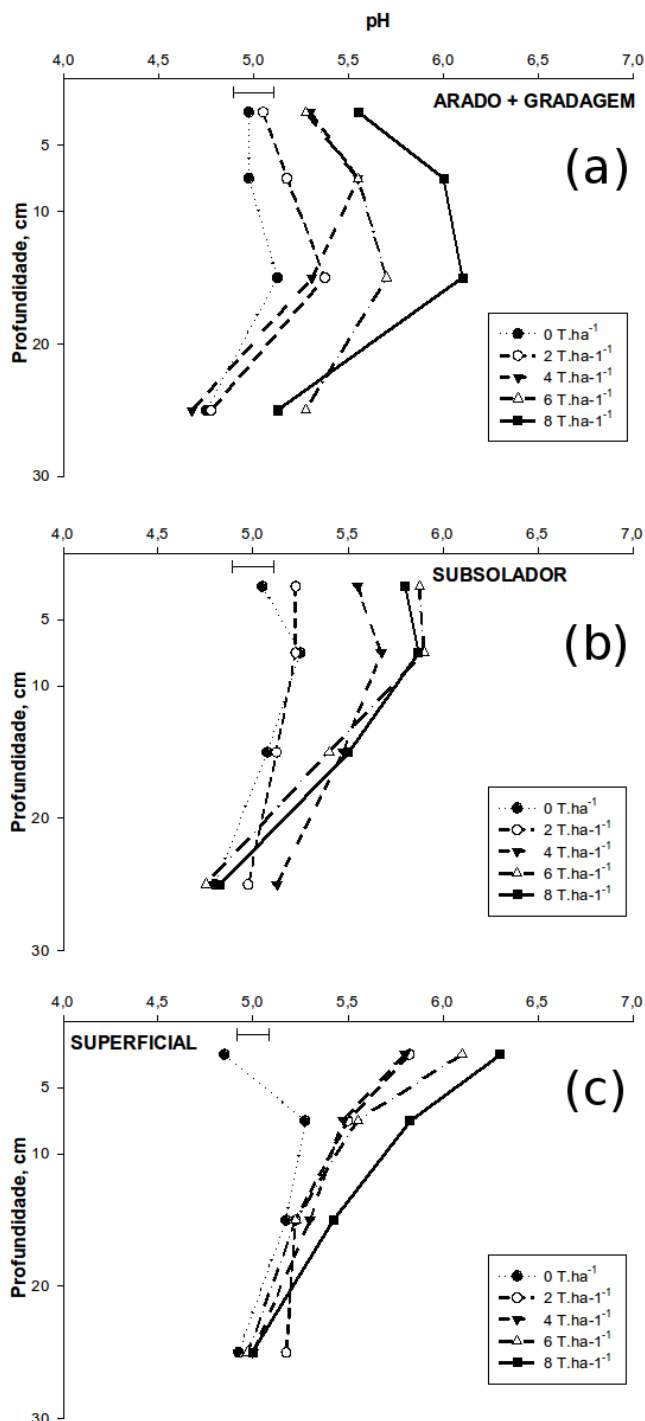
Considerando os valores de atributos químicos adequados ao crescimento da alfafa, dentro de padrões preestabelecidos o pH ideal na profundidade de 0- 20 cm é de 6,0 á 7,5 (BALIGAR et al., 1989). Após 25 meses da calagem o maior valor de pH constatado foi de 6,9 obtido nesta mesma profundidade com 8 t. ha^{-1} de calcário, sendo que este valor é inferior ás recomendações para a cultura.

Comparativamente à Tabela 01 de caracterização química do solo antes do início do experimento, pode-se observar que houve um aumento gradativo do pH também nas camadas mais profundas.

Constatou-se efeito da profundidade de amostragem sobre os valores de alumínio (Al^{+3}) do solo. A Tabela 02 apresenta os teores de Al^{+3} nas diferentes profundidades de amostragem. Observa-se que houve um aumento gradativo dos teores de alumínio a partir da profundidade 5-10 cm onde o teor de alumínio foi de $0,01\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ até o teor de $0,09\text{ cmol}_c\text{ dm}^{-3}$ observado na profundidade 20-30 cm. Isto provavelmente se deve ao fato que o calcário é pouco solúvel e os produtos da sua reação tem mobilidade limitada, reagindo nas camadas mais superficiais do perfil do solo independente da forma de aplicação do mesmo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Leite et al. (2006) que também verificaram tendência de aumento nos teores de Al^{+3} com o aumento da profundidade no perfil do solo independente da dose e forma de aplicação de calcário. Segundo Falleiro et al. (2003) o Al^{+3} apresenta menores valores na camada

superficial devido a força iônica da solução do solo e do aumento dos valores de pH e matéria orgânica nessa camada, pois o aumento da força iônica reduz a atividade dos íons, o aumento do pH afeta a especiação e solubilização do alumínio e o aumento da matéria orgânica provoca maior complexação do alumínio.



Barra na horizontal compara cada profundidade entre doses de calcário em uma mesma profundidade, pela Diferença Mínima Significativa ($p < 0,05$).

Figura 03 – pH no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário, (a) arado+gradagem; (b) subsolador; (c) superficial) doses de calcário e de profundidade de amostragem do solo.

Comparando-se a análise de caracterização química do solo encontrada na Tabela 01, houve redução significativa no teor de Al^{+3} mesmo em profundidade, indicando ação do calcário independentemente da forma de aplicação. Como se pode observar na camada 10-20 cm o teor de Al^{+3} era de $0,18 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e 25 meses após a calagem passou a ser $0,02 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Petrere & Anghinoni (2001) e Amaral (2002) identificaram partículas de calcário abaixo da região de aplicação, que migrariam via dutos formados por macroporos, o que propiciaria a correção da acidez com a elevação do pH. Essa frente de neutralização, ao avançar no perfil, altera algumas propriedades do solo, cuja taxa de progressão depende da dose aplicada, do tempo decorrente e das próprias características físicas e químicas dos solos (RHEINHEIMER et al., 2000; AMARAL & ANGHINONI, 2001; MOREIRA et al., 2001; GATIBONI et al., 2003).

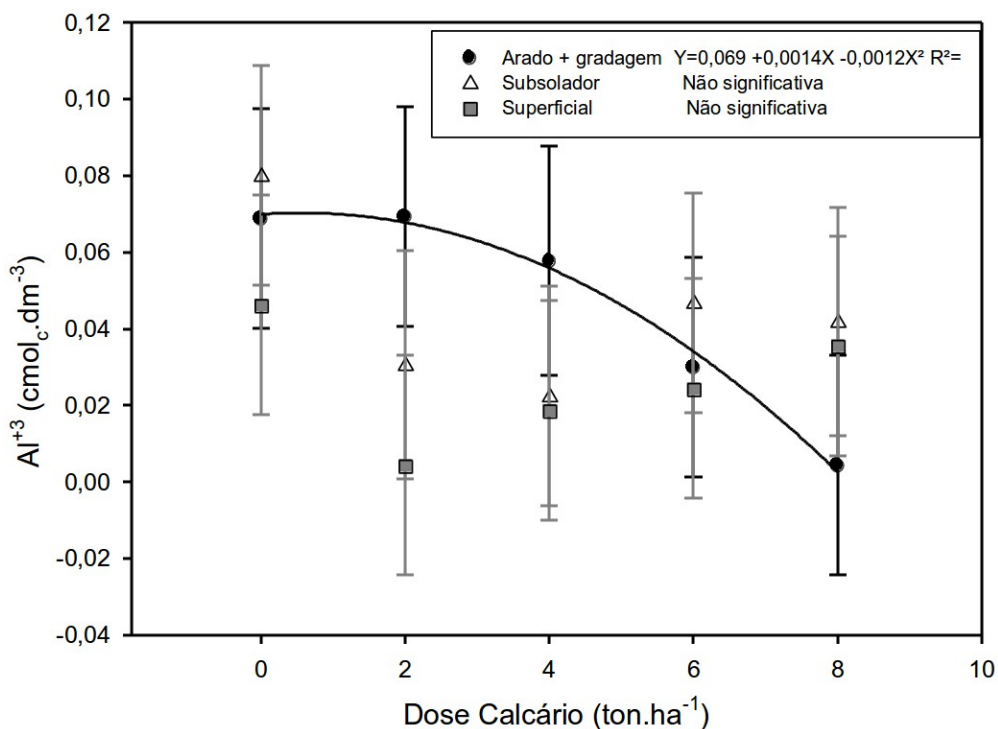
Tabela 02 – Tabela de Médias para os valores de Al^{+3} , K, MO e H+Al da análise química do solo.

		Al (cmolc dm-3)	K (cmolc dm-3)	MO (g dm-3)	H+Al
	0-5 cm	0,016 a	0,378 a	61,929 a	3,861 a
Profundidade de Amostragem	5-10 cm	0,015 a	0,214 b	55,882 b	3,947 a
	10-20 cm	0,023 a	0,125 c	51,089 c	4,656 b
	20-30 cm	0,099 b	0,107 c	43,492 d	5,225 c

Letras diferentes na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro .

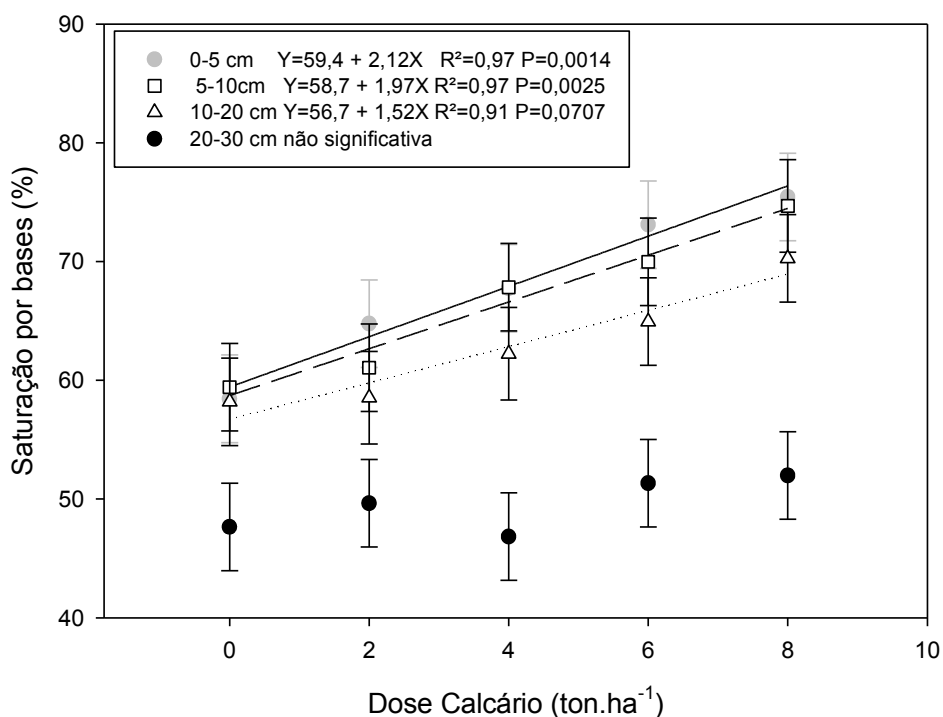
Constatou-se influência significativa da interação doses de calcário x formas de aplicação sobre os teores de Al^{+3} no solo. Na Figura 04, observa-se que após 25 meses da calagem ocorreu diferença significativa na dose de 2 t. ha^{-1} entre a aplicação de calcário com aração+gradagem ($0,069 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e a aplicação superficial ($0,004 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Segundo Kaminski et. al. (2005) a calagem superficial tem a vantagem da não mobilização do solo, mantendo assim os canais e bioporos que permitem a ação da neutralização da acidez em profundidade.

De acordo com Kornelius & Ritchey (1992) a ausência de Al^{+3} é importante para o crescimento e desenvolvimento da alfafa, e que quanto mais corrigido for o perfil do solo, melhor será o desenvolvimento das raízes, e desta forma suportar longos períodos de estiagem e ter vida prolongada.



Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 04 – Al no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário dentro de uma mesma dose de calcário.



Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 05 – Saturação por bases no solo cultivado com alfafa, em função da profundidade de amostragem do solo dentro de uma mesma dose de calcário.

Constatou-se influência significativa da interação doses de calcário X profundidade de amostragem do solo sobre a porcentagem de saturação por bases no solo (V%). Conforme observado na Figura 05, a aplicação de doses crescentes de calcário provocou aumentos dos valores de saturação por bases nas profundidades de 0-5; 5-10; 10-20 cm. Contudo na profundidade de 20-30 cm, independentemente da forma de aplicação de calcário utilizada, não se constatou aumentos dos níveis de saturação por bases nesta profundidade. Foi verificado em estudos realizados por Freiria et al. (2008), Caires et al. (2002) e Prado & Barion (2009), o aumento na saturação por bases pelo aumento das doses de calcário.

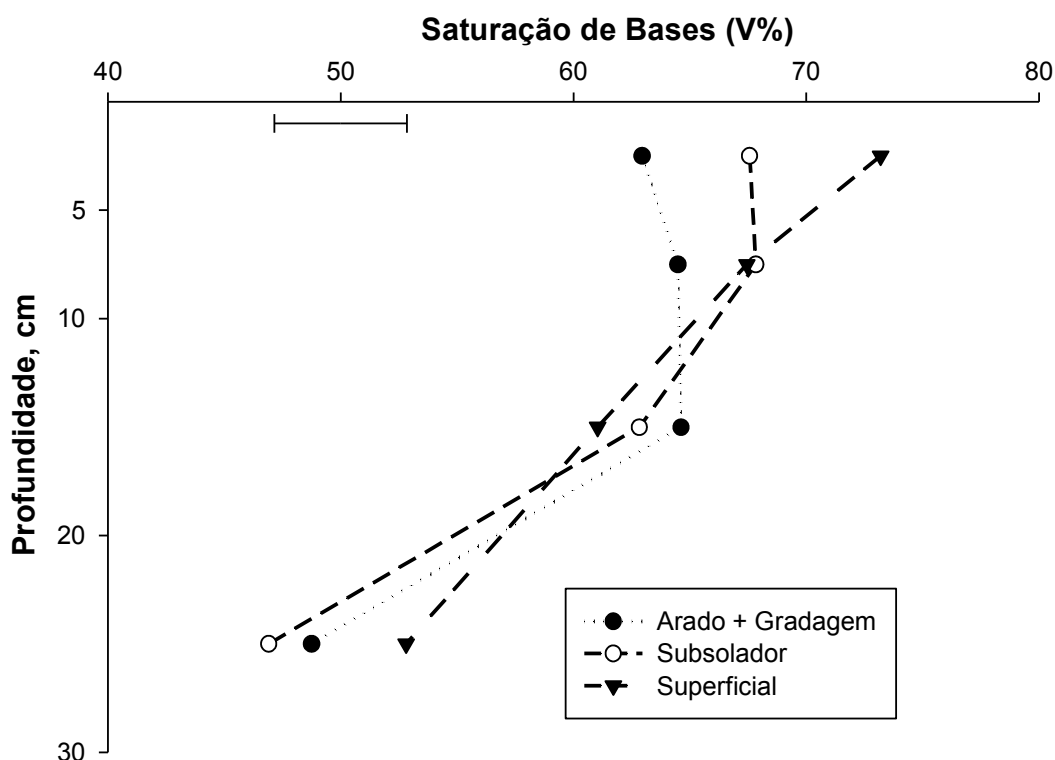
Comparando-se a análise de caracterização química do solo antes da implantação do experimento (Tabela 01) percebe-se elevação da V%. Esta elevação pode ser justificada que para ocorrer à variação de saturação por bases e a mobilidade de cátions básicos no perfil do solo é fundamental a ausência de cátions ácidos nas camadas mais superficiais (RHEINHEIMER et al., 2000).

Foi constatada influência da interação profundidade de amostragem X formas de aplicação de calcário sobre a porcentagem de saturação por bases no solo conforme observado na Figura 06. Houve diferença significativa entre as formas de aplicação do calcário na profundidade de amostragem de 0-5 cm, nesta profundidade as parcelas em que o calcário não foi aplicado de forma superficial uma saturação por bases de 73 %, enquanto que nas parcelas em que o calcário foi incorporado com operação de aração+gradagem, nesta mesma profundidade a saturação por bases constatada foi de 63%. Isso se deve ao fato de que uma maior quantidade de calcário é concentrada na camada superficial do solo na parcela em que não houve incorporação do mesmo. Porém, mesmo não ocorrendo diferença significativa na profundidade de 20-30 cm, os maiores valores de saturação por bases foram constatados quando o solo não foi revolvido, ou seja, na calagem superficial.

Freiria et al. (2008) também verificaram redução na saturação por bases com o aumento da profundidade do perfil do solo, porém esta redução foi mais acentuada quando o calcário foi aplicado em superfície. Comparando estes valores com os anteriores à aplicação de calcário, verifica-se aumento na saturação por bases até a camada de 10-20 cm, porém, mesmo na dose mais elevada (8 t. ha⁻¹) o valor máximo de saturação por bases atingido foi de 71,2% (Figura 07),

respectivamente, valores estes inferiores aos preconizados nas atuais recomendações técnicas para a cultura da alfafa no Brasil.

Resultados semelhantes foram encontrados em estudos realizados por Caires et al. (1999), onde a calagem superficial promoveu grande ação no aumento de pH, Ca + Mg trocáveis e saturação por bases e na redução da acidez potencial (H+Al), até 10 cm de profundidade, na amostragem efetuada aos 12 meses após a calagem.



Barra na horizontal compara cada profundidade entre forma de aplicação de calcário em uma mesma profundidade, pela Diferença Mínima Significativa ($p < 0,05$).

Figura 06 – Saturação por bases no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário e de profundidade de amostragem do solo.

As recomendações de saturação por bases e de pH adequados para o cultivo da alfafa no Brasil foram estabelecidas antes da consolidação do sistema plantio direto e, assim ainda se observa algumas recomendações que estipulam índices de saturação por bases (V%) para alfafa, que neste caso é considerada a profundidade de 0-20 cm, deve estar acima de 95%, que é um valor extremamente elevado, outros recomendam para correção da acidez, tanto na formação como na manutenção, o valor de 80% (WERNER et al., 1996).

Calculando-se via média ponderada, quais seriam os valores atingidos no presente trabalho, na profundidade de solo de 0-20 cm, constatou-se que os valores de saturação por bases e de pH do solo, nesta profundidade foram apenas influenciados pelas doses de calcário, sem que a forma de aplicação de calcário influenciasse estes valores.

Contudo, mesmo na mais elevada dose (8 t. ha^{-1}) observa-se na Figura 07 que o valor máximo de pH e de saturação por bases atingido foi de 5,7 e 71,2%, respectivamente, valores estes inferiores aos preconizados nas atuais recomendações técnicas para a cultura da alfafa no Brasil. Ressalta-se que quando foi calculada a necessidade de calagem para este experimento, utilizou-se o valor de saturação por bases de 80%, e para tal, considerando o valor do PRNT de calcário aplicado de 80%, a recomendação obtida foi de $2,8 \text{ t. ha}^{-1}$.

Os elevados valores preconizados pelas recomendações técnicas brasileiras para cultura da alfafa não foram adaptados para as condições edáficas vigentes em sistemas de plantio direto e, desta forma, por serem valores extremamente elevados desestimulam a adoção do cultivo desta leguminosa.

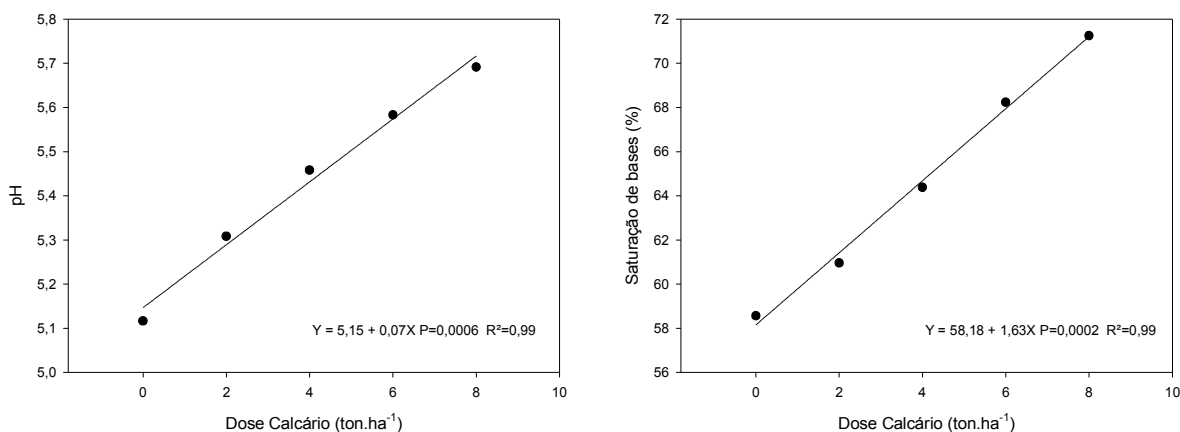


Figura 07 – pH e Saturação por Bases no solo cultivado com alfafa, em função das doses de calcário.

Constatou-se influência das doses de calcário sobre os teores de H+Al no solo. Conforme a Figura 08 observa-se que com o aumento crescente das doses de calcário há uma redução nos teores de H+Al independentemente da forma de aplicação empregada.

Comparativamente à Tabela 01, pode-se observar que houve redução dos níveis da acidez potencial, independentemente das formas de aplicação empregada, comprovando-se o efeito exercido pela calagem.

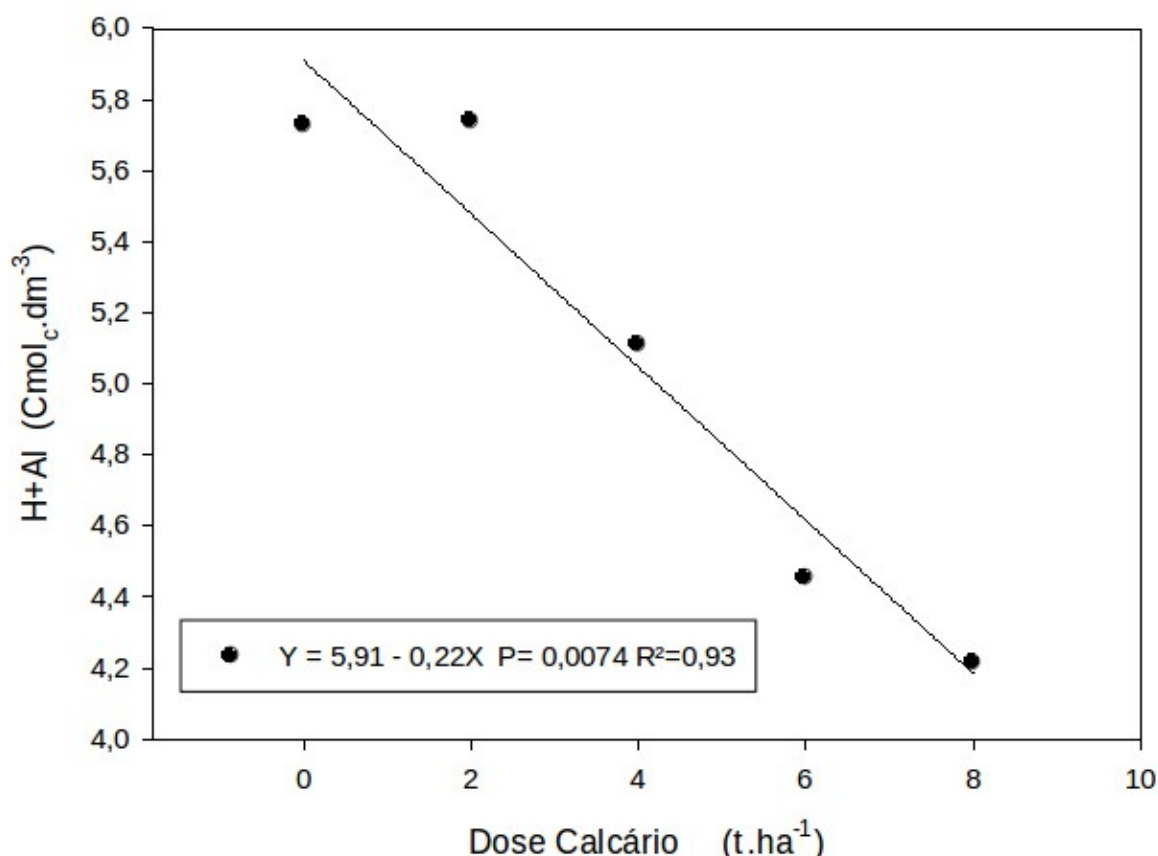


Figura 08 – H+Al no solo cultivado com alfafa, em função das doses de calcário.

Constatou-se influência da profundidade de amostragem sobre os teores de H+Al no solo. Observa-se na Tabela 02, que quanto mais se avança no perfil do solo maiores são os teores de H+Al. Provavelmente o ocorrido se deu pelo fato de o calcário ser pouco móvel, e com isso quanto mais profunda for a camada amostrada maiores serão os teores de H+Al.

Caires et al. (1999) concluíram em trabalhos realizados em Latossolo Vermelho Escuro distrófico que a calagem superficial é eficiente na correção da acidez de camadas superficiais do solo e do subsolo, aumentando a produção de culturas em rotação no sistema plantio direto, porém sugeriram que a calagem superficial somente deve ser recomendada para solos com pH (CaCl₂) inferior a 5,6 ou saturação por bases inferior a 65%, na camada de 0-5 cm.

Observa-se na Tabela 02 que foi constatada influência da profundidade de amostragem sobre os teores de potássio (K) no solo. A maior concentração de K no solo ocorreu na profundidade de 0-5 cm (0,37 cmol_c.dm⁻³). Observa-se também que com o aumento da profundidade reduz-se a concentração desse elemento no solo. É possível que isso tenha ocorrido pelo fato do grau de intemperismo do

próprio solo e/ou pelo intemperismo do material de origem que afetam os minerais e, em consequência disso as formas e as quantidades de potássio existentes no solo (VAN RAIJ, 1991). O menor valor de potássio ($0,10 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) foi constatado na profundidade de 20-30 cm.

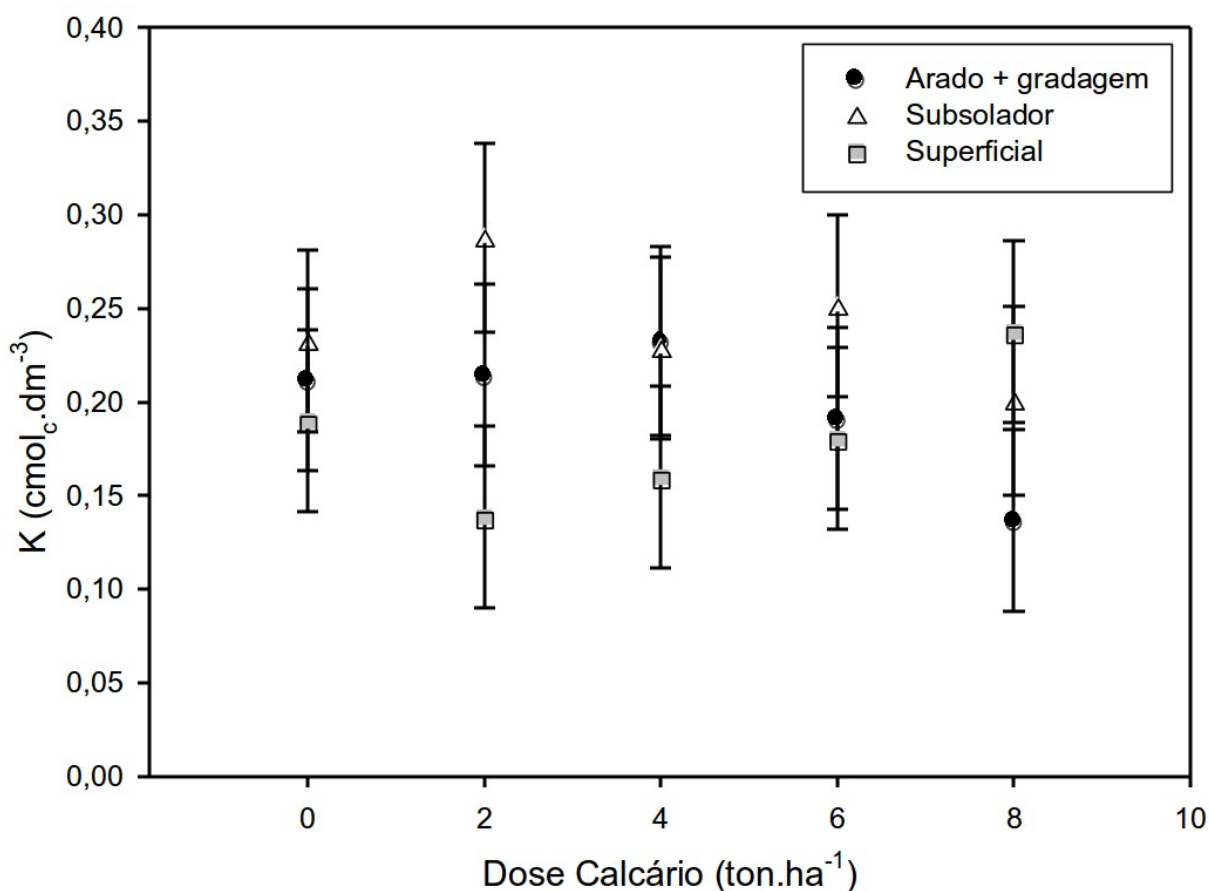
O potássio é um macronutriente essencial no processo fotossintético, e quando deficiente, a fotossíntese é reduzida e a respiração aumenta, condições que reduzem o suprimento de carboidratos para as plantas impedindo inclusive a incorporação eficiente do nitrogênio (N). Por isso, em quantidades equilibradas, o potássio eleva a persistência e a longevidade do alfafal (BERG et al., 2005). Segundo Collins et al. (1986) o potássio, além de estimular o crescimento da parte aérea das plantas, aumenta a nodulação e a fixação de nitrogênio, pois a disponibilidade de potássio vem sendo associada à fixação de N_2 na cultura.

Constatou-se influência da interação doses de calcário X formas de aplicação sobre os teores de K no solo. Observa-se na Figura 09, que na dose de 2 t. ha^{-1} de calcário houve diferença significativa entre as formas de aplicação, onde o pico de concentração do potássio foi obtido na aplicação com subsolagem ($0,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), seguido pela de aração+gradagem ($0,21 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$), e por último na superficial ($0,13 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). O fato da aplicação superficial de calcário ter provocado redução nos teores de potássio com o aumento das doses de calcário, pode estar relacionado com o aumento dos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Figura 13) na superfície do solo, pois como o K se concentra nas camadas superficiais, o aumento de Ca e Mg nessa região, faz com que ocorram deslocamento de K para a solução do solo, devido a competição pelos mesmos ânions, fazendo com que ocorram perdas por lixiviação de K.

O potássio por ser um dos nutrientes extraídos em maiores quantidades do solo na produção de alfafa, torna-se necessária atenção à adubação potássica (VOUGH & DECKER, 1992; LANYON & SMITH, 1985). Lloveras et al. (2001) verificaram em seus estudos extrações de $1500 \text{ a } 1700 \text{ kg ha}^{-1}$ (em produtividade de $21,5 \text{ t. ha}^{-1}$ de matéria seca) em solo de alta fertilidade.

O critério para recomendação de adubação deve ser a disponibilidade de potássio no solo (BERNARDI et al., 2006). Segundo Loue, (1982) o nível crítico de potássio para alfafa, varia devido a efeitos sazonais, estágio de crescimento da planta, órgão amostrado, níveis de adubação, entre outros.

A redução da quantidade de potássio no solo está diretamente relacionada à exportação resultante da produção de matéria seca. Para cada 10 toneladas de matéria seca, a alfafa bem nutrida necessita, em média, de 500 kg ha⁻¹ de potássio (RHYKERD & OVERDAHL, 1972). Moreira et al. (2005) observaram em seus estudos, a relação Ca:Mg na fertilidade de um Latossolo Vermelho Escuro, que após cortes sucessivos, o potássio foi o nutriente mais exportado.



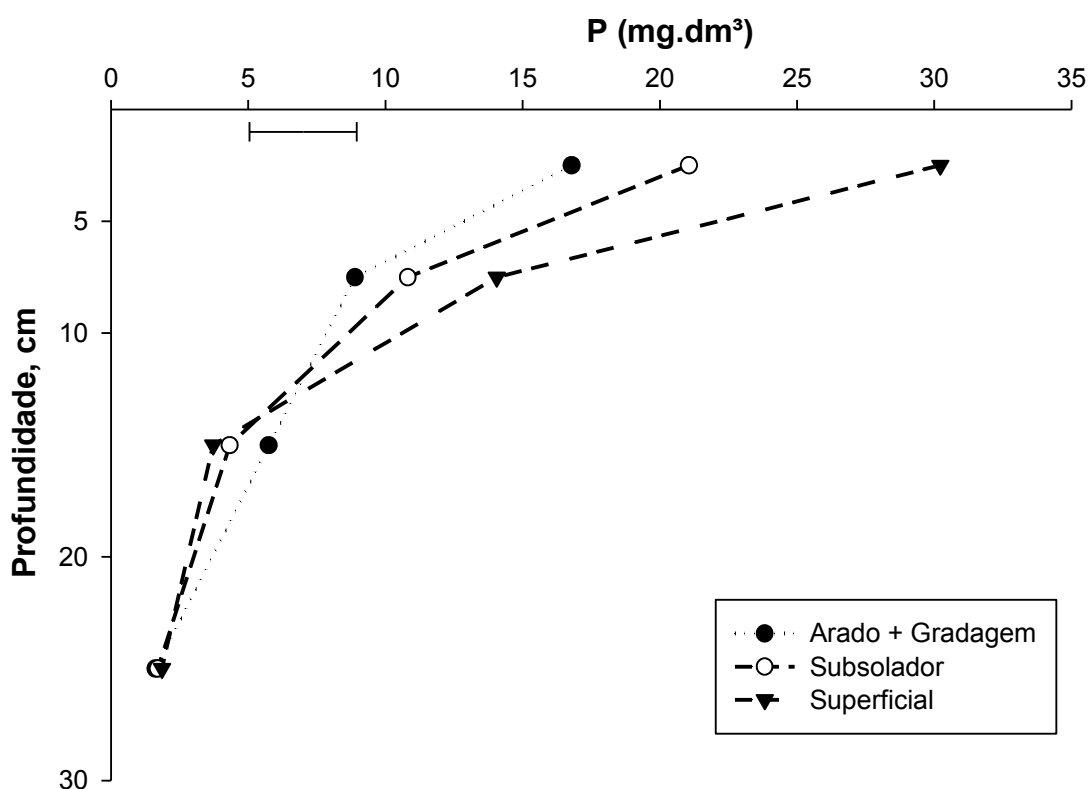
Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 09 – K no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação dentro de uma mesma dose de calcário.

Constatou-se influência da interação profundidade de amostragem X formas de aplicação do calcário sobre os teores de fósforo (P) no solo. Observa-se na Figura 10 que houve diferença significativa entre as formas de aplicação do calcário na profundidade de 0-5 cm, onde na aplicação superficial foi obtido o maior valor desse nutriente (30,21 mg dm⁻³), seguido pela aplicação com subsolador (21,06 mg dm⁻³) e posteriormente pela aplicação com aração+gradagem (16,78 mg dm⁻³).

Nas demais profundidades os resultados foram semelhantes não diferindo entre-si. Isso ocorreu provavelmente pelo fato de não haver o revolvimento do solo, pois o não revolvimento reduz a erosão do solo que permite o acúmulo do fósforo na camada superficial, aonde os sítios de adsorção mais ávidos vão sendo gradativamente preenchidos e novas adubações fosfatadas aumentam as formas mais lábeis. Além disso, a manutenção do solo constantemente coberto com plantas e seus resíduos, onde as taxas de decomposição são mais lentas e constantes, favorecem a atividade microbiana, dando maior relevância ao fósforo orgânico do solo (GATIBONI, 2003).

Após vários anos de cultivo a disponibilidade de P solúvel de natureza inorgânica tende a ser mais alta nas camadas superiores do perfil do solo, em virtude da baixa mobilidade do nutriente e do não revolvimento do solo pelas operações de preparo (MUZILLI, 1983).



Barra na horizontal compara cada profundidade entre forma de aplicação de calcário em uma mesma profundidade, pela Diferença Mínima Significativa ($p < 0,05$).

Figura 10 – P no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário e de profundidade de amostragem do solo.

Em estudos realizados por Rheinheimer et al. (2003), no sistema plantio direto (SPD), foi observado a formação de uma camada de solo junto à superfície com alto teor de matéria orgânica (MO) e disponibilidade de nutrientes, inclusive fósforo. Este comportamento é devido à adição de fertilizantes na camada superficial do solo, ausência de revolvimento do solo e redução da taxa de erosão.

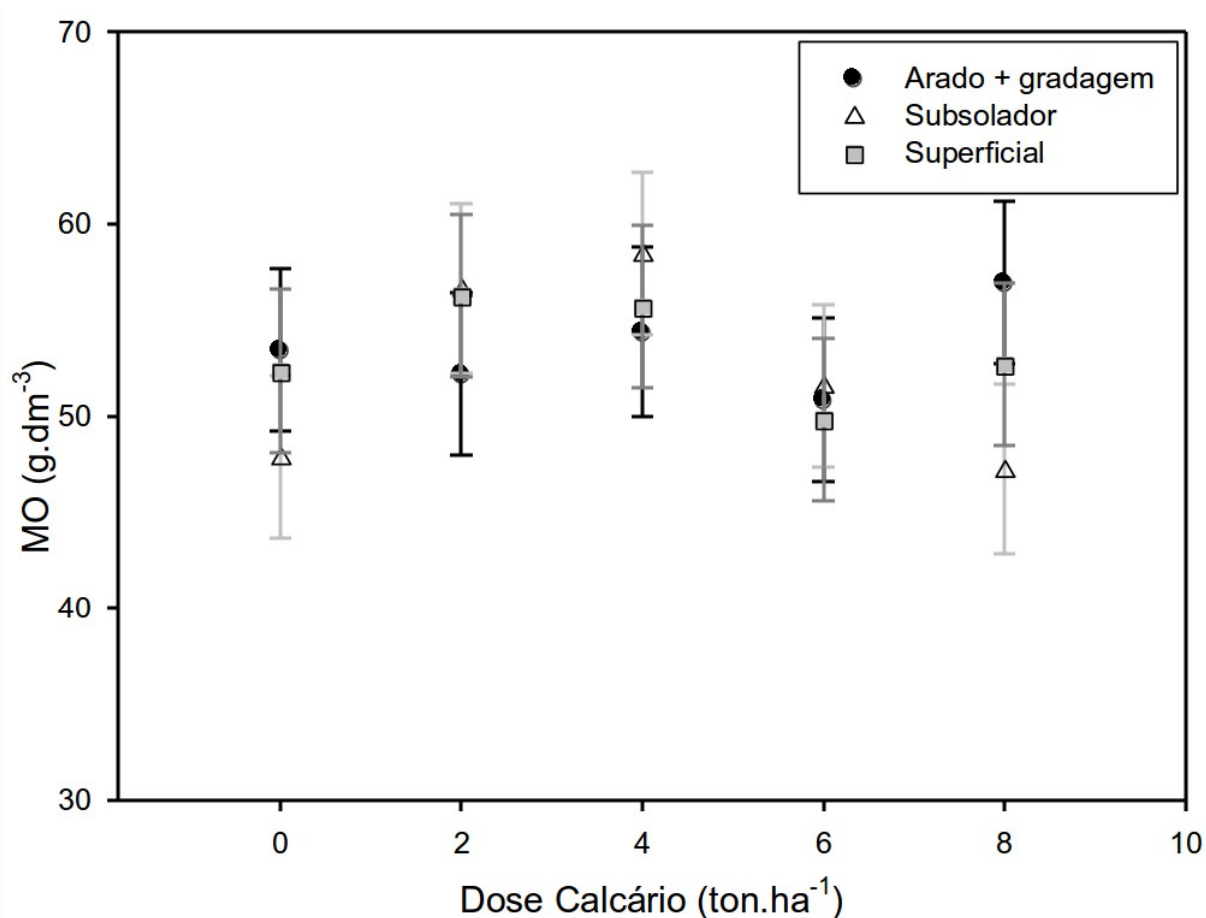
Também, no SPD a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo reduz sua taxa de decomposição, aumentando o conteúdo de matéria orgânica e de fósforo orgânico. A maior atividade microbiana na camada superficial do solo sob SPD aumenta o estoque de P orgânico armazenado na biomassa microbiana, o qual pode se tornar disponível via mineralização (CONTE, 2001).

Houve influência da interação doses de calcário X formas de aplicação sobre os teores de matéria orgânica (MO) no solo. Na Figura 11, estão representados os teores de MO encontrados no solo. O máximo valor de MO (58,46 g. dm⁻³) foi obtido na dose de 4 t. ha⁻¹ de calcário na aplicação de calcário com subsolador. Apesar do maior teor de MO ter sido encontrado na aplicação com subsolador, vale lembrar que a forma de aplicação superficial está dentro dos critérios fundamentados do SPD que contribui para o aumento da saturação por bases no complexo catiônico e conseqüentemente na melhoria da fertilidade dos solos (CALEGARI et al., 1992). Além disso, vale ressaltar que não houve diferença significativa entre as formas de aplicação empregadas exceto na dose de 8 t. ha⁻¹ de calcário, mostrando que não há necessidade de incorporação.

A matéria orgânica exerce importante papel na formação e estabilização dos agregados do solo, pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes (TISDALL & OADES, 1982). Estudos realizados por Castro Filho et al. (1998) constataram que o aumento do teor de carbono orgânico pelo acúmulo de resíduos vegetais na superfície de um Oxisol cultivado em sistema plantio direto resultou em aumento dos índices de agregação das partículas, com redução das classes de menor diâmetro e aumento das classes de maior diâmetro.

Constatou-se efeito da interação profundidade de amostragem X formas de aplicação sobre os teores de Ca+Mg do solo (Figura 12). Houve diferença significativa entre as três formas de aplicação do calcário na profundidade de 0-5 cm, onde o calcário aplicado na superfície proporcionou maior elevação dos teores Ca+Mg (11,02 cmol_c dm⁻³) nesta profundidade em comparação as demais formas de

aplicação. Isso pode ser explicado pelo fato que mesmo independente da dose utilizada a maior concentração de calcário ficou sobre a superfície do solo, sendo responsável pela elevação dos valores de Ca+Mg. Porém, observa-se que nas demais profundidades, em especial a mais profunda, ou seja, de 20-30 cm não houve diferença significativa entre as formas de aplicação do calcário, comprovando que não há necessidade de incorporação do mesmo. Dentre os fatores que contribuíram para a migração do calcário na aplicação superficial, destaca-se a preservação das características físicas do ambiente (RHEINHEIMER et al., 2000).

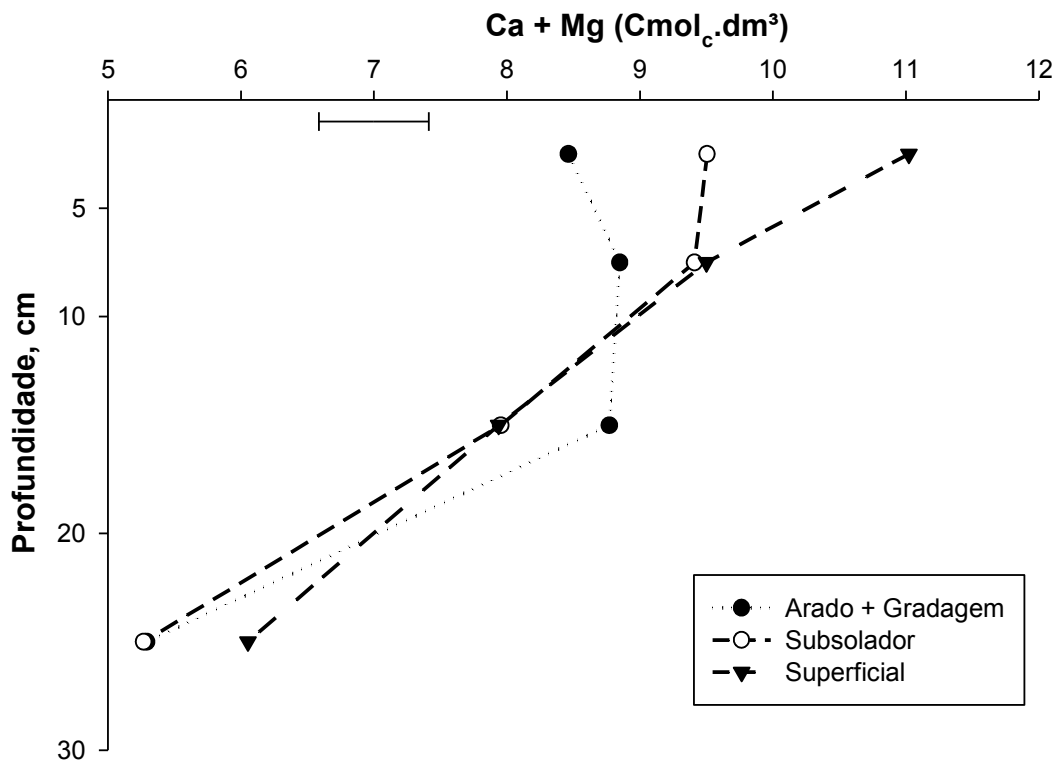


Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 11 – MO no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário dentro de uma mesma dose de calcário.

Trabalhos realizados por Rheinheimer et al. (2000); Amaral & Anghioni (2001); Moreira et al. (2001) e Ciotta et al. (2004), mostram que apesar da baixa mobilidade dos cátions Ca⁺² e Mg⁺² diante da baixa solubilidade do calcário

distribuído superficialmente no solo, a decomposição de resíduos vegetais formam complexos orgânicos hidrossolúveis capazes de formar complexos com Ca^{+2} , Mg^{+2} e Al^{+3} , elevando a dissolução do Ca e Mg e a mobilidade do calcário no perfil do solo.

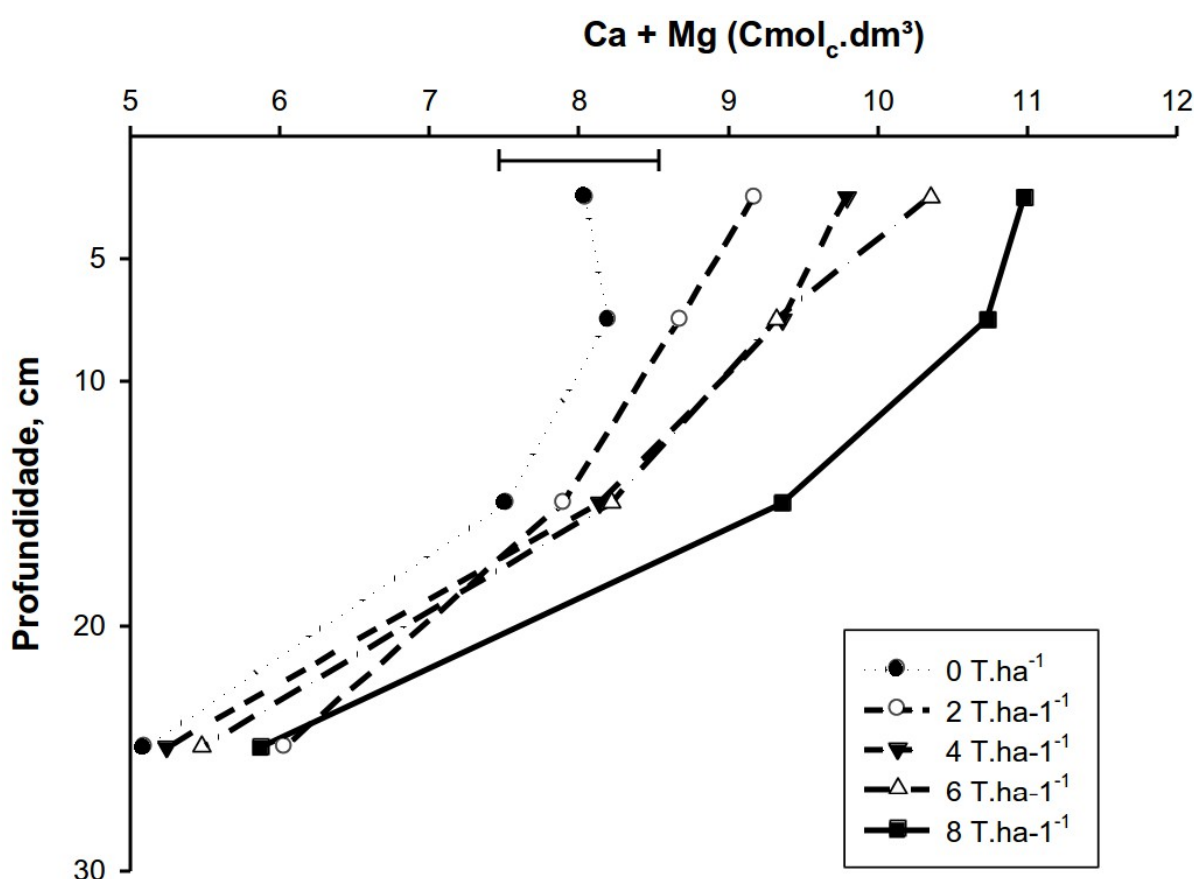


Barra na horizontal compara cada profundidade entre forma de aplicação de calcário em uma mesma profundidade, pela Diferença Mínima Significativa ($p < 0,05$).

Figura 12 – Ca+Mg no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário e de profundidade de amostragem do solo.

Constatou-se efeito da interação doses de calcário X profundidade de amostragem sobre os teores de Ca+Mg do solo. As profundidades de 0-5 cm e 5-10 cm não diferiram entre si em relação às doses de calcário, porém a profundidade de 10-20 cm diferiu das demais profundidades, nas doses de 4, 6 e 8 t. ha⁻¹ de calcário. Verifica-se na Figura 13 que o maior valor encontrado dos teores de Ca+Mg no solo foi na dose de 8 t. ha⁻¹ na profundidade de 0-5 cm (10,97 cmol_c dm⁻³). Porém o mesmo não diferiu estatisticamente do valor encontrado na profundidade de 5-10 cm na dose de 8 t. ha⁻¹ (10,72 cmol_c dm⁻³). O menor teor encontrado de Ca+Mg no solo foi nos tratamentos onde não houve aplicação de calcário e na profundidade de amostragem 20-30 cm (5,09 cmol_c dm⁻³).

À medida que foram aumentadas as doses de calcário, observa-se que houve aumento gradativo dos teores de Ca+Mg dentro de cada profundidade amostrada, exceto na profundidade de 20-30 cm (Figura 13). A justificativa para este comportamento é que quanto maior a quantidade de calcário maiores serão as concentrações de Ca+Mg no solo, sendo que um dos benefícios da calagem é a elevação desses cátions. Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Moreira & Fageria (2010), Prado & Barion (2009) e Caires et. al. (2000), os quais verificaram aumento dos teores de cálcio e magnésio no solo com o aumento das doses de calcário. Segundo Moreira & Fageria (2010) isso ocorre porque o calcário dolomítico é fonte de cálcio e magnésio.



Barra na horizontal compara cada profundidade entre doses de calcário em uma mesma profundidade, pela Diferença Mínima Significativa ($p < 0,05$).

Figura 13 – Ca+Mg no solo cultivado com alfafa, em função das profundidades de amostragem do solo e de doses de calcário.

Por outro lado se observa que quanto maiores as profundidades do perfil do solo menores foram as concentrações de Ca+Mg, devido ao calcário

apresentar baixa mobilidade enfatizando que isso ocorreu independentemente da forma de aplicação utilizada. Leite et al. (2006) também verificou tendência de redução dos teores de cálcio e magnésio com o aumento da profundidade do perfil do solo.

Em relação à Tabela 01 de caracterização química do solo, antes da implantação do experimento, houve aumento dos valores de Ca+Mg.

É estreita a relação entre as doses de calcário e os teores de Ca e Mg no solo. A capacidade dos resíduos vegetais em mobilizar cátions em solos ácidos está relacionada com o teor de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (FRANCHINI et al., 2003). Os cátions Ca, Mg, K, Na e Mn ligados nos compostos orgânicos são substituídos por H^+ ou Al^{+3} formando compostos estáveis protonados ou complexo Al orgânico (MIYAZAWA et al., 2000).

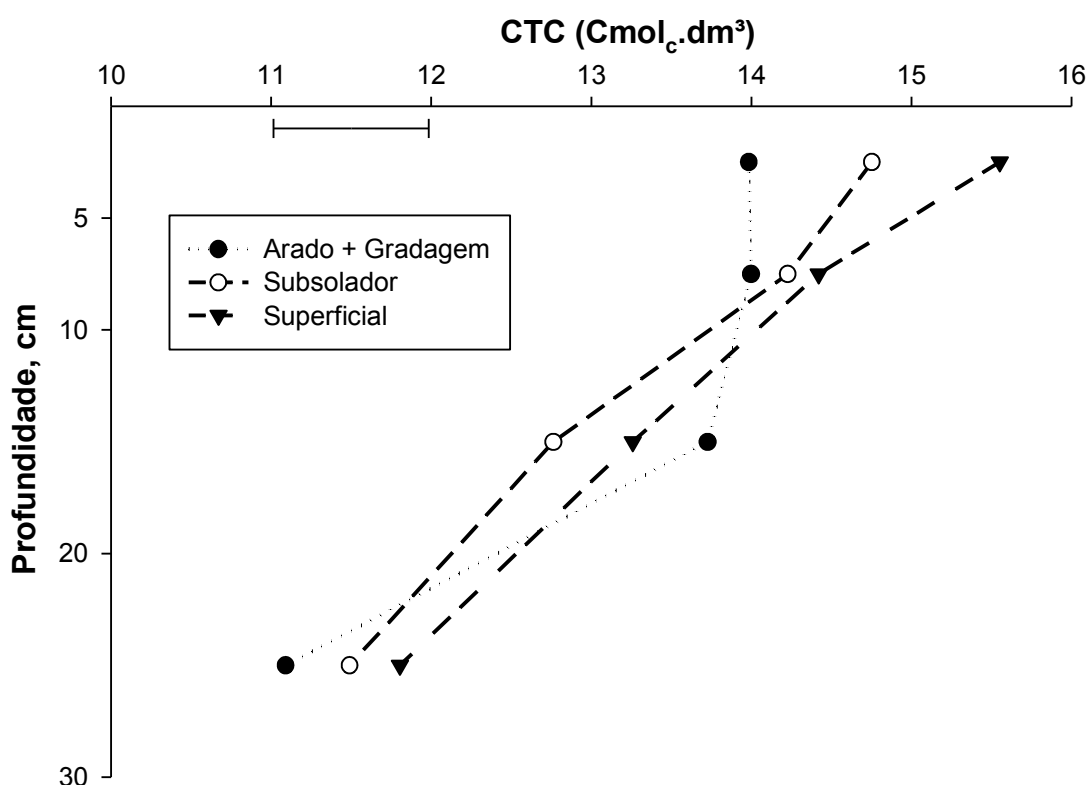
Constatou-se influência da profundidade de amostragem sobre os teores de MO no solo (Tabela 02). Observa-se que os teores de MO declinaram com o aumento da profundidade do solo, onde os valores foram de $61,92 \text{ g dm}^{-3}$ (0-5 cm) para $43,49 \text{ g dm}^{-3}$ (20-30cm). Podendo ser explicado através da hipótese que a formação da matéria orgânica no SPD ocorre principalmente pelas quantidades de carbono e nitrogênio existentes nos resíduos orgânicos mantidos na superfície do solo (AMADO et al., 1999).

O manejo sustentável da matéria orgânica do solo é imprescindível para a conservação da capacidade produtiva do solo em longo prazo. O efeito do manejo sobre os estoques de matéria orgânica é dependente do tipo de solo, pois ela apresenta estreita relação com as demais propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (CIOTTA et al., 2003).

Em estudos realizados por Bayer (1996) percebeu-se uma redução quase que pela metade da taxa de decomposição da matéria orgânica no solo em sistema plantio direto (SPD) em comparação ao sistema de preparo convencional (SPC), com reflexos positivos no aumento dos estoques de carbono orgânico. O SPD melhora a porosidade do solo, contribuindo para a aeração, infiltração e armazenamento da água no solo, favorecendo maior agregação das partículas.

A calagem, quando executada dentro de critérios bem fundamentados, exerce vários efeitos benéficos na cultura da alfafa dentre eles está o favorecimento da mineralização da matéria orgânica atuando como fonte de nitrogênio (N), fósforo (P), enxofre (S), boro (B) e de outros elementos (HAVLIN et al., 1999).

Constatou-se influência da interação profundidade de amostragem X formas de aplicação do calcário sobre a CTC do solo (Figura 14). Houve diferença significativa entre as formas de aplicação do calcário na profundidade de 0-5 cm, onde a calagem superficial mostrou-se mais eficiente (maiores valores de CTC) em relação às outras formas de aplicação. Podendo ser explicado pelo fato de que o SPD (aplicação superficial) contribui para a redução da oxidação da matéria orgânica, destacando-se como estratégia eficaz para promover à melhoria das propriedades físicas (agregação, porosidade, aeração, infiltração de água), o aumento da CTC, a liberação gradativa do nitrogênio, a construção de um reservatório de fósforo lábil no perfil cultural do solo e a correção da acidez por processos organo-químicos sem a necessidade de incorporação do calcário ao solo (MUZILLI, 1996).



Barra na horizontal compara cada profundidade entre forma de aplicação de calcário em uma mesma profundidade, pela Diferença Mínima Significativa ($p < 0,05$).

Figura 14 – CTC no solo cultivado com alfafa, em função de formas de aplicação de calcário e de profundidade de amostragem do solo.

2.6 CONCLUSÕES

1- A aplicação de calcário, mesmo que de forma superficial, provocou aumentos de pH, dos teores de Ca e Mg e da saturação por bases do solo, bem como, causou a diminuição dos teores de Al e da acidez potencial do solo ($H+Al$), sendo estes efeitos percebidos nas camadas mais inferiores do solo.

2- Os valores recomendados de pH e saturação por bases para o cultivo de alfafa no Brasil são superestimados.

3- A prática de aração e gradagem ou de subsolagem visando a incorporação de calcário no sistema plantio direto é desnecessária. O calcário deve ser aplicado de forma superficial quando o alfafal a ser implantado será em solos de estabilizados sistema plantio direto.

3 EFEITO DE FORMAS DE APLICAÇÃO E DOSES DE CALCÁRIO SOBRE A PRODUÇÃO VEGETAL E COMPOSIÇÃO MINERAL DA PARTE AÉREA DE PLANTAS DE ALFAFA CULTIVADA EM SISTEMA PLANTIO DIRETO

3.1 RESUMO

A alfafa é uma forrageira que combina ótimas qualidades nutricionais á elevadas produções, porém é muito sensível a acidez do solo. Na região Sul do Brasil, a correção dos solos é indispensável para alcançar altos níveis de produção da maioria das culturas cultivadas. A acidez do solo pode afetar diretamente o seu desenvolvimento e constituição nutricional. A calagem é o método mais barato para corrigir a acidez do solo. A aplicação do calcário no solo pode ser realizada tanto com incorporação ou sobre a superfície. No sistema de plantio direto preconiza-se o não revolvimento do solo. Este trabalho tem por objetivo avaliar o efeito de diferentes doses de calcário combinadas a distintas formas de aplicação sobre o desenvolvimento da cultura da alfafa. O experimento foi conduzido na Estação Experimental do Instituto Agrônômico do Paraná, localizada no Município de Pato Branco - PR. A cultivar utilizada foi a Crioula. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas sub-sub divididas, consistindo-se em um trifatorial 3 x 5 x 15, resultando em 225 tratamentos por bloco. As parcelas constituíram-se pelos dias acumulados (56, 116, 144, 184, 220, 248, 286, 322, 353, 391, 432, 485, 530, 574 e 597 dias), as sub-parcelas pelas formas de aplicação de calcário (aração+gradagem, subsolagem e superficial) e as sub-sub parcelas pelas doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 t. ha⁻¹). Apenas em um período de avaliação de taxa de acúmulo de matéria seca (220 dias acumulados) foi observada influência da forma de aplicação de calcário, sendo que nas 14 demais avaliações, não se constatou efeito deste fator. Não houve resposta da cultura em doses superiores a 2 t. ha⁻¹ sobre a taxa de acúmulo diária. Plantas cultivadas com 4 t. ha⁻¹ de calcário nas parcelas sem incorporação apresentaram teores de N do tecido foliar da alfafa superiores aos encontrados nas demais plantas onde o calcário foi incorporado. Conclui-se que não há inconveniência da aplicação do calcário na superfície do solo sobre os teores foliares de Ca, K, Mg e P para alfafa cultivada sob sistema plantio direto.

Palavras-chave: Calagem. Formas de aplicação do calcário. Taxa de acúmulo de matéria seca diária.

3.2 ABSTRACT: EFFECT OF APPLICATION WAYS AND DOSAGE OF LIMESTONE ON CROPS AND MINERAL COMPOSITION OF AIR PLANT PART OF ALFALFA GROWN IN DIRECT SYSTEM PLANTING

Alfalfa is forage that combines great nutritional qualities will high yields, but is very sensitive to soil acidity. In southern Brazil, the patch of land is essential to achieve high levels of production of most crops grown. Soil acidity can directly affect their development and nutritional constitution. Liming is the cheapest method to correct soil acidity. Application of lime in the soil can be carried out either with or

incorporation on the surface. No-tillage system calls up the untilled soil. This study aims to evaluate the effect of different doses of lime combined with different forms of application to the development of culture of alfalfa. The experiment was conducted at the Experimental Station of the Agronomic Institute of Paraná, located in Pato Branco - PR. The cultivar used was Creole. The experimental design was a randomized block design with four replications in a split plot, consisting in a factorial $3 \times 5 \times 15$, resulting in 225 treatments per block. The plots were constituted by accumulated days (56, 116, 144, 184, 220, 248, 286, 322, 353, 391, 432, 485, 530, 574 and 597 days), the sub-plots for application forms limestone (plowing + disking, sub soiling and surface) and the sub-sub plots for limestone (0, 2, 4, 6 and 8 t. ha⁻¹). Only in an evaluation period of accumulation rate of dry matter (220 cumulative days) was observed influence of lime application form, and the 14 other reviews, had no effect of this factor. There was no crop response at doses above 2 t. ha⁻¹ on the accumulation rate daily. Plants grown with 4 t. ha⁻¹ of lime in the plots without incorporation showed concentration of the alfalfa leaf tissue than those found in other plants where the limestone was incorporated. Concluded that there is no inconvenience of applying lime the soil surface on foliar Ca, K, Mg and P for alfalfa grown under no-tillage system.

Keywords: Liming. Methods of application of limestone. Rate of dry matter daily.

3.3 INTRODUÇÃO

Por apresentar boas características forrageiras é que a alfafa (*Medicago sativa* L.) tornou-se uma espécie que desde a antiguidade vem sendo cultivada e utilizada principalmente por apresentar alta produtividade, qualidade proteica, digestibilidade, ser palatável e fixar o nitrogênio atmosférico (BOTREL et al., 1994; VILELA, 2001).

Em razão dessas características, a alfafa pode fazer parte da composição alimentar de várias espécies animais. Além disso, possui uma grande versatilidade de utilização como nas formas de feno, silagem, pellets, forragem verde ou ainda sob pastejo (NUERNBERG et al., 1990).

O interesse no seu cultivo está relacionado às suas qualidades nutritivas excepcionais, é rica em proteínas, cálcio, fósforo e vitaminas A, B1, B2, C, E e K (NUERNBERG, 1986).

O cultivo da alfafa no Brasil ainda é pouco explorado, concentrando-se principalmente na Região Sul, aonde chegaram a ser explorados cerca de 26.000 ha⁻¹ (PEREIRA et al., 2001). Dentre os fatores que dificultam a sua expansão estão a pequena disponibilidade de informações técnicas sobre sua exploração em

condições tropicais, e a falta de cultivares adaptadas às diferentes condições edafoclimáticas do Brasil.

Quando bem manejada esta cultura, possibilita a produção de um material de excelente qualidade, com até onze cortes por ano, no mínimo cerca de cinco cortes a mais que nos países de clima temperado (ANCHÃO, 1995), podendo alcançar produtividade anual de matéria seca de aproximadamente 20 t. ha⁻¹ (RASSINI et al., 2008).

A perspectiva para o cultivo da alfafa no Brasil é grande, devido às boas condições de clima e a possibilidade de maior produção em relação aos maiores países produtores, apesar das tímidas iniciativas até o presente momento e praticamente restrita à fenação.

Devido às suas qualidades nutritivas excepcionais, a alfafa é provavelmente a cultura que remove maiores quantidades de Ca e Mg e, dentre as leguminosas, talvez a mais exigente em termos de pH do solo (CARVALHO et al., 1994), daí a importância do correto manejo da fertilidade do solo e da correção de sua acidez que pode ser realizada através da prática da calagem.

O material mais utilizado para neutralizar o efeito tóxico do alumínio no solo tem sido o calcário, contribuindo significativamente para maior renda agrícola, em função da sua ação que melhora os atributos químicos, físicos e biológicos do solo. Para ser eficiente, o calcário tem de ser aplicado em quantidades e intervalos de tempo adequados, de modo que a resposta das culturas seja adequada (NOLLA & ANGHINONI, 2004). O cálcio um dos componentes do calcário é necessário para formar células novas das plantas, por isso é essencial para os pontos de crescimento dos caules e raízes. Baixos níveis de cálcio no solo também afetam negativamente a nodulação das leguminosas.

Os efeitos benéficos da calagem sobre as culturas continuam por vários anos após a aplicação do calcário, denominando-se de efeito residual. Estudos vêm mostrando que o efeito da calagem é maior do segundo ao quarto ano, tendendo depois a diminuir.

A acidez do solo pode ocasionar a deficiência de nitrogênio que reduz a população de *Rhizobium meliloti* bactéria que, em associação mutualista, fixa o nitrogênio atmosférico em quantidades que correspondem a 50 a 463 kg de N ha⁻¹ ano, em média de 200 kg de N ha⁻¹ ano (HANSON et al., 1988).

Em razão da sensibilidade da alfafa e da referida bactéria à acidez do solo, o seu cultivo em solos que apresentam problemas de acidez, baixa saturação por bases e altos teores de alumínio, só é possível após a aplicação de calcário, que elimina os efeitos negativos da acidez e supre as exigências de cálcio e magnésio da planta e bactéria (REICHARDT, 1981).

Para aumentar a longevidade e produção do alfafal, é necessário obter maior eficiência do sistema radicular na absorção de água e nutrientes que pode ser feito por meio da realização de algumas práticas de manejo, tais como calagem na implantação da cultura, que aumenta as propriedades químicas do solo, tais como a saturação por bases, pH, Ca e Mg (MOREIRA & FAGERIA, 2010) e análises anuais de solo e de planta para efeito de calibração do estado nutricional das plantas, controle de pragas e de doenças e utilização da irrigação se necessário.

O objetivo deste trabalho é avaliar o efeito das diferentes doses de calcário combinadas a distintas formas de aplicação sobre o desenvolvimento da cultura da alfafa.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em latossolo vermelho distroférico, com relevo ondulado de textura argilosa (BHERING et al. 2008). A Tabela 03 apresenta as características químicas do solo coletado no mês de fevereiro de 2010, antes da implantação do experimento.

Tabela 03 – Características químicas do solo antes do início do experimento - UTFPR 2010.

Prof.	pH	MO	Al ³⁺	H+ Al	Ca	Mg	CTC	K	P	V
<i>Cm</i>	<i>CaCl₂</i>	<i>g dm⁻³</i>								
				<i>Cmol_(c) dm⁻³</i>				<i>mg dm⁻³</i>	<i>%</i>
0 - 10	5,4	42,8	0,00	3,97	6,44	2,81	13,85	0,63	31,5	71
10 - 20	4,8	40,2	0,18	5,35	3,75	1,87	11,47	0,50	6,9	53
20 - 40	4,6	29,5	0,47	5,35	1,91	1,26	8,72	0,20	2,7	40

MO=Matéria orgânica V= Saturação de bases CTC= Capacidade de Troca de Cátions.

A área é pertencente à Estação Experimental do Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR, localizada no Município de Pato Branco – PR, que se encontra

na região fisiográfica denominada Terceiro Planalto Paranaense, entre as coordenadas de 25°07' latitude Sul e 52°41' longitude Oeste e tem altitude média de 700 m. As atividades do presente estudo tiveram início no ano de 2011 estendendo-se até 2012.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa em transição para Cfb (MAAK, 1968). A precipitação pluviométrica dos últimos dez anos tem variado de 1.578 a 3.101 mm por ano e a temperatura máxima 25°C e mínima de 14,2°C. A caracterização meteorológica do período estudado está descrito na Figura 15.

Por mais de quinze anos a área experimental foi utilizada em sistema plantio direto, nos verões eram cultivados milho em rotação com soja e nos invernos utilizava-se a rotação de cereais de inverno com nabo forrageiro.

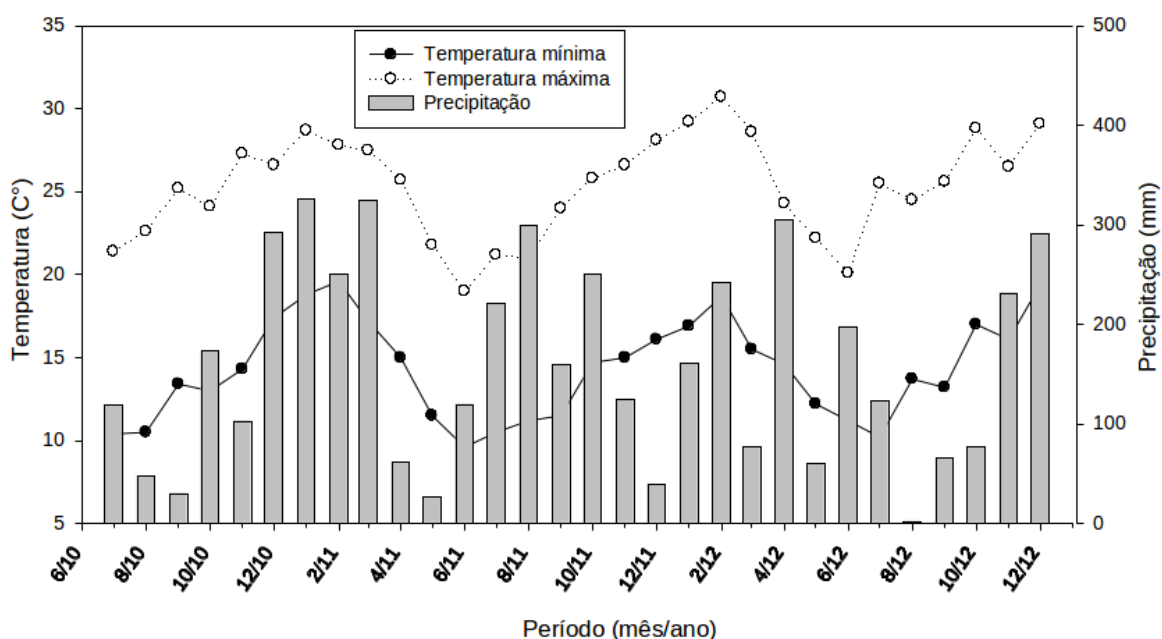


Figura 15 – Temperatura média e precipitação pluviométrica durante o período de implantação da cultura da alfafa e o período experimental (junho de 2011 a dezembro 2012) IAPAR-UTFPR.

As doses de calcário foram aplicadas em julho de 2010, com as operações de aração+gradagem e subsolagem nos tratamentos com incorporação. A profundidade de atuação da aração+gradagem foi de 25 até 30 cm de profundidade, sendo que o arado utilizado foi o de discos. Já a profundidade atingida pelo subsolador ou também conhecido popularmente por pé de pato foi de 30 até 35 cm de profundidade. As doses de calcário usadas foram: 0, 2, 4, 6 e 8 t. ha⁻¹ O critério

utilizado para definir as doses foi através da recomendação de calagem para a cultura realizada por meio dos dados da análise química do solo antes da implantação do experimento.

O calcário utilizado foi do tipo dolomítico com um poder relativo de neutralização total (PRNT) de 80% e as doses usadas foram convertidas para valores de PRNT 100%.

A cultivar utilizada foi a Crioula, com densidade de 20 kg de sementes por hectare. As sementes foram inoculadas no momento da semeadura com *Rhizobium meliloti* específico. A semeadura da alfafa foi realizada no dia 27 de setembro de 2010, em sistema plantio direto, com o uso de semeadora de parcela com espaçamento entre linhas de 23 cm. A adubação de semeadura foi feita com aplicação de 40 kg ha⁻¹ de K₂O e 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, repetindo-se uma vez ao ano (11/10/2011 e 29/08/2012) para manutenção da cultura, seguindo as recomendações de CQFS–RS/SC (2004).

Durante todo o experimento foram realizados tratos culturais de controle de plantas daninhas de forma manual.

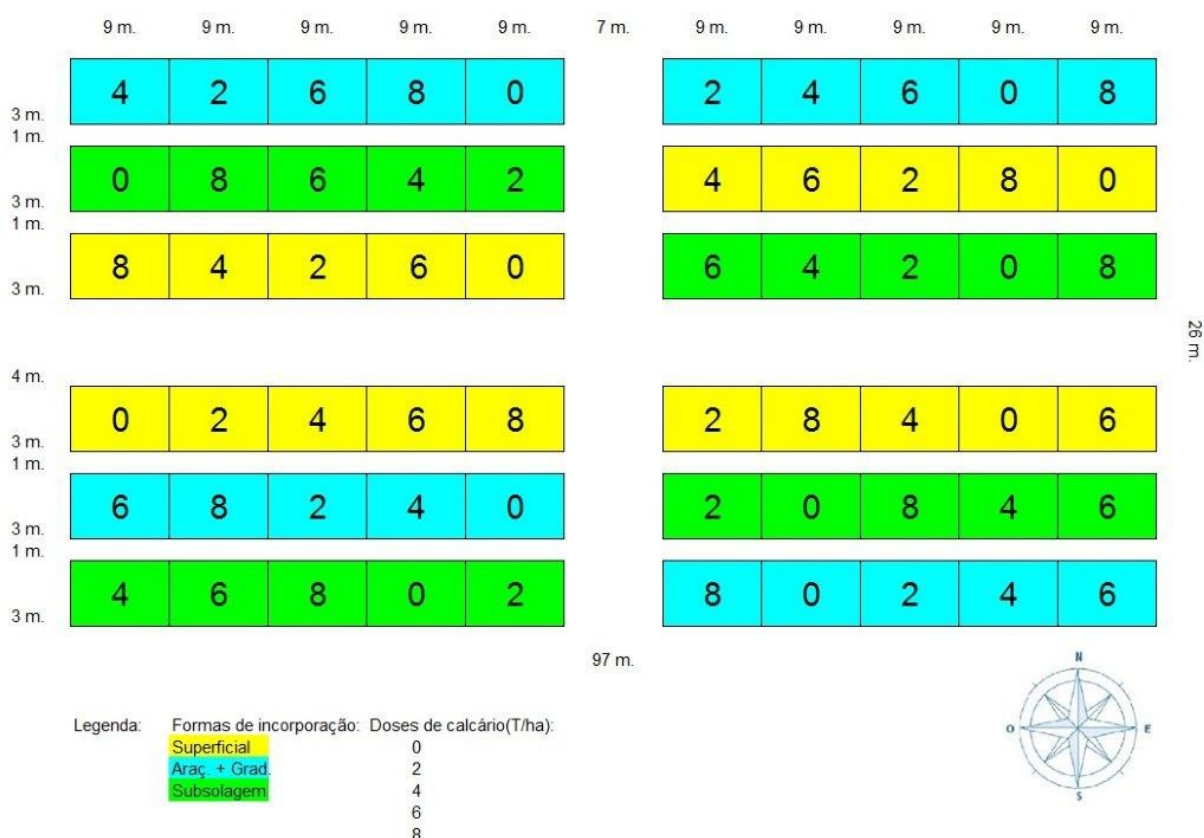


Figura 16 – Croqui experimental – UTFPR 2011.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com quatro repetições em parcelas sub-subdivididas, consistindo-se em um trifatorial 3 x 5 x 15, resultando em 225 tratamentos por bloco. As parcelas constituíram-se pelos dias acumulados (56, 116, 144, 184, 220, 248, 286, 322, 353, 391, 432, 485, 530, 574 e 597 dias), as sub-parcelas pelas formas de aplicação de calcário (aração+gradagem, subsolagem e superficial) e as sub-sub parcelas pelas doses de calcário (0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹).

A área experimental ocupada teve um total de 2500 m², e as unidades experimentais foram compostas por subparcelas de 27 m² (3 x 9 m), e 4 m entre blocos, como mostra o croqui do experimento na Figura 16.

A produção de matéria seca foi calculada a partir da amostragem da parte área das plantas em uma área de 0,25 m² por parcela. No dia 07/04/2011 foi realizado o primeiro corte (corte de uniformização), quando as plantas estavam em pleno florescimento (acima de 50% de florescimento), e a partir disso, adotou-se como critério para corte quando a alfafa estava com aproximadamente 10% de florescimento, realizados na altura de 10 cm a partir do nível do solo. O material coletado foi pesado, após levado á estufa 60°C até peso constante e novamente pesado, para assim se determinar o teor de matéria seca. Após a avaliação de MS as parcelas foram roçadas a 10 cm do solo e posteriormente o material verde cortado foi removido das parcelas. No verão o critério adotado para a leitura da altura das plantas foi o de ponto de corte, ou seja, era realizado sempre que as mesmas apresentavam de 10 a 20% de florescimento. Já no inverno quando o florescimento é cessado a forma de avaliação utilizada foi pela altura de inserção das brotações, quando estas alcançavam 5 a 8 cm em relação á coroa.

Na Tabela 04 estão apresentados os dias de coletas de MS, datas das coletas em que foram realizadas as análises foliares (N, P, K, Ca e Mg). Resultando em um total 15 avaliações e 597 dias acumulados de experimento. O tempo de experimento foi dividido em dois períodos de avaliação (Ano 01 e Ano 02) sendo que o Ano 01 foi de Junho de 2011 á Fevereiro de 2012, e o Ano 02 de Abril de 2012 á Dezembro de 2012.

A produção de MS total foi obtida pelo somatório da matéria seca obtida em cada corte.

Tabela 04 – Dias de coletas, dias entre as avaliações para a produção de matéria seca e concentração de N, P, K, Ca e Mg.

Coleta	Dias da avaliação		Dias entre avaliações		Dias de Experimento
	MS	Concentração de N, P, K, Ca e Mg	MS	Concentração de N, P, K, Ca e Mg	
Corte de Uniformização	07/04/2011	-	0	0	0
jun/11	03/06/2011	03/06/2011	56	56	56
jul/11	--	-	-	-	--
ago/11	03/08/2011	-	60	-	116
set/11	01/09/2011	-	28	-	144
out/11	11/10/2011	-	40	-	184
nov/11	17/11/2011	17/11/2011	36	36	220
dez/11	15/12/2011	-	28	-	248
jan/12	23/01/2012	23/01/2012	38	38	286
fev/12	29/02/2012	-	36	-	322
mar/12	--	-	-	-	--
abr/12	01/04/2012	01/04/2012	31	31	353
mai/12	09/05/2012	-	38	-	391
jun/12	20/06/2012	20/06/2012	41	41	432
jul/12	--	-	-	-	--
ago/12	13/08/2012	-	53	-	485
set/12	28/09/2012	-	45	-	530
out/12	--	-	-	-	--
nov/12	12/11/2012	-	44	-	574
dez/12	05/12/2012	-	23	-	597

A taxa de acúmulo foi calculada entre os cortes dividindo a produção de matéria seca pelo número de dias entre sua respectiva avaliação. A produção de MS acumulada foi obtida pelo somatório da matéria seca obtida em cada corte.

A Máxima Eficiência Técnica foi obtida a partir do ponto de máxima de uma equação de segundo grau, que é calculada igualando-se a zero a derivada de primeira equação e encontrando-se posteriormente o valor de x, conforme a equação apresentada a seguir (CHASTON, 1971).

$$Y = a + bX - cX^2$$

$$\frac{dY}{dX} = b - 2cx \quad x = \frac{b}{2c}$$

Após a secagem e determinação da matéria seca, as amostras foram moídas em moinho Willey equipado com peneira de 40 mesh. Posteriormente, foram encaminhadas estas amostras para o laboratório de análises foliares do IAPAR em

Londrina, para a determinação das análises de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

O nitrogênio foi determinado digerindo-se 0,2 g de tecido a 350°C na presença de ácido sulfúrico (H_2SO_4) e de 0,7 g de uma mistura de digestão ($Na_2SO_4 + CuSO_4 + 5H_2O$) e destilação em destilador de arraste de vapor semi micro Kjeldhal, com adição de hidróxido de sódio (NaOH), sendo o destilado recolhido em indicador de ácido bórico e posterior titulação com H_2SO_4 (TEDESCO et al., 1995). O fósforo, por colorimetria de azul de molibdênio, o potássio, por fotometria de chama de emissão, o cálcio e magnésio, por espectrofotometria de absorção atômica (MALAVOLTA et al., 1997).

Os resultados das avaliações foram submetidos à análise de variância. As variâncias foram avaliadas pelo teste de Bartlett, quanto à homogeneidade. As variáveis que se mostraram homogêneas tiveram os tratamentos avaliados pelo Teste F. Quando os resultados revelaram significância a 5 ou 1% de probabilidade, as médias dos fatores qualitativos (Formas de aplicação e Dias acumulados) foram comparadas pelo Teste Mínima Diferença Significativa a 5% de probabilidade. Para os fatores quantitativos (doses de calcário), as equações foram ajustadas com F significativo pelas regressões polinomiais entre as doses de calcário (variável independente) com as demais variáveis dependentes, buscando o modelo que melhor expressasse esta relação. Foram testados modelos linear e quadrático e a escolha foi baseada na significância do coeficiente determinação (menor que 8%).

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme observado na Figura 17, constatou-se efeito das doses de calcário sobre a taxa de acúmulo diário de MS, independente da forma de aplicação do mesmo. A máxima eficiência técnica foi obtida com a aplicação de 5,9 t ha⁻¹ de calcário, que resultou em uma taxa de acúmulo de 66 kg ha⁻¹.dia⁻¹. Por outro lado, por meio da equação obtida, constata-se que com a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário, a taxa de acúmulo obtida foi de 64 kg ha⁻¹ dia. Assim, com a aplicação de menos de um terço da dose de calcário indicada observa-se a redução de apenas 3% na taxa de acúmulo. Deste modo, é possível recomendar a aplicação de 2 t ha⁻¹ de calcário, independentemente da forma de incorporação do mesmo.

A alfafa é capaz de produzir rendimentos tão elevados como 28 t de MS ha⁻¹ ano sob condições não limitantes (BROWN, 2004). Ferragine et al. (2004) encontrou em seus estudos que o potencial de produção da alfafa no Brasil é acima de 25 t MS ha⁻¹ ano. No Rio Grande do Sul a produtividade média é de 10 toneladas de MS de feno ha⁻¹ ano⁻¹ (MITTELNANN et al., 2008).

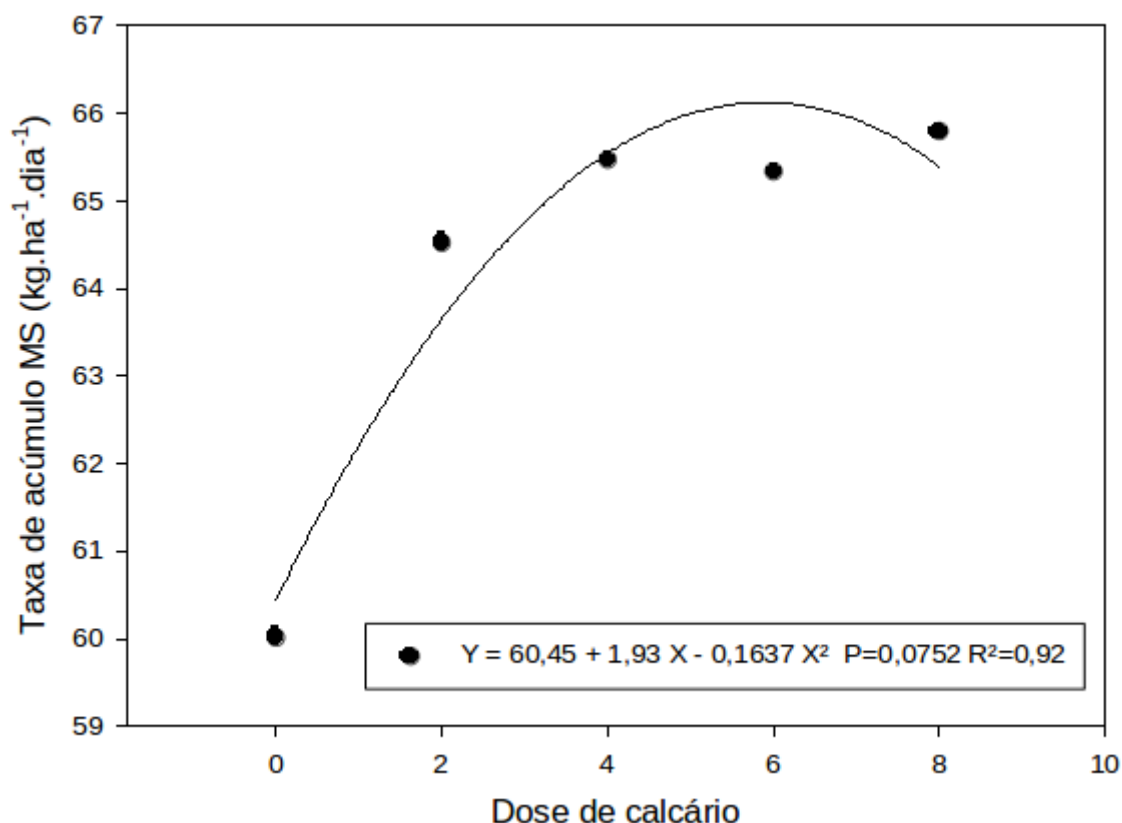


Figura 17- Taxa de acúmulo de matéria seca de alfafa em um período de 597 dias em função de doses de calcário.

Segundo Paim (1994) o potencial de produção de matéria seca de alfafa é estimado em 22 t. ha⁻¹ ano⁻¹, porém torna-se difícil atingir esta produção, em virtude das limitações de ambiente e manejo, contudo no presente experimento dentro do período de avaliação de junho de 2011 a dezembro de 2012 constatou-se um acúmulo de 45.427 kg. ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea das plantas de alfafa, sem que este acúmulo tenha sido influenciado pelas doses de calcário ou pela forma de aplicação do mesmo (Figura 18). No ano 01 não houve efeito das doses e nem das formas de aplicação do calcário resultando em uma produção de 18.264 kg. ha⁻¹ de MS da parte aérea das plantas de alfafa. Porém no ano 02, constatou-se efeito das doses de calcário, sendo que a maior produtividade atingida foi na dose com 2 t.

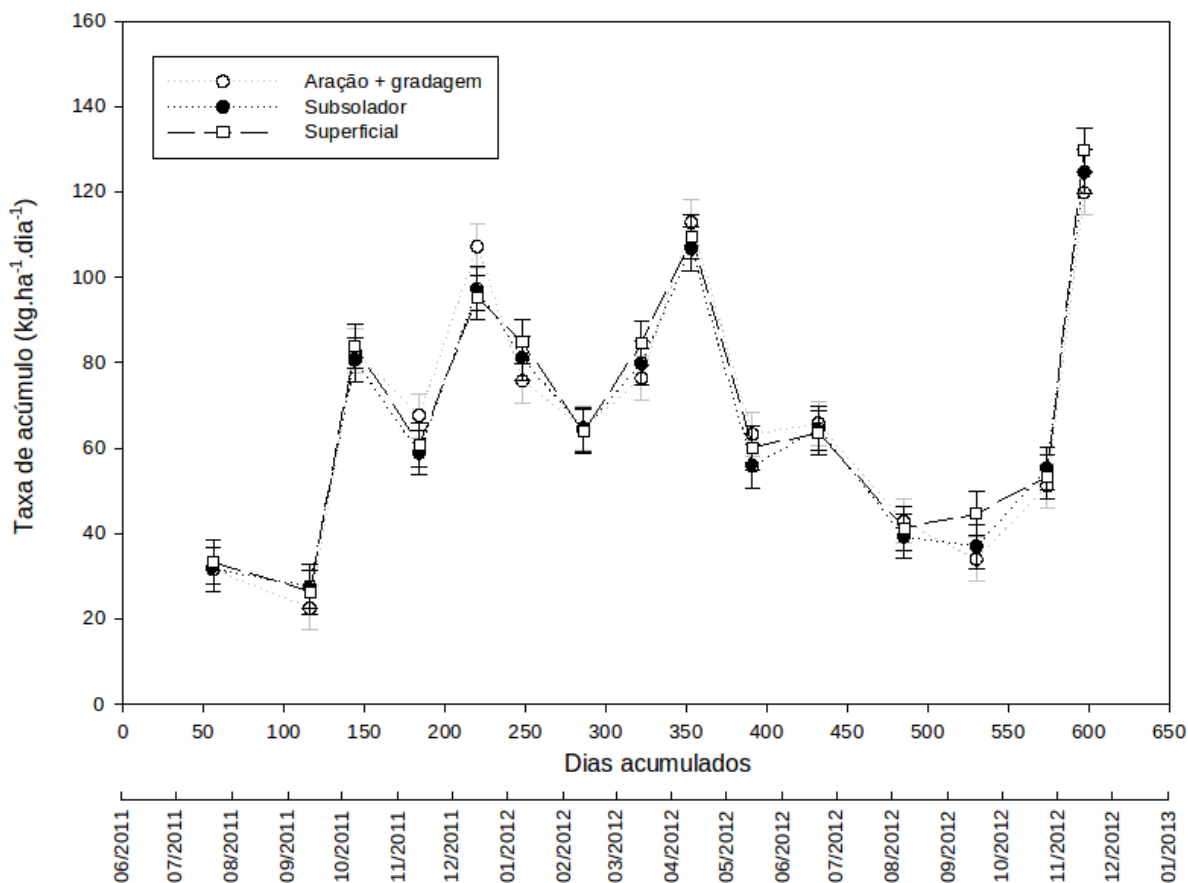
ha⁻¹ de calcário, resultando em uma produtividade de 16.314 kg. ha⁻¹ de matéria seca da parte aérea das plantas de alfafa.

Já quando avaliada a taxa de acúmulo diário constatou-se efeito da interação dias acumulados X formas de aplicação do calcário sobre a taxa de acúmulo diária de alfafa, independente das doses de calcário (Figura 18). Apenas aos 220 dias acumulados de avaliação (novembro/2011), constatou-se que a forma de aplicação de calcário via aração e gradagem (102 Kg ha⁻¹ dia⁻¹) apresentou valores estatisticamente superiores às parcelas em que o calcário foi aplicado superficialmente (90 Kg ha⁻¹ dia⁻¹). A maior taxa de acúmulo de MS foi observada aos 597 dias de avaliação do experimento (dezembro de 2012) e correspondeu a taxa de acúmulo de MS de 120 Kg ha⁻¹ dia⁻¹, podendo estar relacionada às boas condições de clima favoráveis à cultura (Figura 15). Por outro lado, os menores valores foram observados aos 56 e aos 116 dias acumulados de avaliação, sendo que a média de ambos correspondeu a uma taxa de acúmulo de 24 Kg ha⁻¹ dia⁻¹ de MS de alfafa, isso pode ter ocorrido devido à baixa precipitação, sendo que a cultura é extremamente sensível ao estresse hídrico. Em estudos realizados por Borba (2012) testando doses de boro em alfafa crioula na mesma região do presente estudo, foi observada uma taxa de acúmulo de aproximadamente 55 kg de MS ha⁻¹ dia⁻¹ no mês de janeiro de 2011 e 25 kg de MS ha⁻¹ dia⁻¹ no mês de junho de 2011. Heinemann et al. (2006) encontraram para a cultivar Crioula a produção de 13.274 kg ha⁻¹ ano⁻¹, Monteiro et al. (1998), observaram valores de 12.980 kg ha⁻¹ ano⁻¹.

Para Amaral & Anghinoni (2001), o calcário é um produto de baixa solubilidade, requerendo sua incorporação no solo para promover maior reação. Todavia pode-se notar que não houve diferença significativa entre as formas de aplicação, com exceção aos 220 dias acumulados. Além disso, apesar de não ter ocorrido diferença significativa à calagem superficial se sobressaiu em alguns dias de coleta sendo que a máxima produção foi obtida nesta forma de aplicação.

Na Figura 19 constata-se efeito dos dias acumulados X formas de aplicação do calcário sobre os teores de nitrogênio (N) do tecido foliar da alfafa, independentemente das doses de calcário utilizadas. O teor máximo de N na parte aérea da alfafa foi alcançado aos 432 dias acumulados na aplicação superficial (37,90 g.Kg⁻¹). Estes resultados mostram que a calagem, mesmo superficial, consegue assegurar os processos de fixação de N e assim melhorando o aproveitamento do nutriente pela alfafa, como observado por Rosolem et al. (1991).

Se não houver reposição do teor de cálcio (Ca) removido no processo de colheita da forragem e manutenção do pH adequado, em condições favoráveis para o desenvolvimento das bactérias, a eficiência na fixação de N é severamente afetada (LIMA, 1959) o que pode ser evitado com a realização da calagem.



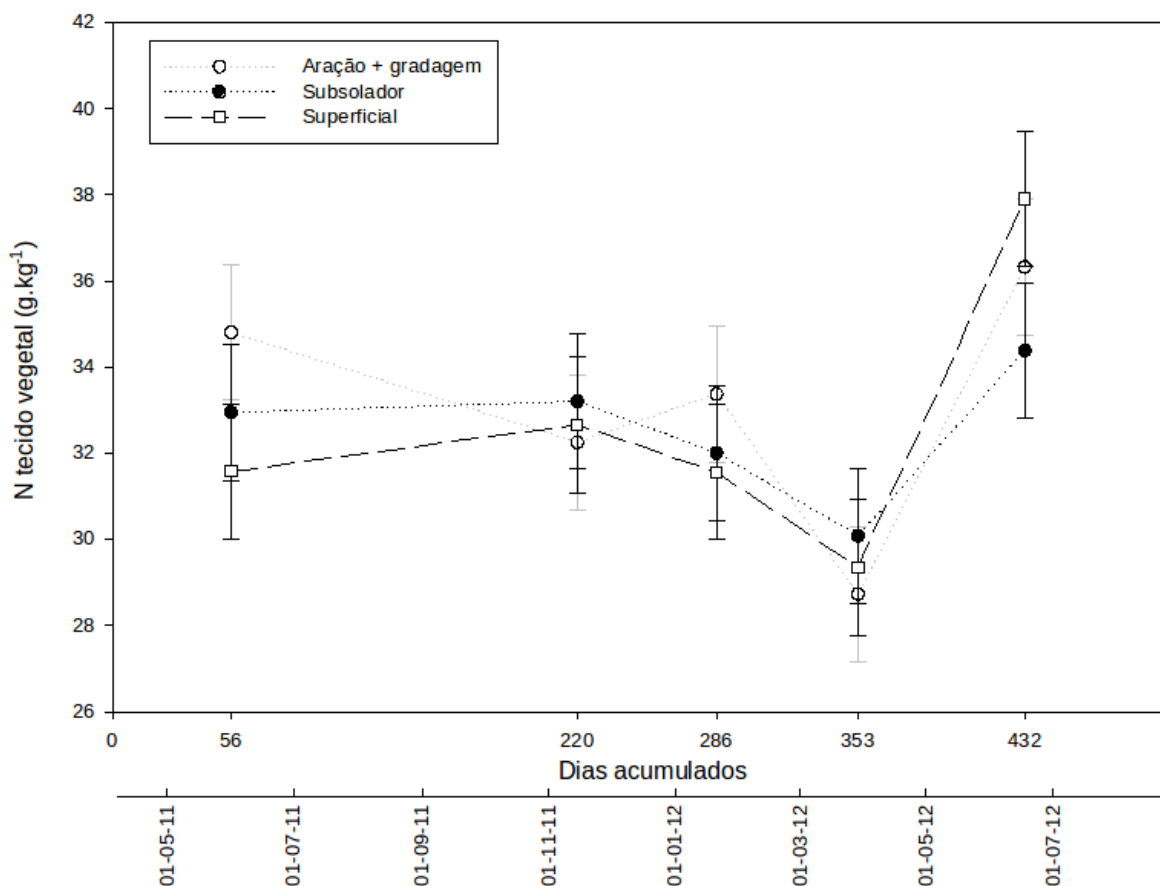
Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 18 – Influência dos dias acumulados e formas de aplicação do calcário sobre a taxa de acúmulo de alfafa.

Moreira & Fageria (2010), concluíram em seus estudos que a calagem melhora o crescimento radicular e nodulação da alfafa e conseqüentemente a fixação biológica de nitrogênio.

O maior acúmulo de N foliar na aplicação superficial se deve provavelmente a melhor conservação do solo nesse sistema e isso ocasiona maior crescimento das raízes das plantas, conseguindo assim maior absorção dos nutrientes necessários para um bom desenvolvimento da cultura. Além disso, a disponibilidade de nitrogênio aumenta com a calagem devido á maior mineralização

do N orgânico e á nitrificação provocada pelo aumento da atividade microbiana no solo após a calagem (VOLKWEISS et al., 1992).



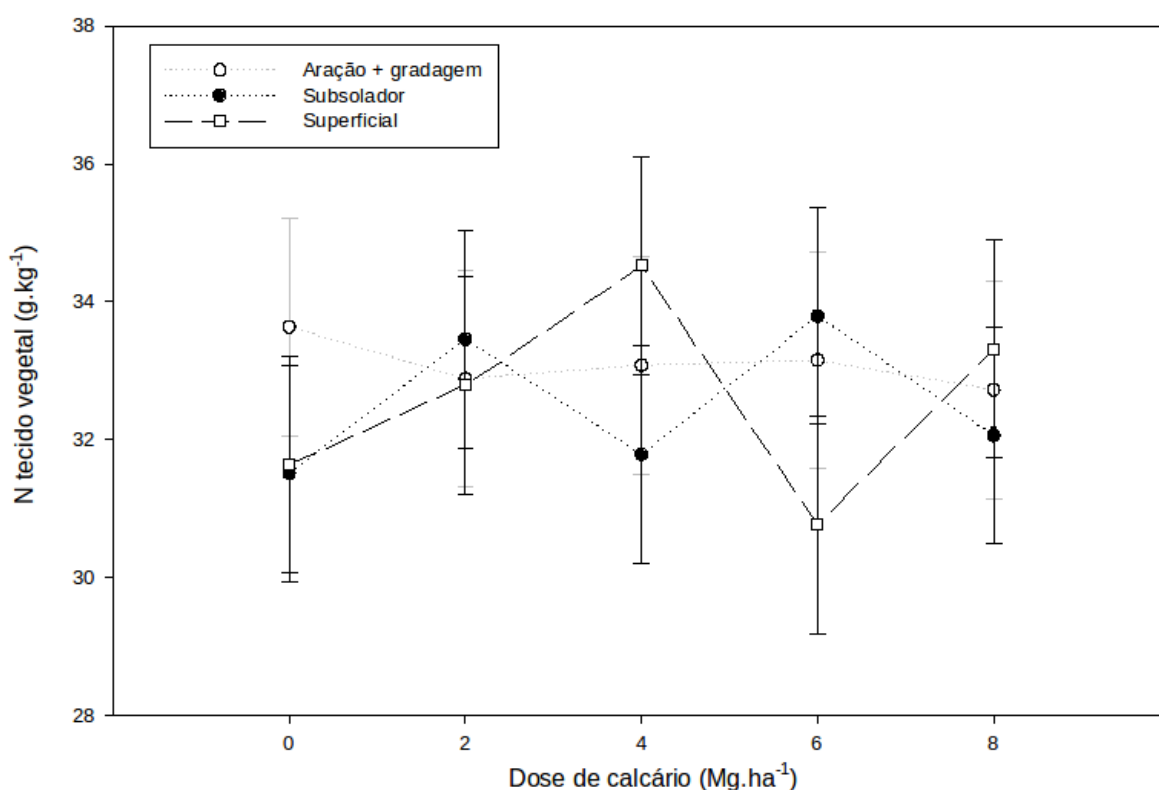
Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 19 – Efeito dos dias acumulados e formas de aplicação do calcário sobre a concentração de N do tecido foliar da alfafa.

Constatou-se efeito da interação doses de calcário X formas de aplicação sobre os teores de N do tecido foliar da alfafa. Contudo, conforme observado na Figura 20, a influência destes fatores foi bastante inconstante. Constatou-se que na dose de 4 t. ha⁻¹ as plantas cultivadas nas parcelas em que o calcário não foi incorporado, apresentaram teores de N de 34,5 g. Kg⁻¹, valor este superior aos teores encontrados nas demais plantas, onde o calcário foi incorporado via aração e gradagem ou com subsolador.

Gomes et al. (2002) verificaram aumento na nodulação e teor de N na parte aérea da alfafa com a adição de doses crescentes de calcário ao solo, bem como a produção de MS das cultivares Crioula e Florida 77.

O N no solo está sujeito a uma grande quantidade de transformações que podem resultar em ganhos ou perdas do sistema. Também é o nutriente que mais se perde por erosão, devido a sua concentração nas camadas mais superficiais do solo (VAN RAIJ, 1991).



Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 20 – Efeito das doses de calcário e formas de aplicação sobre a produção de N do tecido foliar da alfafa.

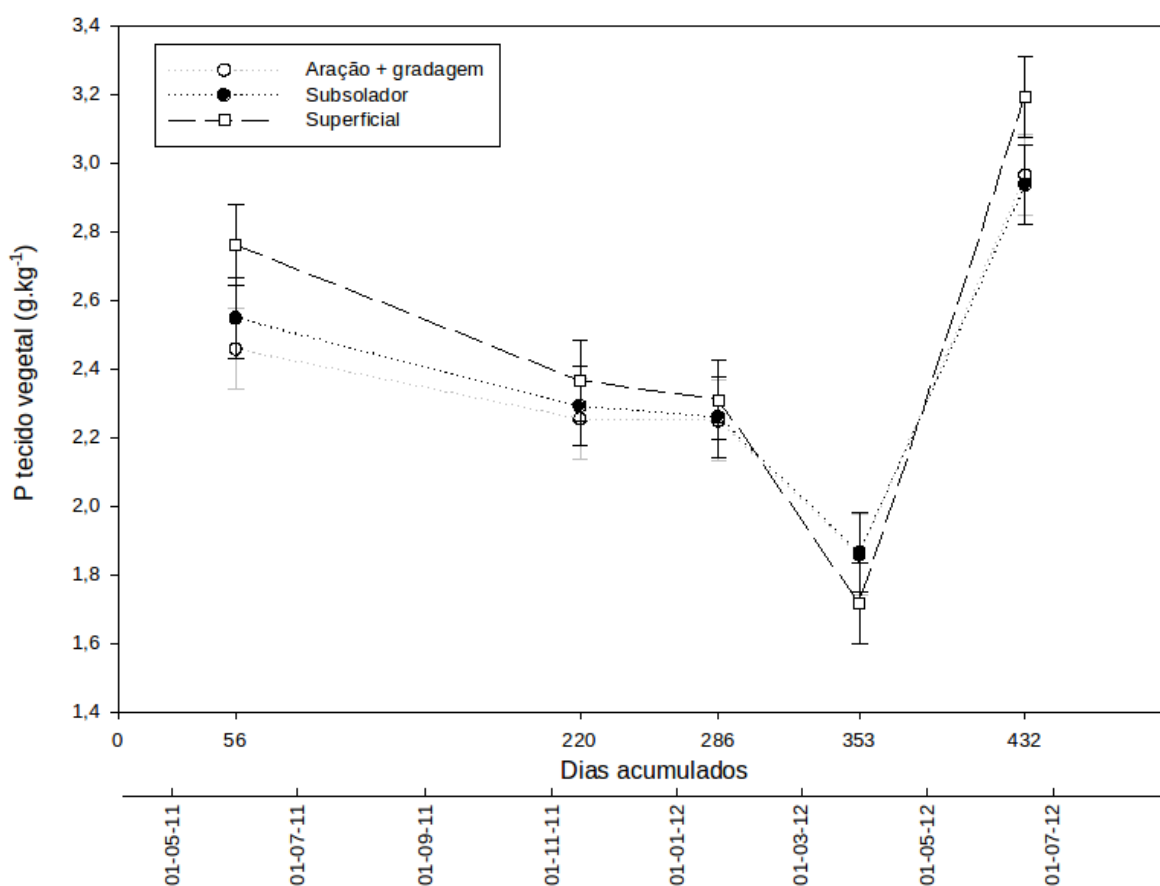
Constatou-se efeito da interação dias acumulados X formas de aplicação do calcário sobre os teores de fósforo (P) do tecido foliar da alfafa (Figura 21).

Conforme observado na Figura 21, plantas cultivadas nas parcelas em que o calcário não foi incorporado (aplicação superficial) apresentaram maiores teores de P (2,76 g Kg⁻¹) do que plantas cultivadas em solos onde o calcário foi

incorporado via operação de aração+gradagem, cujo teor de P observado foi de 2,45 g Kg⁻¹. Tal situação repetiu-se na coleta realizada aos 432 dias acumulados.

A maior disponibilidade de P encontrada nas parcelas onde o calcário não foi incorporado, independente da dose aplicada, pode ser justificada pelo maior contato do calcário com as partículas do solo, na camada superficial, fazendo com que uma maior porcentagem de sítios de fixação de P, nos óxidos-hidróxidos de ferro e alumínio fossem neutralizados, e desta forma deixando uma maior quantidade de P disponível para as plantas.

A importância do correto manejo do solo é de fundamental importância, pois, nos solos com baixa ou nenhuma adição de fertilizantes fosfatados, as formas orgânicas de P são as principais responsáveis pelo fornecimento deste nutriente às plantas (GATIBONI et. al., 2007)



Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 21 – Efeito dos dias acumulados e formas de aplicação do calcário sobre os teores de P do tecido foliar da alfafa.

Embora o fósforo seja exigido em menores quantidades pela alfafa, comparado com o N, K e o Ca (MOREIRA, 1997), ele é o nutriente que tem apresentado as maiores e as mais frequentes respostas quando aplicado. Em estudos realizados por Sarmiento et al. (2001), em consequência do reduzido nível de P nos solos, a longevidade das culturas e suas produções são diretamente dependentes da adubação fosfatada para o estabelecimento e para sua manutenção. Além disso, Moreira & Malavolta (2001) verificaram que a produção da alfafa sem adubação fosfatada é reduzida.

Os solos brasileiros são caracterizados por baixos níveis de P, reduzindo a longevidade da cultura da alfafa e a sua produção. Portanto esta cultura é dependente da adubação fosfatada para o seu estabelecimento e manutenção (SARMENTO et.al, 2001), bem como da calagem para favorecer a eficiência desta adubação.

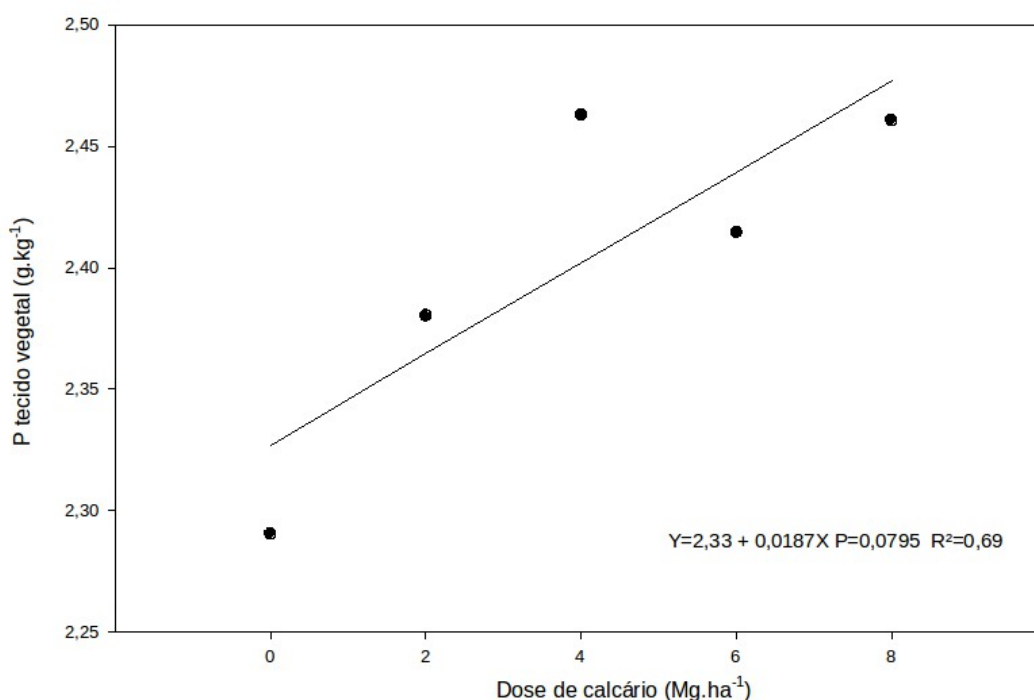


Figura 22 – Efeito das doses de calcário sobre os teores de P do tecido foliar da alfafa.

O P favorece o desenvolvimento das raízes melhorando a absorção dos nutrientes pelas plantas (RHYKERD & OVERDAHL, 1972).

Constatou-se efeito das doses de calcário, independentemente da forma de aplicação do mesmo, sobre os teores de P do tecido foliar da alfafa.

Observa-se na Figura 22 que os teores de P do tecido foliar da alfafa responderam proporcionalmente ao aumento das doses de calcário.

Segundo Malavolta et al. (1997), a absorção do P é influenciada pela concentração de Mg no meio, podendo o Mg ser carregador do P para dentro da planta. Além disso, Moreira et. al. (2008) verificaram que os teores de P na MS da alfafa estão diretamente relacionados à concentração do nutriente no solo.

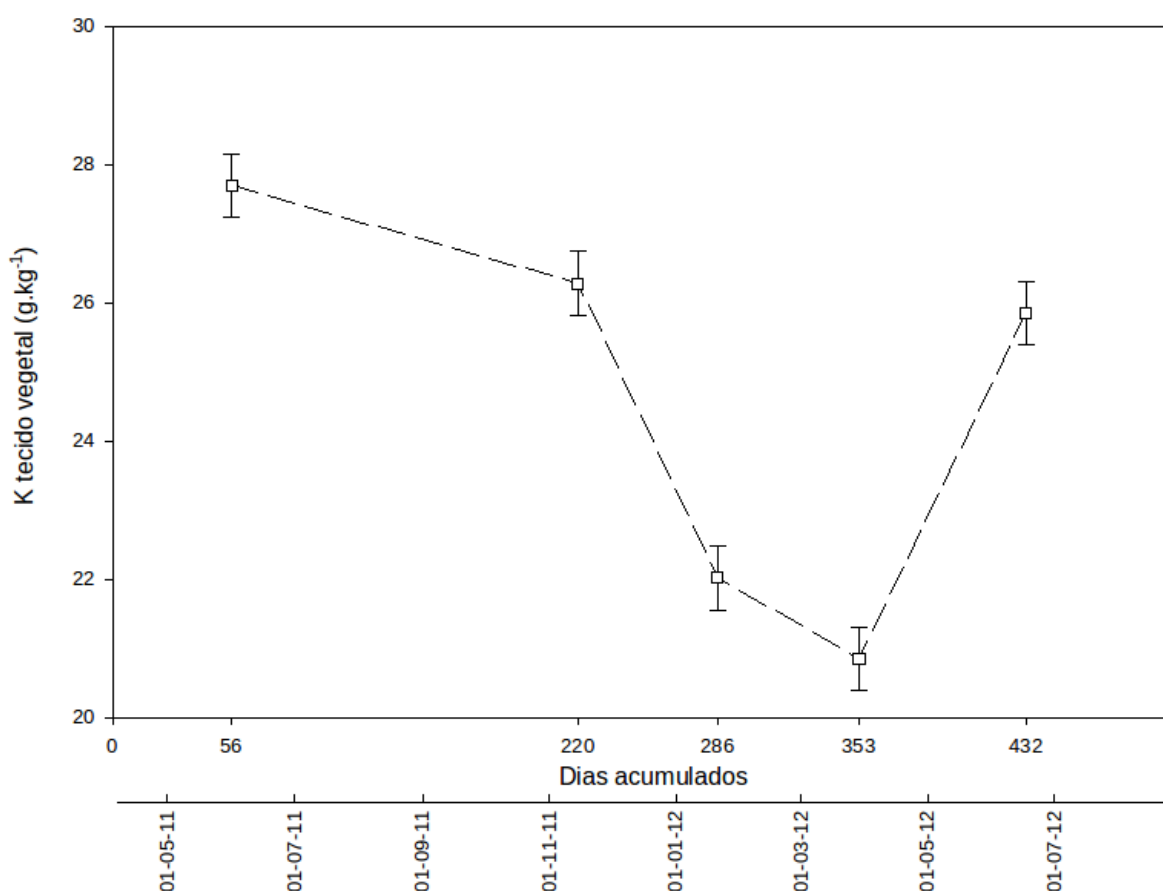
Constatou-se efeito dos dias acumulados sobre o teor de potássio (K) do tecido foliar da alfafa. Observa-se na Figura 23 que houve uma variação nos teores de K do tecido foliar da alfafa em relação aos dias acumulados. Sendo que o máximo teor desse nutriente foi encontrado aos 56 dias acumulados com 27,70 g. Kg⁻¹, em contrapartida o valor mínimo encontrado foi aos 353 dias acumulados com 20,85 g. Kg⁻¹. Provavelmente estes resultados não tiveram relação com adubação potássica de manutenção realizada no dia 11/10/2011 entre o intervalo de 56 e 220 dias acumulados. Após os 220 dias acumulados os valores dos teores de K encontrados no tecido foliar da alfafa decresceram. Estes resultados foram semelhantes aos encontrados por Moreira et. al. (2008), porém Kaminsk et.al. (2007), observaram que a capacidade de suprimento de K às plantas depende mais do K recém adicionado do que do seu histórico de adubação potássica do solo especialmente quando não há retorno da biomassa ao solo aonde foi produzida.

Para se obter altas produções de alfafa somente será possível se forem conseguidas condições adequadas de fertilização, particularmente com K (GRIFFITH, 1974; JONES, 1988; VOUGH, 1986). Em relação a este, é o nutriente mais requerido pela alfafa (RASSINI, 1998), mas também é o mais negligenciado em termos de recomendação e de adubação.

A remoção de K pela cultura é elevada, mesmo onde as condições do solo são normais e há um adequado suprimento de nutrientes (VAN RAIJ, 1991). Em seus estudos, Rando (1995) detectou que os teores críticos estimados de K para obter 90% da produção física máxima de alfafa foram de 15,6 e 16,4 g/kg para o primeiro e segundo corte, respectivamente. Nestes, as doses aplicadas foram de 132 e 217 kg. ha⁻¹ de K₂O, respectivamente.

Para as plantas a deficiência desse macronutriente afeta o seu crescimento vegetativo e sua produtividade (GREWAL & WILLIAMS, 2002). Nas quantidades adequadas, aumenta a persistência e a longevidade do alfafal (BERG et al., 2005) e sua tolerância às baixas temperaturas (HONDA & HONDA,1990).

O K, além de estimular o crescimento da parte aérea das plantas, aumenta a nodulação e conseqüentemente a fixação biológica de N, sendo que a disponibilidade de K vem sendo associada à fixação de N na cultura por vários autores (COLLINS et al. 1986). Em pesquisa realizada Honda & Honda (1990) destacaram que o K é o principal fertilizante para o alto rendimento e para a alta qualidade da alfafa, uma vez que, se bem nutridas, as plantas aumentam sua capacidade de utilizar melhor o N e de transformá-lo em proteína.

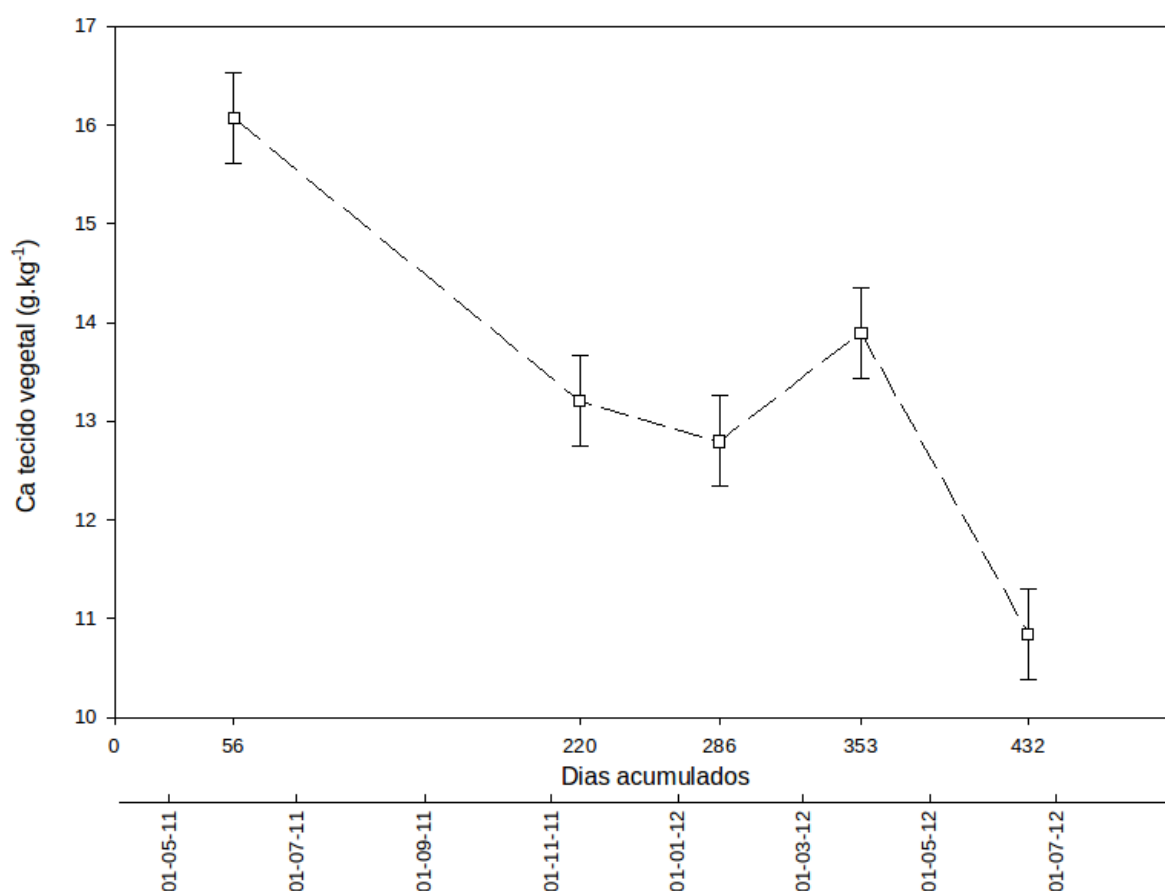


Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 23 – Efeito dos dias acumulados sobre os teores de K do tecido foliar da alfafa.

Constatou-se efeito dos dias acumulados sobre os teores de cálcio (Ca) do tecido foliar da alfafa independentemente das doses de calcário e formas de aplicação. Observa-se na Figura 24 que o maior valor de Ca no tecido foliar foi encontrado aos 56 dias acumulados com um teor de 16,07 g.Kg⁻¹, já o valor mínimo observado foi aos 432 dias acumulados com um teor de 10,84 g.Kg⁻¹. Uma hipótese

para este fato é que o Ca está intimamente ligado á aplicação de calcário no solo, e que ao longo do tempo de sua aplicação ele é extraído pelas culturas, justificando assim o declínio de seus valores refletidos no tecido foliar. O Ca é um macronutriente de fundamental importância para a planta, pois é o elemento formador da parede celular, garantindo o desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular.



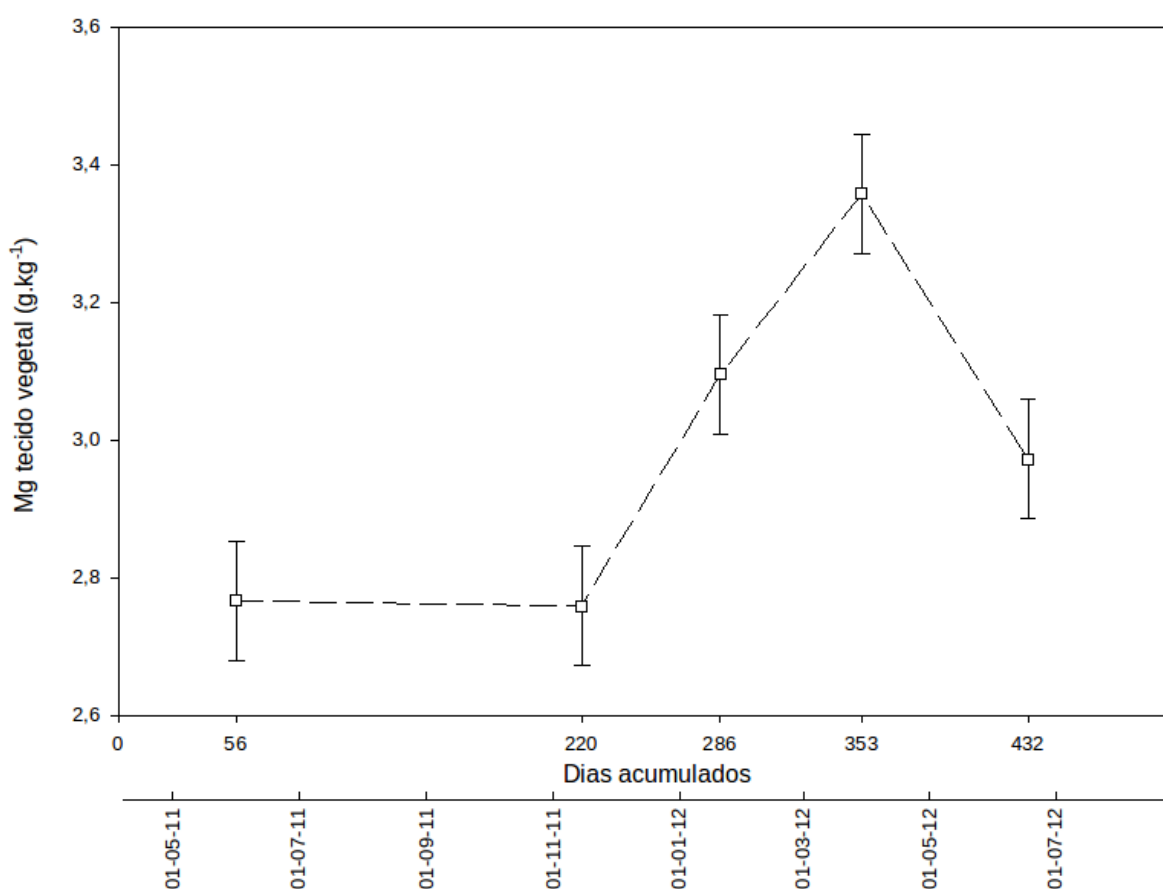
Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 24 – Efeito dos dias acumulados sobre os teores de Ca do tecido foliar da alfafa.

Houve efeito dos dias acumulados sobre os teores de Mg do tecido foliar da alfafa. Pode-se observar na Figura 25, que os teores de Mg mantiveram-se praticamente constantes dos 56 aos 220 dias acumulados. Porém a partir daí nota-se uma elevação dos valores de Mg do tecido foliar até aos 353 dias acumulados, assumindo o valor de 3,35 g. kg⁻¹, posteriormente voltando a reduzir. Houve diferença significativa entre os 220, 286 e 353 dias acumulados. Uma hipótese para

este comportamento seria as diferentes disponibilidades de Mg presentes no solo fornecidas pela calagem.

A alfafa possui baixa exigência de Mg (MOREIRA et al., 2007), sendo a aplicação de 100 mg dm^{-3} suficiente para suprir toda exigência nutricional, mesmo com baixas concentrações de P no solo. Os teores de Mg na MS da alfafa estão diretamente relacionados à concentração do nutriente no solo (MOREIRA et. al., 2008).



Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

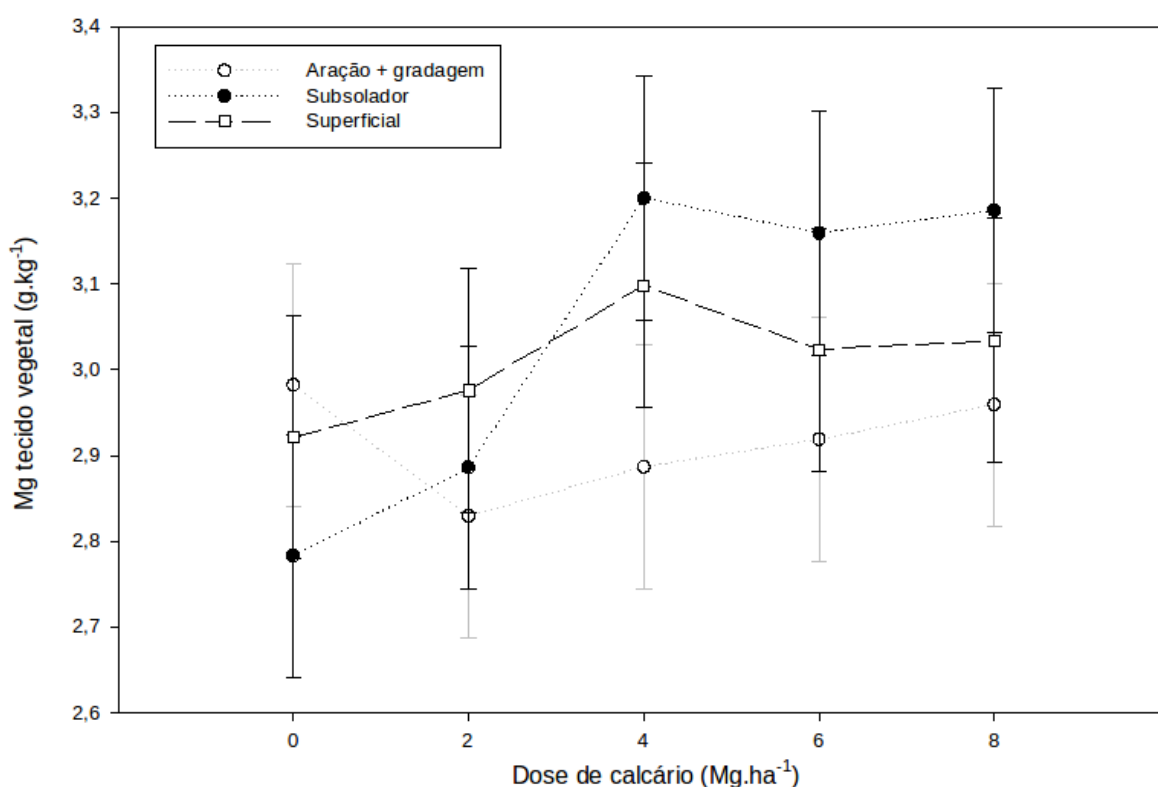
Figura 25 – Efeito dos dias acumulados sobre os teores de Mg do tecido foliar da alfafa.

Houve efeito significativo da interação entre as doses de calcário X formas de aplicação sobre os teores de Mg do tecido foliar da alfafa. A variação nos teores de Mg no tecido foliar da alfafa conforme as doses de calcário e formas de aplicação estão representadas na Figura 26. As diferentes doses de calcário

interferem nas concentrações de Mg tanto no solo quanto na planta, bem como, as diferentes quantidades de precipitação pluviométrica e pH do solo.

O maior valor encontrado de Mg ($3,20 \text{ g.kg}^{-1}$) no tecido foliar da alfafa foi detectado na dose de 4 t. ha^{-1} de calcário na aplicação com subsolador, diferindo significativamente da aplicação de aração+gradagem nesta mesma dose de calcário. Na absorção do Ca e do Mg pela planta há competição e o excesso de um desses elementos resulta em redução na absorção do outro (EPSTEIN, 1975), resultando na redução do desenvolvimento vegetal (ROSOLEM et al., 1984).

Silva & Lemos (2008) verificaram que os teores de Ca, K e Mg solúveis na parte aérea do milho, feijão e aveia preta não foram alterados com a aplicação superficial de doses de calcário dolomítico.



Entre as barras que não são coincidentes as médias diferem entre si pelo teste Diferença Mínima Significativa a 5% de probabilidade.

Figura 26 – Efeito das doses de calcário e formas de aplicação sobre os teores de Mg do tecido foliar da alfafa.

Finalizando, os níveis de absorção de um nutriente pela planta dependem dos cátions dissolvidos na solução do solo em equilíbrio com os cátions da solução (BULL, 1986). Nesse sentido, a aplicação de corretivos que fornecem

relações adequadas de cálcio e magnésio resultam em equilíbrio nutricional, contribuindo no crescimento das plantas (ROSOLEM et al., 1984).

3.6 CONCLUSÕES

1- Apenas em um período de avaliação de taxa de acúmulo de matéria seca (220 dias acumulados) constatou-se influência da forma de aplicação de calcário, sendo que nas 14 demais avaliações, não se constatou efeito deste fator.

2- A prática de aração e gradagem ou de subsolagem visando a incorporação de calcário no sistema de plantio direto é desnecessária recomendando-se que, para a alfafa cultivada em sistema de plantio direto estabilizados, a aplicação de calcário no solo seja feita de forma superficial.

3- Não houve diferença entre as formas de aplicação do calcário na taxa de acúmulo de matéria seca de alfafa diária. Deste modo, considera-se a calagem superficial o melhor método a ser empregado.

4- O uso de mais de 2 t. ha⁻¹ de calcário dolomítico não influenciou na taxa de acúmulo de MS de alfafa, indicando que nas condições presentes de solo a recomendação de calagem foi inferior para se obter a máxima eficiência técnica.

5- Plantas cultivadas com 4 t. ha⁻¹ de calcário nas parcelas sem incorporação apresentaram teores de N do tecido foliar da alfafa superiores aos encontrados nas demais plantas onde o calcário foi incorporado.

6- Os teores de P do tecido foliar da alfafa responderam proporcionalmente ao aumento das doses de calcário, independentemente das formas de aplicação.

7- Com exceção da primeira coleta não houve diferença entre as formas de aplicação do calcário sobre os teores de K do tecido foliar da alfafa

8- Os teores de Ca, K, Mg e P solúveis na parte aérea da alfafa cultivada sob sistema plantio direto não foram alterados com a aplicação superficial de calcário dolomítico.

9- Foi observado que as datas de coletas influenciaram na produção de alfafa, concluindo assim que as condições edafoclimáticas são essenciais para que se tenha uma boa distribuição na produtividade dessa leguminosa.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao adotar o cultivo de alfafa os produtores na nossa região estariam se beneficiando por estar explorando uma forrageira de alto potencial produtivo e com uma ampla diversidade de utilização podendo aumentar a sua renda.

O uso desta forrageira leguminosa pode transformar a produtividade dos rebanhos leiteiros uma vez que fornece um material de excelente qualidade. A expansão do cultivo da alfafa na alimentação animal, tanto em pastejo como na forma de feno e outras mais é de extrema importância para promover o desenvolvimento da agricultura familiar e conseqüentemente aumentar a rentabilidade regional.

Por não ser tão exigente em fertilidade do solo, ao contrário do que se costuma ver nas recomendações técnicas de calagem, a implantação e manutenção do alfafal pode ser feita através do SPD distribuindo-se as doses de calcário de maneira superficial, favorecendo para preservação das características desejáveis do solo.

REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.; BAYER, C. Culturas de cobertura, acúmulo de nitrogênio total no solo e produtividade de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 679-686, 1999.
- AMARAL, A. S.; ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 4, p. 695-702, 2001.
- AMARAL, A. S. **Mecanismos de correção da acidez do solo no sistema plantio direto com aplicação de calcário na superfície**. 2002. 107 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- ANCHÃO, P. P. **Interação microbiológica de fungicidas no tratamento de sementes de alfafa visando a redução da taxa de semeadura**. 1995. 84 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1995.
- BAKER, C. J.; SAXTON, K. E.; RITCHIE, W. R. **No-tillage seeding**. London: CABI Publishing, 2002. 258 p.
- BALIGAR, V. C.; ELGIN Jr., J. H.; FOY, C. D. Variability in alfafa for growth and mineral uptake and efficiency ratios under aluminum stress. **Agronomy Journal**, Madison, v. 81, n. 2, p. 223-229, 1989.
- BAYER, C. **Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos**. 1996. 241 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), PPG-Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.
- BERG, G.; ZACHOW, C.; LOTTMANN, J.; GÖTZ, M.; COSTA, R.; SMALLA, K. **Impact of plant species and site on rhizosphere-associated fungi antagonistic to *Verticillium dahliae* kleb.** Applied and Environmental Microbiology, 2005, v. 71, n. 8, p. 4203-4213.
- BERNARDI, A. C. C.; RASSINI, J. B.; MOREIRA, A.; OLIVEIRA, P. P. A.; SANTOS, P. M.; CORRÊA, L. A.; PRIMAVESI, O. Adubação potássica em sistemas intensivos de manejo de pastagens. In: FERTIBIO, 5., Bonito, 2006. **Anais...** Dourados: Embrapa Dourados, SBCS, 2006. p. 1-4.
- BHERING, S. B.; SANTOS, H. G. dos; BOGNOLA, I. A.; CÚRCIO, G. R.; MANZATTO, C. V.; CARVA-LHO JUNIOR, W. de; CHAGAS, C da S.; ÁGLIO, M. L. D.; SOUZA, J. S. de. **Mapa de solos do Estado do Paraná**: legenda atualizada. Rio de Janeiro: EM-BRAPA/IAPAR, 2008. 74p.

BISSANI, C. A.; GIANELLO, C.; TEDESCO, M. J.; CAMARGO, F. A. O. **Fertilidade do solo e manejo da adubação das culturas**. Porto Alegre: Gênese, 2004. 328 p.

BOLLIGER, A.; MAGID, J.; AMADO, T. J. C.; SKORA NETO, F.; RIBEIRO, M. F. S.; CALEGARI, A.; RALISCH, R.; NEERGAARD, A. Taking stock of the Brazilian “Zero-till revolution”: A review of landmark research and farmers’ practice. **Advances in Agronomy**. v.9, p. 1-64, 2006.

BORBA, T. C. **Produção de alfafa e teor de boro e nitrogênio na planta e em solo submetido a níveis de boro**. Pato Branco: UTFPR, 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia_ - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR, 2012.

BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; PASSOS, L. P.; VILELA, D. (Eds.). Workshop sobre potencial forrageiro da alfafa (*Medicago sativa* L.) nos trópicos. Juiz de Fora: CNPGL, 1994. p.117-125.

BROWN, H. E. **Understanding yield and water use of dryland forage crops in New Zealand**. A thesis submitted for a degree of Doctor of Philosophy at Lincoln University New Zealand. 2004. 305p.

BULL, L. T. **Influência da relação K/(Ca+Mg) do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramíneas e leguminosas forrageiras**. 1986. 107 f. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

CAIRES, F. E.; CHVEIRI, A. W.; MADRUGA, E. F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicado na superfície em sistema de cultivo sem preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 27-34, 1998.

CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Correção da acidez do solo e desenvolvimento do sistema radicular do amendoim em função da calagem. **Bragantia**, v. 57, p.175-184, 1998.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; MENDES, J.; CHUEIRI, W. A.; MADRUGA, E. F. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 315-327, 1999.

CAIRES, E. F.; BANZATTO, D. A.; FONSECA, A. F. Calagem na superfície em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 161-169, 2000.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUJO, F. J.; KUSMAN, M. T. Correção da acidez do solo, crescimento radicular e nutrição do milho de acordo com a calagem na

superfície em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p.1011-1022, 2002.

CALEGARI, A.; MONDARDO, A.; BULISANI, E. A.; WILDER, L. do P.; COSTA, M. B. B. da; ALCÂNTARA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. **Adubação verde no Sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1992. 346p.

CALEGARI, A. Plantas de cobertura. In: CASÃO JUNIOR, R. **Sistema plantio direto com qualidade**. Londrina-Foz do Iguaçu: IAPAR/Itaipu Binacional, 2006. v. 1. p. 85-126.

CARVALHO, M. M.; EVANGELHISTA, A. R.; CURI, N. Desenvolvimento fisiográfico de pastagens na zona fisiográfica Campos das Vertentes, MG. Coronel Pacheco, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1994. 127p.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de Carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 3, p. 527-538, 1998.

CHACÓN, A. Costos de produccion de material seca. Pastorio, soiling heno. **Investigacion Progreso Agropecuario**, La Platina, Santiago, v. 24, p. 20-24, 1984.

CHASTON, I. **Mathematics for ecologists**. London: Butterworth e Co., 132 p., 1971.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, p. 1161-1164, 2003.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C.; ALBUQUERQUE, J. A. Manejo da calagem e os componentes da acidez de Latossolos Bruno em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 317-326, 2004.

COLLINS, P.; GRIFFITH, T. M.; HENDERSON, A. H.; LEWIS, M. J. Endothelium-derived relaxing factor alters calcium fluxes in rabbit aorta: a cyclic guanosine monophosphate-mediated effect. **Journal of Physiology**, v. 381, p. 427-437, 1986.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**, 10. ed., Porto Alegre: SBCS, 2004. 400 p.

CONTE, E. **Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fosfato em solo no sistema plantio direto**. 2001. 65 f. Tese (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 341p.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

FEBRAPDP. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br/download/PD_Brasil_2013.I.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2012, 10:11.

FERRAGINE, M. del C.; PEDREIRA, C. G. S.; OTANI, L.; TONATO, F. Produção estacional, índice de área foliar e interceptação luminosa de cultivares de alfafa sob pastejo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 1041-1048, 2004.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C. A. Dinâmica da calagem superficial em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 235-247, 2005.

FRANCHINI, J. C.; HOFFMANN-CAMPO, C. B.; TORRES, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Organic composition of green manures during growth and its effect on cation mobilization in an acid Oxisol. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, v. 34, p. 2045-2058, 2003.

FREIRIA, A. C.; MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P.; YAGI, R. Alterações em atributos químicos do solo pela aplicação de calcário na superfície ou incorpo-rado. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 30, n. 2, p. 285-291, 2008.

GATIBONI, L. C. **Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas**. 231 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

GATIBONI, L. C.; SAGGIN, A.; BRUNETTO, G.; HORN, D.; FLORES, J. P. C.; RHEINHEIMER, D. S.; KAMINSKI, J. Alterações dos atributos químicos de solo arenoso pela calagem superficial no sistema plantio direto consolidado. **Ciência Rural**, v. 33, p. 283-290, 2003.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 691-699, 2007.

GOMES, F. T.; BORGES, A. C.; NEVES, J. C. L.; FONTES, P. C. R. Nodulação, fixação de nitrogênio e produção de matéria seca de alfafa em resposta a doses de calcário, com diferentes relações cálcio:magnésio. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p. 925-930, 2002.

GONZALES-ERICO, E.; KAMPRATH, E. J.; NARDERMAN Jr., G. C.; SOARES, W. V. Effect of depth of lime incorporation on the growth of corn on an Oxisol of Central Brazil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Madison, v. 43, p.1155-1158, 1979.

GREWAL, H. S.; WILLIAMS, R. Influence of potassium fertilization on leaf to stem ratio, nodulation, herbage yield, leaf drop, and common leaf spot disease of alfalfa. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n. 4, p. 781-795, 2002.

GRIFFITH, W. K. Satisfying the nutritional requirements of established legumes. In: MAYS, D. A. (Ed.). **Forage fertilization**. Madison: Soil Science Society of America, 1974. p. 147-169.

HANSON, A. A.; BARNES, D. K.; HILL, R. R. (eds.) **Alfalfa and Alfalfa Improvement**. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, 1988. 1084p.

HAVLIN, J.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management**. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999. 499 p.

HEINEMANN, A. B.; PACIULLO, D. S. C.; LÉDO, F. J. da S.; PEREIRA, A. V.; BOTREL, M. de A.; REIS, F. A.; MOREIRA, P. Avaliação de cultivares de alfafa na região central do estado de goiás. **Ciência Animal Brasileira**, v. 7, n. 3, p. 257-263, 2006.

HONDA, C. S.; HONDA, A. M. **Cultura da alfafa**. Cambará: IARA Artes Gráficas, 1990. 245 p.

JONES, E. 12 tons/A non - irrigated alfalfa - breaking a yield barrier. **Better Crops With Plant Foods**, Atlanta, v. 72, n. 3, p. 7, 1988.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, dos S. D.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 573-580, 2005.

KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 1003-1010, 2007.

KORNELIUS, E.; RITCHEY, K. D. Comportamento da alfafa em diferentes níveis de acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 241-246, 1992.

LANYON, L. E.; SMITH, F. W. Potassium nutrition of alfalfa and other forage legumes: temperate and tropical. In: MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 861-893.

LEITE, G. H. M. N.; ELTZ, F. L. F.; AMADO, T. J. C.; COGO, N. P. Atributos químicos e perfil de enraizamento de milho influenciados pela calagem em semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 685-693, 2006.

LIMA, R. C. **A cultura da alfafa**. Rio: Edições SAI, 1959. 38 p.

LLOVERAS, J.; FERRAN, J.; BOIXADERA, J.; BONET, J. Potassium fertilization effects on alfalfa in a Mediterranean climate. **Agronomy Journal**, v. 93, p.139-143, 2001.

LOUE, A. Análise do potássio em plantas e sua interpretação. In: YAMADA, T., IGUE, K., MUZILI, O., USHERWOOD, N.R. (eds). In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Londrina, PR, 1982. **Anais...** Londrina. POTASSA, 1982, p. 249-288.

MAAK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: 350p.1968.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARQUES, F.; SILVEIRA, J. P. F.; LO TIERZO, V. Importância da alfafa. In: VII Encontro de Zootecnia – UNESP Dracena, **Anais...** 3p., 2010.

MITTELMANN, A.; LÉDO, F. J. S.; GOMES, J. F. **Tecnologias para produção de alfafa no Rio Grande do Sul**. Pelotas, RS/Juiz de Fora, MG: Embrapa, 2008.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; FRANCHINI, J. C. Neutralização da acidez do perfil do solo por resíduos vegetais. **Inf. Agron.**, v. 92, p. 1-8, 2000.

MONTEIRO, A. L. G.; COSTA, C.; SILVEIRA, A. C. Produção e distribuição de matéria seca e composição bromatológica de cultivares de alfafa (*Medicago sativa* L.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 27, n. 5, p. 868-874, 1998.

MORAES, A. et al. Lavoura-pecuária em sistemas integrados na pequena propriedade. In: ENCONTRO LATINOAMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 3, 1998, Pato Branco. **Anais...** Pato Branco: CEFET – PR, 1998. CD-ROOM.

MOREIRA, A. **Efeito de fontes e doses de fósforo na alfafa (*Medicago sativa* L.) e centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.) e avaliação de extratores**. 1997. 107 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, 1997.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1519-1527, 2001.

MOREIRA, S. G.; KIEHL, J. C.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, V. Calagem em sistema de semeadura direta e efeitos sobre a acidez do solo, disponibilidade de nutrientes e produtividade de milho e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 71-81, 2001.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Relação cálcio e magnésio na fertilidade de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico cultivado com alfafa. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, p. 786-794, 2005.

MOREIRA, A.; BERNARDI, A. C. C.; RASSINI, J. B. **Fertilidade do solo e estado nutricional da alfafa cultivada nos trópicos** – São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 40 p. 2007.

MOREIRA, A.; HEINRICH, R.; FREITAS, A. R. Phosphorus and magnesium ratio on soil fertility, nutritional status, and yield of alfalfa. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 984-989, 2008.

MOREIRA, A.; FAGERIA, N. K. Liming influence on soil chemical properties, nutritional status and yield of alfalfa grown in acid soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1231-1239, 2010.

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 1, p. 95-102, 1983.

MUZILLI, O. A fertilidade do solo no contexto da agricultura sustentável. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 12., Águas de Lindóia (SP), 1996. **Anais...** Comissão de Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, 1996.

MUZILLI, O. Manejo do solo em sistema plantio direto. In: Casão Junior, R.; Siqueira, R.; Mehta, Y. R.; Passini, J. J. (eds.) **Sistema Plantio Direto com qualidade**. 1.ed. Londrina/Foz do Iguaçu: IAPAR/ITAIPU Binacional, 2006. cap. 2, p. 9-27.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Porto Alegre, v. 6, n. 1, p. 97-111, 2004.

NUERNBERG, N. J. Técnicas de produção de alfafa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGEM, 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fealq, 1986. p. 145-160.

NUERNBERG, N. J.; MILAN, P. A.; SILVEIRA, C. A. M. **Manual de produção de alfafa**. Florianópolis: Empasc, 1990. 102 p.

OLIVEIRA, P. P. A.; LEDO, F. J. S. O uso de alfafa para pastejo bovino. **Tecnologias para a produção de alfafa no Rio Grande do Sul**. Pelotas, RS/Juiz de Fora, MG: Embrapa, 2008. p. 33-56.

OLIVEIRA, E. L.; PAVAN, M. A. Control of soil acidity in no-tillage system for soybean production. **Soil Tillage Research**, v. 38, p. 47-57, 1996.

OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A. Resposta da cultura do milho, em um Latossolo Vermelho-Escuro álico, à calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 65-70, 1997.

PAIM, N.R. Utilização e melhoramento da alfafa. In: Workshop sobre potencial forrageiro da alfafa (*Medicago Sativa* L.) nos trópicos, Juiz de Fora, 1994. **Anais**. Juiz de Fora: Embrapa-CNPGL, p.141-158, 1994.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum application to a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 48, p. 33-38, 1984.

PEARSON, R. W.; ABRUNA, F.; VICE-CHANDLER, J. Effect of lime and nitrogen application on downward movements of calcium and magnesium in two humid tropical soils of Puerto Rico. **Soil Science**, Baltimore, v. 93, n. 1, p. 77-82, 1962.

PEREIRA, A. V.; VALLE, C. B.; FERREIRA, R. de P.; MILES, J. W. Melhoramento de forrageiras tropicais. In: L.L. Nass, A.C.C. Valois, I.S. Melo, M.C. Valadares-Inglis (eds.). **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas**. Rondonópolis: Fundação Mato Grosso, 2001. p. 549-602.

PETRERE, C.; ANGHINONI, I. Alteração de atributos químicos no perfil do solo pela calagem superficial em campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 885-895, 2001.

PÖTTKER, D.; BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 675-684, 1998.

PRADO, R. M.; BARION, R. D. Efeitos da calagem na nutrição e produção de massa seca de capim tifton 85. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 3, p. 218-224, 2009.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B.; GALLO, P. B.; MASCARENHAS, H. A. Respostas da soja à aplicação de calcário e gesso e lixiviação de íons no perfil do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 375-383, 1993.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 111 p.

RANDO, E.M. Níveis críticos de potássio em alfafa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995. Viçosa. **Resumos...**Viçosa, MG: SBCS, 1995. p.1044-1045.

RASSINI, J. B. **Alfafa (*Medicago sativa* L.): estabelecimento e cultivo no Estado de São Paulo**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 1998. 27 p. (Embrapa Pecuária Sudeste. Circular Técnica, 15).

RASSINI, J. B.; PRIMAVESI, A. C.; PRIMAVESI, O.; TUPY, O.; LÊDO, F. J. S.; FERREIRA, R. P.; BROTEL, M. A.; ALVIM, M. J. **Cultivo de alfafa: característica da leguminosa**. Brasília, DF: Embrapa, 2003.

RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. P.; CAMARGO, A. C. **Cultivo e Estabelecimento da alfafa: cultivo e utilização da alfafa nos trópicos**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p. 38-51.

RECHCIGL, J. E.; WOLF, D. D.; RENEAU, R. B.; KROONTJE, W. Influence of surface liming on the yield and nutrient concentration of alfafa established using no-tillage techniques. **Agronomy Journal**, v. 77, p. 956-959, 1985.

REICHARDT, K. Soil physico-chemical conditions and the development of roots. In: RUSSEL, R. S.; IGUE, K.; MEHTHA, Y.R. **The soil-root system in relation to brazilian agriculture**. Londrina: IAPAR, 1981. p. 103-114.

RHEINHEIMER, D. S.; SANTOS, E. J. S.; KAMINSKI, J.; GATIBONI, L. C.; BORTOLUZZI, E. C. Alterações de atributos do solo pela calagem superficial e incorporada a partir de pastagem natural. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 24, p. 797-805, 2000.

RHEINHEIMER, D. S.; GONÇALVES, C. S.; PELLEGRINI, J. B. R. Impacto das atividades agropecuárias na qualidade da água. **Ciência & Ambiente**, v. 27, p. 85-96, 2003.

RHYKERD, C. L.; OVERDAHL, C. J. Nutrition and fertilizer use. In: HANSON, A.A.; CARENCE, H. **Alfafa science and technology**. Madison: ASA, 1972. p. 437-465.

RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E.; CORREIA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian Savannah Oxisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, p. 40-44, 1980.

RODRIGUES, A.A.; COMERON, E.A.; VILELA, D. Utilização de alfafa em pastejo para alimentação de vacas leiteiras. In: FERREIRA, R.P.; RASSINI, J.B.; RODRIGUES, A.A. et al. (Eds). **Cultivo e utilização da alfafa nos trópicos**. São Carlos, SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2008. p. 345-378.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. R.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca:Mg, Ca:K e Mg:K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 12, p. 1443-1448, 1984.

ROSOLEM, C. A.; PEREIRA, H. F. M.; BESSA, M. A.; AMARAL, P. G. Nitrogen in soil and cotton growth as affected by liming and nitrogen fertilizer. In: WRIGHT, R. J. (Ed.). **Plant-soil interactions at low pH**. Dordrecht: Kluwer, 1991. p. 321-325.

SARMENTO, P.; GARCIA, R.; PIRES, A. J. V.; NASCIMENTO, A. S. Grãos de soja como fonte de urease na amonização do bagaço de cana-de-açúcar com uréia. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 223-227, 2001.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B. Efeito da calagem superficial em plantio direto na concentração de cátions hidrossolúveis na parte aérea de culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 03, p. 1199-1207, 2008.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos, UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, n. 5).

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATON, J. D.; HAVLIN, J. L. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan, 1993. 634p.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, p.141-163, 1982.

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, Potafos, 1991.

VILELA, D. Produção de leite em pastagens de alfafa. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 211, p. 38-43, 2001.

VOLKWEISS, S. J.; TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. **A calagem dos solos ácidos: prática e benefícios**. 2.ed. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia/UFRGS, 1992. 16p.

VOUGH, L.R. Fertilizing alfalfa for maximum economic yields. **Better Crops With Plant Food**, Atlanta, v. 70, p. 10-11, 1986.

VOUGH, L.; DECKER, M. An alfalfa management program and grain yields during 14 years of potassium fertilization of corn for optimum yields and quality. **Better Crops Plant Food**, v. 76, p. 24-26, 1992.

WERNER, J. C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N. de O.; QUAGGIO, J. Forrageiras. In: VAN RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed) Boletim técnico 100 – **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2a ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996, p. 245-248.

ÍNDICE DE APÊNDICES

APÊNDICE 01 – Análise da variância da variável Al do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	78
APÊNDICE 02- Análise da variância da variável pH do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	78
APÊNDICE 03- Análise da variância da variável Saturação por Bases do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	78
APÊNDICE 04- Análise da variância da variável H+Al do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	79
APÊNDICE 05- Análise da variância da variável K do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	79
APÊNDICE 06- Análise da variância da variável P do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	79
APÊNDICE 07- Análise da variância da variável MO do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	80
APÊNDICE 08- Análise da variância da variável CTC do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	80
APÊNDICE 09- Análise da variância da variável Ca+Mg do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	80
APÊNDICE 10- Análise da variância da variável Ca do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	81
APÊNDICE 11- Análise da variância da variável N do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	81
APÊNDICE 12- Análise da variância da variável P do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	81
APÊNDICE 13- Análise da variância da variável K do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	82
APÊNDICE 14- Análise da variância da variável Mg do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	82
APÊNDICE 15- Análise da variância da variável taxa de acúmulo de MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	82
APÊNDICE 16- Análise da variância da variável taxa de acúmulo diária de MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário	

para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	83
APÊNDICE 17- Análise da variância de dois anos da variável MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	83
APÊNDICE 18- Análise da variância do ano 01 da variável MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	83
APÊNDICE 19- Análise da variância do ano 02 da variável MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.....	83

APÊNDICES

APÊNDICE 01 – Análise da variância da variável Al do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Formas de aplicação	2	0,01989	0,00994	0,64	0,5618
Doses	4	0,04265	0,01066	3,16	0,0155
Profundidade de amostragem	3	0,29777	0,09925	29,42	0
Bloco	3	0,08548	0,02849		
Formas de aplicação X Doses	8	0,05510	0,00688	2,04	0,0444
Formas de aplicação X Profundidade de amostragem	6	0,03720	0,00620	1,84	0,0945
Formas de aplicação X Bloco	6	0,09389	0,01564		
Doses X Profundidade de amostragem	12	0,01700	0,00141	0,42	0,9541
Formas de aplicação X Doses X Profundidade de amostragem	24	0,05253	0,00218	0,65	0,8935
Erro	168	0,56675	0,00337		
Total	236	1,27478			

APÊNDICE 02- Análise da variância da variável pH do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Formas de aplicação	2	0,5637	0,2818	0,34	0,7239
Doses	4	9,7448	2,4362	35,96	0
Profundidade de amostragem	3	12,9272	4,3090	63,31	0
Bloco	3	7,4954	2,4984		
Formas de aplicação X Doses	8	1,47810	0,1847	2,73	0,0075
Formas de aplicação X Profundidade de amostragem	6	3,33800	0,5563	8,21	0
Formas de aplicação X Bloco	6	4,9576	0,8262		
Doses X Profundidade de amostragem	12	2,81480	0,2345	3,46	0,0001
Formas de aplicação X Doses X Profundidade de amostragem	24	3,3099	0,1379	2,04	0,0049
Erro	168	11,3812	0,0677		
Total	236	58,2867			

APÊNDICE 03- Análise da variância da variável Saturação por Bases do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Formas de aplicação	2	483,85	241,92	0,63	0,5661
Doses	4	4470,46	1117,62	26,74	0
Profundidade de amostragem	3	12728,60	4242,85	101,53	0
Bloco	3	3833,96	1277,99		
Formas de aplicação X Doses	8	505,84	63,23	1,51	0,1559
Formas de aplicação X Profundidade de amostragem	6	1172,78	195,46	4,68	0,0002
Formas de aplicação X Bloco	6	2316,78	386,13		
Doses X Profundidade de amostragem	12	1021,41	85,11	2,04	0,0239
Formas de aplicação X Doses X Profundidade de amostragem	24	1105,45	46,06	1,10	0,3463
Erro	168	7020,40	41,78		
Total	236	34744,10			

APÊNDICE 04- Análise da variância da variável H+Al do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Manejos de aplicação	2	0,7131	0,3565	0,12	0,8898
Doses	4	19,5866	4,8966	9,83	0
Profundidade de amostragem	3	74,3847	24,7949	49,8	0
Bloco	3	28,4793	9,4931		
Manejos de aplicação X Doses	8	12,1312	1,5164	3,05	0,0032
Manejos de aplicação X Profundidade de amostragem	6	17,6703	2,9450	5,92	0
Manejos de aplicação X Bloco	6	17,9665	2,9944		
Doses X Profundidade de amostragem	12	19,4432	1,6202	3,25	0,0003
Manejos de aplicação X Doses X Profundidade de amostragem	24	10,8860	0,4535	0,91	0,5870
Erro	171	85,1384	0,4978		
Total	236	286,399			

APÊNDICE 05- Análise da variância da variável K do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Formas de aplicação	2	0,1446	0,0723	2,35	0,1766
Doses	4	0,0138	0,0034	0,36	0,8372
Profundidade de amostragem	3	2,7374	0,9124	94,58	0
Bloco	3	0,2832	0,0944		
Formas de aplicação X Doses	8	0,2227	0,0278	2,89	0,0049
Formas de aplicação X Profundidade de amostragem	6	0,1213	0,0202	2,10	0,0561
Formas de aplicação X Bloco	6	0,1848	0,0308		
Doses X Profundidade de amostragem	12	0,0394	0,0032	0,34	0,9803
Formas de aplicação X Doses X Profundidade de amostragem	24	0,0966	0,0040	0,42	0,9929
Erro	168	1,6207	0,0096		
Total	236	5,4967			

APÊNDICE 06- Análise da variância da variável P do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Formas de aplicação	2	741,26	370,63	5,17	0,0495
Doses	4	103,97	25,99	1,33	0,2622
Profundidade de amostragem	3	15530	5176,67	264,13	0
Bloco	3	566,21	188,73		
Formas de aplicação X Doses	8	92,27	11,53	0,59	0,7865
Formas de aplicação X Profundidade de amostragem	6	1439,79	239,96	12,24	0
Formas de aplicação X Bloco	6	430,14	71,69		
Doses X Profundidade de amostragem	12	158,27	13,18	0,67	0,7757
Formas de aplicação X Doses X Profundidade de amostragem	24	240,70	10,02	0,51	0,9720
Erro	168	3292,64	19,59		
Total	236	22599,60			

APÊNDICE 07- Análise da variância da variável MO do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Formas de aplicação	2	65,03	32,51	0,16	0,8554
Doses	4	1079,28	269,82	3,67	0,0068
Profundidade de amostragem	3	10901,80	3633,94	49,46	0
Bloco	3	76,45	25,48		
Formas de aplicação X Doses	8	1297,02	162,12	2,21	0,0293
Formas de aplicação X Profundidade de amostragem	6	887,26	147,87	2,01	0,0666
Formas de aplicação X Bloco	6	1217,38	202,89		
Doses X Profundidade de amostragem	12	1233,93	102,82	1,40	0,1704
Formas de aplicação X Doses X Profundidade de amostragem	24	999,44	41,64	0,57	0,9484
Erro	168	12343,00	73,47		
Total	236	30147,70			

APÊNDICE 08- Análise da variância da variável CTC do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Formas de aplicação	2	13,92	6,960	2,74	0,1430
Doses	4	24,78	6,197	5,16	0,0006
Profundidade de amostragem	3	376,87	125,625	104,56	0
Bloco	3	45,22	15,074		
Formas de aplicação X Doses	8	9,90	1,237	1,03	0,4154
Formas de aplicação X Profundidade de amostragem	6	25,84	4,307	3,59	0,0023
Formas de aplicação X Bloco	6	15,25	2,543		
Doses X Profundidade de amostragem	12	10,80	0,900	0,75	0,7011
Formas de aplicação X Doses X Profundidade de amostragem	24	10,42	0,434	0,36	0,9976
Erro	168	201,84	1,201		
Total	236	737,22			

APÊNDICE 09- Análise da variância da variável Ca+Mg do solo em função das formas de aplicação, doses de calcário e profundidade de amostragem para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Formas de aplicação	2	26,56	13,2809	1,47	0,3014
Doses	4	100,96	25,2418	28,77	0
Profundidade de amostragem	3	618,25	206,085	234,91	0
Bloco	3	79,19	26,3999		
Formas de aplicação X Doses	8	8,44	1,0555	1,20	0,2999
Formas de aplicação X Profundidade de amostragem	6	60,30	10,0506	11,46	0
Formas de aplicação X Bloco	6	54,05	9,0084		
Doses X Profundidade de amostragem	12	32,72	2,7273	3,11	0,0005
Formas de aplicação X Doses X Profundidade de amostragem	24	25,13	1,0471	1,19	0,2542
Erro	168	147,38	0,8772		
Total	236	1155,05			

APÊNDICE 10- Análise da variância da variável Ca do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Dias Acumulados	4	860,60	215,152	80,38	0,0000
Formas de aplicação	2	2,45	1,227	0,60	0,5484
Doses	4	6,60	1,650	0,81	0,5197
Bloco	3	31,45	10,484	5,15	0,0019
Dias Acumulados X Formas de aplicação	8	21,33	2,667	1,31	0,2401
Dias Acumulados X Doses	16	19,66	1,229	0,60	0,8793
Dias Acumulados X Bloco	12	32,12	2,676		
Formas de aplicação X Doses	8	22,76	2,845	1,40	0,1993
Dias Acumulados X Formas de aplicação X Doses	32	53,74	1,679	0,82	0,7368
Erro	210	427,70	2,036		
Total	299	1478,44			

APÊNDICE 11- Análise da variância da variável N do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Dias Acumulados	4	1413,36	353,341	17,75	0,0001
Formas de aplicação	2	19,08	9,542	0,75	0,4745
Doses	4	30,04	7,511	0,59	0,6710
Bloco	3	21,55	7,184	0,56	0,6398
Dias Acumulados X Formas de aplicação	8	273,79	34,224	2,68	0,0079
Dias Acumulados X Doses	16	135,55	8,472	0,66	0,8271
Dias Acumulados X Bloco	12	238,85	19,904		
Formas de aplicação X Doses	8	235,66	29,458	2,31	0,0215
Dias Acumulados X Formas de aplicação X Doses	32	386,85	12,089	0,95	0,5525
Erro	210	2678,56	12,755		
Total	299	5433,33			

APÊNDICE 12- Análise da variância da variável P do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Dias Acumulados	4	48,3735	12,0934	31,46	0,0000
Formas de aplicação	2	0,6998	0,3499	4,94	0,0080
Doses	4	1,2144	0,3036	4,29	0,0024
Bloco	3	0,7391	0,2463	3,48	0,0169
Dias Acumulados X Formas de aplicação	8	1,5203	0,1900	2,68	0,0079
Dias Acumulados X Doses	16	1,2889	0,0805	1,14	0,3224
Dias Acumulados X Bloco	12	4,6132	0,3844		
Formas de aplicação X Doses	8	0,5008	0,0626	0,88	0,5309
Dias Acumulados X Formas de aplicação X Doses	32	1,8006	0,0562	0,79	0,7778
Erro	210	14,8738	0,0708		
Total	299	75,6249			

APÊNDICE 13- Análise da variância da variável K do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
DiasAcumulados	4	2083,45	520,86	69,75	0,0000
Formas de aplicação	2	6,86	3,43	0,49	0,6148
Doses	4	30,45	7,61	1,08	0,3663
Bloco	3	181,98	60,66	8,62	0
DiasAcumulados X Formas de aplicação	8	78,80	9,85	1,40	0,1979
DiasAcumulados X Doses	16	104,28	6,51	0,93	0,5398
DiasAcumulados X Bloco	12	89,61	7,46		
Formas de aplicação X Doses	8	57,80	7,22	1,03	0,4166
DiasAcumulados X Formas de aplicação X Doses	32	107,86	3,37	0,48	0,9925
Erro	210	1477,40	7,03		
Total	299	4218,52			

APÊNDICE 14- Análise da variância da variável Mg do tecido foliar da alfafa em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
DiasAcumulados	4	15,027	3,7567	39,37	0,0000
Formas de aplicação	2	0,879	0,4395	4,24	0,0156
Doses	4	1,772	0,4430	4,28	0,0024
Bloco	3	2,448	0,8161	7,88	0,0001
DiasAcumulados X Formas de aplicação	8	1,149	0,1437	1,39	0,2037
DiasAcumulados X Doses	16	1,263	0,0789	0,76	0,7274
DiasAcumulados X Bloco	12	1,145	0,0954		
Formas de aplicação X Doses	8	1,894	0,2367	2,28	0,0230
DiasAcumulados X Formas de aplicação X Doses	32	1,250	0,0390	0,38	0,9992
Erro	210	21,761	0,1036		
Total	299	48,589			

APÊNDICE 15- Análise da variância da variável taxa de acúmulo de MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Dias acumulados	14	750209,00	53586,30	134,05	0,0000
Manejos de aplicação	2	660,02	330,01	2,23	0,1088
Doses	4	4145,48	1036,37	6,99	0,0000
Bloco	3	4461,79	1487,26		
Dias acumulados X Manejos de aplicação	28	7786,00	278,07	1,88	0,0044
Dias acumulados X Doses	56	8569,54	153,02	1,03	0,4141
Dias acumulados X Bloco	42	16789,60	399,75		
Manejos de aplicação X Doses	8	1967,95	245,99	1,66	0,1051
Dias acumulados X Manejos de aplicação X Doses	112	13271,70	118,49	0,80	0,9290
Erro	630	93386,20	148,23		
Total	899	901247,00			

APÊNDICE 16- Análise da variância da variável taxa de acúmulo diária de MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Dias acumulados	14	691735,00	49409,60	124,12	0,0000
Manejos de aplicação	2	605,51	302,75	2,19	0,1133
Doses	4	3880,04	970,00	7	0,0000
Bloco	3	4340,00	1446,67		
Dias acumulados X Manejos de aplicação	28	7295,55	260,55	1,88	0,0043
Dias acumulados X Doses	56	8232,31	147,00	1,06	0,3601
Dias acumulados X Bloco	42	16719,90	398,09		
Manejos de aplicação X Doses	8	1961,57	245,19	1,77	0,0800
Dias acumulados X Manejos de aplicação X Doses	112	11826,30	105,59	0,76	0,9623
Erro	630	87274,90	138,53		
Total	899	833871,00			

APÊNDICE 17- Análise da variância de dois anos da variável MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Incorporada	2	2,64	1,32	0,02	0,9779
Doses	4	1,03	2,58	0,04	0,9961
Bloco	3	6,7	2,23		
Incorporada X Doses	8	7,44	9,31	0,16	0,9946
Incorporada X Bloco	6	8,34	1,39		
Doses X Bloco	12	6,19	5,16	0,01	1,0000
Erro	24	1,42	5,91		
Total	59	1,60			

APÊNDICE 18- Análise da variância do ano 01 da variável MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Incorporada	2	1,54		0,33	0,7231
Doses	4	1,27		1,36	0,2775
Bloco	3	8,38			
Incorporada X Doses	8	1,46		0,78	0,6239
Incorporada X Bloco	6	7,68			
Doses X Bloco	12	3,53		1,26	0,3044
Erro	24	5,62			
Total	59	1,29			

APÊNDICE 19- Análise da variância do ano 02 da variável MS em função dos dias acumulados, formas de aplicação e doses de calcário para alfafa cultivada em SPD. IAPAR-UTFPR.

Causas da variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F	Prob.>F
Incorporada	2	4,74	2,37	1,96	0,1631
Doses	4	3,91	9,79	8,09	0,0003
Bloco	3	7,07	2,35		
Incorporada X Doses	8	7,17	8,96	0,74	0,6563
Incorporada X Bloco	6	4,23	7,05		
Doses X Bloco	12	1,17	9,75	0,80	0,6429
Erro	24	2,90	1,21		
Total	59	2,04			