

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA

**MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE NECESSIDADE DE
CORREÇÃO DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

Autora: Polyanna Ribeiro Trindade
Orientador: Prof. DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues

RIO VERDE - GO
FEVEREIRO - 2016

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO - *CAMPUS* RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS -
AGRONOMIA

**MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE NECESSIDADE DE CORREÇÃO
DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

Mestranda: Polyanna Ribeiro Trindade
Orientador: Prof. DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS - AGRONOMIA no Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – *Campus* Rio Verde – Área de concentração Produção Vegetal Sustentável do Cerrado.

RIO VERDE - GO
FEVEREIRO – 2016

Trindade, Polyanna Ribeiro.
T8331m
Métodos de estimativa de necessidade de correção de um Neossolo Quartzarênico/ Polyanna Ribeiro Trindade; orientador Carlos Ribeiro Rodrigues -- Rio Verde, 2016.
51p.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias - Agronomia) – Instituto Federal Goiano, *Campus* Rio Verde, 2016.

1. Calagem. 2. Gessagem. 3. Solo arenoso 4. Cerrado. I. Ribeiro Rodrigues, Carlos, orient. II. Título.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CÂMPUS RIO VERDE
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AGRÁRIAS-AGRONOMIA**

**MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA NECESSIDADE DE
CORREÇÃO DE UM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO**

Autora: Polyanna Ribeiro Trindade
Orientador: Carlos Ribeiro Rodrigues

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias-Agronomia - Área de
Concentração em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 29 de fevereiro de 2016.

Dr. Carlos Cesar Evangelista de Menezes
Avaliador externo
COMIGO/RV

Prof. Dr. Rafael Marques Pereira Leal
Avaliador interno
IF Goiano – Câmpus Rio Verde

Prof. Dr. Gustavo Castoldi
Avaliador interno
IF Goiano/RV

Prof. Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues
Presidente da banca
IF Goiano/RV

OFEREÇO

A minha mãe Raquel Ribeiro Pereira,
A minha avó Leni Regina Pereira Ribeiro,
Ao meu namorado e amigo Phelippe Mendonça de Paiva,
Ao meu Orientador Carlos Ribeiro Rodrigues.

DEDICO

Ao meu avô Lécio Ribeiro Peixoto
(*In memoriam*)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à CAPES, pela bolsa de estudos, ao CNPq, pelo fomento do projeto, à COMIGO, pela parceria e ao IFGoiano – *Campus* Rio Verde, pela oportunidade de cursar o mestrado.

À minha mãe, Raquel Ribeiro Pereira e avó, Leni Regina Pereira Ribeiro pelo apoio, ajuda e aconselhamentos, pela compreensão da minha ausência e cansaço constantes, pela celebração de cada pequena vitória, e consolação nas pequenas derrotas. Às minhas irmãs, Lara Rodrigues Lima Ribeiro e Maria Clara Ribeiro Badini por me ajudarem a levar a vida de forma mais leve e pela companhia constante.

Ao meu avô, que sempre foi o meu pai de coração, por ter investido em minha educação, por ter cuidado de mim sempre, por ter me aconselhado e apoiado, por sempre demonstrar seu orgulho de meus estudos. Mesmo sem ter vivido suficiente para me ver formada, tenho certeza que ainda acompanha a minha trajetória de onde estiver, e que se orgulharia de me ver concluindo o mestrado.

Ao meu namorado, Phelippe Mendonça de Paiva, por ser meu porto seguro. Por me ajudar a levantar em todas as quedas, estar sempre comigo, mesmo que muitas vezes à distância. Pelos conselhos e opiniões sinceras, por me ouvir quando eu precisava ser escutada, pelo apoio em todos os momentos em que duvidei de mim mesma e pela paciência e compreensão inabaláveis.

Ao meu orientador, Carlos Ribeiro Rodrigues, por ter me aceitado como sua orientada, por todos os ensinamentos, pela confiança depositada em mim, pelo apoio, companhia, inspiração profissional, paciência, compreensão e pela grande amizade.

Ao professor Gustavo Castoldi, por toda a ajuda, apoio, conselhos e pela amizade e companhia.

Aos meus colegas de laboratório, que se tornaram todos queridos amigos, Kássia de Paula Barbosa, Ana Carolina Pacheco Nunes, Tâmara Pontes Abreu, Rosana Souza Silva, Marcos Gustavo Kemmerich Chagas e Raphael Lopes do Couto, pela imensa ajuda na condução do meu experimento, pelas maratonas de análises de solo, por todas as risadas, pelo apoio e por terem feito minha experiência no mestrado muito mais leve, pois sempre soube que podia contar com vocês. À minha amiga Jackellyne Bruna Sousa, por todas as conversas, pelo apoio e por sempre me obrigar a tirar uma pausa da correria, sentar e tomar um café, deixando momentaneamente de lado todas as preocupações.

BIOGRAFIA DA AUTORA

Polyanna Ribeiro Trindade, nasceu em Quirinópolis – GO, em 20 de março de 1991, filha de Raquel Ribeiro Pereira Trindade e Ricardo Trindade da Silva. Coursou Engenharia Ambiental na Universidade de Rio Verde, entre 2009 e 2013. Em 2014 ingressou no IFGoiano – *Campus* Rio Verde, no programa de pós-graduação *Stricto Sensu*, Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia, com linha de pesquisa em tecnologias sustentáveis em sistemas de produção e uso do solo e água.

No ano de 2016, defendeu sua dissertação de Mestrado, parte indispensável para a obtenção do diploma de Mestre em Ciências Agrárias – Agronomia.

ÍNDICE GERAL

	Páginas
ÍNDICE DE TABELAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES	xiii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
1. GESSAGEM	3
2. CALAGEM.....	4
OBJETIVOS.....	7
1. GERAL.....	7
2. ESPECÍFICOS	7
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	8
CAPÍTULO I: PROPRIEDADES QUÍMICAS DE NEOSSOLO QUATZARÊNICO APÓS APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO DETERMINADOS POR DIFERENTES MÉTODOS.....	11
INTRODUÇÃO	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	14
RESULTADOS.....	15
DISCUSSÃO.....	20
CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22
APÊNDICE.....	25

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Caracterização química e física do solo na área experimental.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1 Precipitação pluvial no período outubro de 2014 a março de 2015, na Fazenda Florestal IV, município de Rio Verde - GO.....	26
Figura 2 Valores de pH em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.	27
Figura 3 Teores de Ca em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.	28
Figura 4 Teores de Al em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.	29
Figura 5 Teores de H + Al em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.....	30
Figura 6 Teores de Mg em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.	31

Figura 7 Teores de K em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.	32
Figura 8 Teores de P em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.	33
Figura 9 Teores de Sulfato em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.....	34
Figura 10 Valores da CTC potencial em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.....	35
Figura 11 Produção e número de vagens por planta em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.....	36

LISTA DE SÍMBOLOS, SIGLAS, ABREVIACÕES E UNIDADES

Símbolo / Sigla	Significado
Al	Alumínio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
K	Potássio
CTC	Capacidade de troca de cátions
pH	Potencial hidrogeniônico
P	Fósforo
SPD	Sistema de Plantio Direto
CaSO ₄ .2H ₂ O	Sulfato de cálcio dihidratado
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
N	Nitrogênio
SO ₄ ⁻²	Sulfato
Mo	Molibdênio
Mn	Manganês
Zn	Zinco
Cu	Cobre
Fe	Ferro
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico típico
MAP	Mono-amônio-fosfato
CaO	Óxido de cálcio
MgO	Óxido de magnésio
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total
K ₂ O	Óxido de potássio
B	Boro
H	Hidrogênio
CaCl ₂	Cloreto de Cálcio
K ₂ SO ₄	Sulfato de potássio
S	Enxofre
SPD	Sistema de Plantio Direto

RESUMO

TRINDADE, POLYANNA RIBEIRO. Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, fevereiro de 2016. **Métodos de estimativa de necessidade de correção de um Neossolo Quartzarênico.** Orientador: DSc. Carlos Ribeiro Rodrigues.

RESUMO - O cultivo da soja em solos do cerrado vem encontrando um novo desafio: produção em solos arenosos, ácidos, com alta disponibilidade de alumínio trocável, e baixa saturação de bases. Esse estudo teve por objetivo avaliar as propriedades químicas do solo com uso de corretivos e a produtividade da soja cultivada em solo arenoso. Os tratamentos de correção do solo foram: 1 – sem correção; 2 – calagem, com 4,8 ton ha⁻¹ de calcário; 3 – gessagem, com 700 kg ha⁻¹; 4 – calagem + gessagem (tratamentos 2 + 3); 5 – calagem, com dose de 6,9 ton ha⁻¹; 6 – calagem + gessagem com 2,7 ton ha⁻¹ de calcário e 5,94 ton ha⁻¹ de gesso. O solo arenoso, por ser de baixa resiliência, a própria acidificação ocasionada pelo cultivo da soja gera demanda de correção para a safra seguinte, a menos que seja adicionada alta dose do corretivo para longo efeito residual. O tratamento com 6,9 ton ha⁻¹ proporcionou maior eficácia no controle da frente de acidez e maior produtividade de grãos, porém, devido às altas concentrações de Ca houve precipitação de fósforo na forma de fosfato de cálcio no solo. A gessagem em dose de 700 kg ha⁻¹ proporcionou a maior produtividade de grãos, porém, as variações das características químicas do solo não foram suficientes para explicar a diferença na produção de grãos.

Palavras-chave: calagem, gessagem, solo arenoso, cerrado.

ABSTRACT

TRINDADE, POLYANNA RIBEIRO. Instituto Federal Goiano – *Campus* Rio Verde – GO, february of 2016. **Correction need estimation methods of Entisoil (Quartzipsamments)**. Advisor: Dsc. Carlos Ribeiro Rodrigues.

ABSTRACT - Soybean cultivation in cerrado soils has faced a new challenge: production in sandy soils, acric, with high availability of exchangeable aluminum, and low base saturation. This study aimed to evaluate the soil chemical properties and the yield of cultivated soybean in sandy soil. The treatments of soil correction were: 1 - without correction; 2 - liming with 4.8 ton ha⁻¹ of lime; 3 - gypsum, with 700 kg ha⁻¹; 4 - lime + gypsum (treatments 2 + 3); 5 - liming with doses of 6.9 ton ha⁻¹; 6 - gypsum + lime with 2.7 ton ha⁻¹ of lime and 5.94 ton ha⁻¹ of gypsum. In general, the sandy soil, due to its low resilience, its acidification caused by soybean cultivation generates correction demand for the next harvest, unless it is added a high dose of liming for a long residual effect. The treatment with 6.9 ton ha⁻¹ was more effective in controlling the acidity and presented higher yield, however, due to the high Ca concentrations there was phosphorus precipitation in form of calcium phosphate into the soil. The gypsum at a dose of 700 kg ha⁻¹ had the highest production; however, the variations in soil chemical characteristics were not sufficient to explain the difference in grain production.

Key words: liming, gypsum, sandy soil, savannah.

INTRODUÇÃO GERAL

O Cerrado é a maior fronteira agrícola do Brasil. Sua principal atividade agrícola é a produção de grãos e pecuária, e contribui significativamente com o crescimento do produto interno bruto do país, e também, para o crescimento econômico dessa região.

O início da exploração agrícola no cerrado se deu com o uso dos solos mais férteis, de textura média a argilosa. Os solos arenosos foram destinados a pastagens para uso na pecuária extensionista. Atualmente, com a demanda cada vez maior pela abertura de novas áreas, os solos antes destinados à pecuária vêm sendo incorporados à produção de grãos. A migração da agricultura para as áreas de pastagens se deu não só pela demanda de novas áreas para a agricultura, como também pela necessidade de tecnologias para a recuperação de muitos dos solos, atualmente sob pastagem, que pelo tipo de manejo adotado pelos pecuaristas, encontram-se em estado avançado de degradação.

Assim, o avanço da produção agrícola no cerrado se depara com uma nova realidade: solos degradados e com características físico-química-biológicas distintas dos solos até então utilizados para a produção agrícola. As altas produtividades alcançadas nos solos de textura média a argilosa ainda são meta a ser alcançada para os solos arenosos, dependendo diretamente da adaptação de tecnologias voltadas especificamente aos mesmos.

A maior parte dos solos explorados para a agricultura e pecuária no cerrado, são os Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, correspondendo a 45,7% e 15,2% dos solos sob esse bioma, respectivamente (Souza e Lobato, 2004). Dos Latossolos, grande proporção é de textura média, assemelhando-se química e fisicamente aos Neossolos

Quartzarênicos (Souza e Lobato, 2004). Esses solos, em regra, são ácidos, com alta disponibilidade de alumínio (Al) trocável, e baixa saturação de bases como o cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K) (Lepsch, 2011; Souza & Lobato, 2004; Oliveira et al., 1992; Resende et al., 1988). Esses solos podem apresentar o caráter ácido e com baixa disponibilidade de Ca, com alta ocorrência no sudoeste goiano (Prado, 2011).

Diante das características químicas dos principais solos de ocorrência do cerrado, em especial no sudoeste goiano, há necessidade de correção química e fornecimento de Ca e Mg para viabilizar a produção agrícola nessa região (Souza e Lobato, 2004). A principal fonte de Ca e Mg para a produção de grãos é o calcário, e o gesso agrícola, uma das principais fontes de Ca e S. A estimativa da quantidade dessas fontes a serem aplicadas ao solo tem como critério técnico os métodos de recomendação de calagem e gessagem (Benites et al., 2014; Caires, 2013; Raij, 2011; Souza et al., 2007; Malavolta, 2006 e Souza e Lobato, 2004).

Os métodos de recomendação de calagem e gessagem possuem dois critérios básicos para a utilização no campo: 1) a saturação de bases e a CTC dos solos e 2) os teores de Ca, Mg e Al trocáveis. Considerando que as novas áreas de exploração agrícola possuem CTC igual ou inferior a $4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e textura arenosa, as recomendações de calagem não ultrapassam $2,4 \text{ ton ha}^{-1}$, se a saturação por bases for zero, e a de gessagem não ultrapassa 700 kg ha^{-1} . A aplicação dessa quantidade de gesso e calcário dificilmente elevaria os teores de Ca e Mg para 2 e $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, como recomendado por Souza e Lobato (2004) para solos do cerrado.

Sendo assim a quantidade de corretivo aplicado em solos arenosos do cerrado é insuficiente para fornecer ao sistema produtivo a quantidade necessária de Ca e Mg. Uma das alternativas seria aplicar doses elevadas de calcário, sem critério técnico, o que leva ao desbalanceamento de bases no solo e ao aumento do pH acima da faixa ideal, indisponibilizando outros nutrientes, como o P, por precipitação com Ca em pH alcalino, e os micronutrientes catiônicos (cobre, ferro, manganês e zinco) por precipitação na forma de hidróxidos.

A soja é o grão mais amplamente cultivado no período de safra no estado, com grande representatividade econômica em todo o país. Essa cultura foi expandida para todo o território nacional graças ao advento do sistema de plantio direto (SPD), que possibilita maior sustentabilidade nas áreas agrícolas, e com o avanço dentro do cerrado e a possibilidade de plantio em solos arenosos, os níveis de produção desse grão se tornam incertos. Surge então, uma necessidade de pesquisa sobre o cultivo de soja em

solos arenosos, e também qual metodologia de correção desses solos traz aumento da produção de grãos no cerrado.

1. Gessagem

As limitações impostas pela acidez em solos do cerrado vão além da camada superficial (0 – 20 cm), atingindo as camadas subsuperficiais, onde a toxidez por alumínio e/ou baixa disponibilidade de cálcio são os principais fatores que impedem à maximização da produção das culturas, por limitar o crescimento radicular e, conseqüentemente, a utilização de água e de nutrientes em profundidade (Furtini Neto et al., 2001).

A correção da acidez subsuperficial encontra sérias limitações, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico, pois exige equipamento apropriado e alto consumo de energia, o que impede muitas vezes que o processo se mostre eficiente em profundidade. Por isto, o uso de sais de cálcio, mais solúveis do que o carbonato do calcário, tem sido proposto como alternativa viável para se aumentar os teores de cálcio e reduzir atividade do íon Al^{3+} em profundidade, com conseqüente aumento do sistema radicular. O gesso agrícola, então, surge como uma dessas alternativas para melhorar o ambiente subsuperficial, pois contém sulfato de cálcio hidratado ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), que apresenta cerca de 20% de cálcio, 15% de enxofre, além de 0,7% de P_2O_5 e 0,6% de flúor (Furtini Neto et al., 2001).

Por ser sulfato, o gesso pode ser facilmente lixiviado para as camadas subsuperficiais do solo, levando consigo potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e alguns micronutrientes. Em solos pobres, como os de cerrado, esta propriedade do gesso tem sido aproveitada para melhorar o desenvolvimento radicular das culturas, que favorece o aproveitamento de água e nutrientes em maior volume de terra (EMBRAPA, 1998).

Moda (2013), estudando os efeitos do enxofre aplicado na forma de gesso na cultura da soja, verificou que a aplicação de gesso no solo melhora o estado nutricional da cultura da soja em K, Ca e enxofre (S), e também aumenta o teor de óleo nesses grãos. Broch (2011) também obteve incremento na produção da soja ao associar a aplicação de enxofre solúvel na forma de gesso com superfosfato triplo.

O estudo de Sávio et al. (2011), com aplicação de calcário e gesso na cultura de soja implantado em área de pastagem degradada, mostrou que a dosagem de 1.095 kg ha⁻¹ de gesso proporciona acréscimo de 21% no rendimento de grãos de soja em relação ao tratamento sem corretivos, e que o uso do gesso melhorou a nutrição de N e Ca na cultura da soja.

Santos et al. (2010), avaliaram as modificações em atributos químicos do solo provocadas pela aplicação de calcário e gesso superficial a um Latossolo Vermelho Distrófico típico, e concluiu que a aplicação do gesso melhora o solo em profundidade, aumentando os teores de Ca, além de diminuir os teores de alumínio, enquanto a aplicação do calcário superficial influencia na correção da acidez em profundidade proporcional ao tempo.

Neis, em 2009, avaliou os efeitos de gesso aplicados em diferentes doses ao solo na cultura da soja, em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com plantio com e sem revolvimento, em que a distribuição de Ca²⁺ e S-SO₄²⁻ em profundidade apresentaram comportamento diferenciado, sendo que quando o solo não é revolvido as bases trocáveis se concentram na camada de 0 – 5 cm, e no solo com revolvimento os sulfatos se encontraram na camada de 20 – 40 cm.

Pauletti et al. (2014), estudou o efeito da gessagem e calagem a longo prazo no sistema de plantio direto em um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico com rotação de culturas, em que a aplicação de gesso reduziu a saturação por Al e aumentou os teores de Ca e S no perfil do solo, porém proporcionou lixiviação de Mg, e não favoreceu a lixiviação do K. A aplicação do mineral também aumentou a produtividade das gramíneas (milho e trigo) e aumentou a produtividade da soja em safra com deficiência hídrica.

2. Calagem

Os solos do bioma Cerrado são naturalmente ácidos pela constituição do material de origem e pelo elevado processo de intemperismo e normalmente apresentam baixos teores de cátions básicos (Fageria et al.,1999; Silveira e Stone, 2001). A acentuada deficiência de Ca, Mg e P e a elevada concentração de Al constituíam inicialmente a maior limitação para seu cultivo, sendo necessário o uso intensivo de corretivos e fertilizantes (Fageria, 2001).

Contudo, a existência de estações secas e chuvosas bem definidas, que favorece o planejamento do plantio e colheita, os solos profundos com boa qualidade física e a topografia plana permitiram a ampliação da fronteira agrícola. Assim áreas de campo natural foram incorporadas ao sistema produtivo, cujos solos são ácidos e passaram a ser utilizadas com plantio direto usando somente a calagem superficial como forma de correção da acidez. Todavia, nota-se que a incorporação do calcário ainda pode trazer maiores benefícios às culturas mais exigentes (Kaminski et al., 2000).

De todo modo, a calagem superficial tem propiciado melhorias no ambiente radicular e propicia alterações de atributos químicos em profundidade, comparáveis à calagem incorporada pelo revolvimento do solo, especialmente em solos menos argilosos e com menor acidez potencial (Caires et al., 1998; Amaral e Anghinoni, 2001; Gatiboni et al., 2003; Kaminski et al., 2005).

O calcário é um produto de baixa solubilidade, requerendo sua incorporação no solo para promover maior reação, conseqüentemente, a eficiência da calagem está relacionada a distribuição uniforme do corretivo e a sua incorporação o mais profundamente possível, para que haja contato íntimo com as partículas do solo (Raij et al., 1997; Kaminski et al., 2005; Miranda et al., 2005).

Estudando a influência da aplicação de P, calcário e gesso, Broch et al. (2008) verificaram que a aplicação de doses de fósforo incrementou a produtividade da soja, sendo que esse aumento foi superior com a aplicação calcário e gesso. Pauletti et al. (2014), avaliando o efeito a longo prazo da aplicação de calcário e gesso nos atributos químicos do solo em sistema de plantio direto, verificaram que a calagem proporcionou acréscimo na produtividade do milho e da soja em solo com elevada acidez.

O estudo de Sávio et al. (2011), com aplicação de calcário e gesso na cultura de soja implantada em área de pastagem degradada, mostrou que a aplicação de calcário promove acréscimo do rendimento de grãos da soja e melhora a absorção de N, Ca e Mg. Freitas et al. (2011), avaliando os efeitos da variação da época de aplicação de corretivo de acidez no solo no desenvolvimento e na produção de soja demonstraram que a calagem realizada com três meses de antecedência promove os maiores números de vagens por planta, o peso dos grãos e desenvolvimento do sistema radicular, decrescendo conforme a antecedência de aplicação diminui. Porém, caso não houver este tempo, a calagem, mesmo que no dia do plantio, dará melhores resultados de produtividade que em situações em que não se aplica o corretivo no solo.

De acordo com Caires et al. (2004), a correção da acidez pela calagem

superficial é mais acentuada na camada superior do solo (0-0,05 m) e há maior reação nas profundidades de 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, quando o calcário é incorporado. A calagem também ocasionou o aumento na produtividade do milho da ordem de 13%, e sua aplicação em combinação com a gessagem ocasionou acréscimos na produção de milho da ordem de 17%, mostrando ser uma estratégia eficiente para incrementar a produtividade de grãos. Ressalta-se que o aumento na produtividade de milho com a aplicação de calcário e gesso não foi ocasionado por alterações no crescimento do sistema radicular e esteve relacionado com o aumento da saturação por Ca nas camadas superficiais do solo.

Kaminski et al. (2005) avaliando a eficiência da calagem superficial e incorporada nos atributos da acidez em profundidade, após sete anos de sua aplicação, em área sob sistema plantio direto, concluíram que a eficiência da calagem se manteve por período superior a sete anos da sua aplicação em sistema plantio direto, as doses integrais da necessidade de calcário promoveram maior avanço da frente de neutralização da acidez no solo, proporcionando eficiência por períodos mais prolongados. E que a sua incorporação antes da implantação do sistema plantio direto neutraliza a acidez em profundidades maiores e mostra-se mais eficiente que a aplicação superficial.

OBJETIVOS

1. Geral

Determinar o melhor método de correção de solos arenosos.

2. Específicos

- Avaliar os métodos de estimação de necessidade de calagem e gessagem para implantação de sistemas conservacionistas em solos arenosos do cerrado goiano;
- Avaliar atributos químicos de solos arenosos de forma a maximizar a produção de grãos;
- Avaliar o efeito dos diferentes métodos de estimativa de correção na fertilidade do solo;
- Avaliar a produção da soja em solos arenosos, sob diferentes métodos de determinação da necessidade de correção do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A.S. & ANGHINONI, I. Alterações de parâmetros químicos do solo pela reaplicação superficial de calcário no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 36:695-702, 2001.

BENITES, V. de M.; CARVALHO, M. da C.S.; RESENDE, A.V.; POLIDORO, J.C.; BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRA, F. de. Potássio, Cálcio e Magnésio. IN: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. **Boas Práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. v.2. Piracicaba-SP:IPNI-Brasil, 2014. p.137-206.

BROCH, D. L; NOLLA, A; DEL QUIQUI, E. M; POSSENTI, J. C. **Influência no Rendimento de Plantas de Soja pela Aplicação de Fósforo, Calcário e Gesso em um Latossolo Sob Plantio Direto**. Revista Ciências Exatas e Naturais, Vol.10 nº 2, Jul/Dez 2008.

BROCH, D. L et al. **Produtividade da soja no cerrado influenciada pelas fontes de enxofre**. Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 3, p. 791-796, 2011.

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. **Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados 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. et al. **Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 28:125-136, 2004.

CAIRES, E.F. **Correção da acidez do solo em sistema de plantio direto**. Informações Agronômicas, n.141, p.1-13. 2013.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Barreirão: utilização de fosfatagem na recuperação de pastagem degradada – 1998**. Santo Antonio de Goiás, GO: EMBRAPA/CNPAF,1998, p. 51, (Circular técnica, 31).

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa-SCT/Embrapa-CNPAF, 1999. 294 p.

FREITAS, L. M. B. et al. **Avaliação dos efeitos da calagem realizada em diferentes épocas na cultura da soja.** Revista Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal, v.3, 2011.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do Solo.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

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, 33:283-290, 2003.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; GATIBONI, L.C.; BORTOLUZZI, E.C. & XAVIER, F.M. **Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo a partir da pastagem natural.** Ciência Rural, 30:605-609, 2000.

KAMINSKI, J. et al. **Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural.** R. Bras. Ci. Solo, 29:573-580, 2005.

LEPSCH, I.F. **19 lições de pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

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

MIRANDA, L.N.; DE MIRANDA, J.C.C.; REIN, T.A. & GOMES, A.C. **Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 40:563-572, 2005.

MODA, L. R. et al. **Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica.** Revista Agro@mbiente On-line, v. 7, n. 2, p. 129-135, maio-agosto, 2013. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR

NEIS, L; **Gesso agrícola em sistemas de manejo do solo e produtividade de soja na região do Sudoeste de Goiás.** 2009. 61 fls. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2009.

OLIVEIRA, J.B. de; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para reconhecimento.** Jaboticabal-SP: FUNEP, 1992. 201p.

PAULETTI, V. et al. **Efeitos em longo prazo da aplicação de gesso e calcário no sistema de plantio direto.** Revista Brasileira da Ciência do Solo. 38:495-505, 2014.

PRADO, H. do. **Pedologia fácil: aplicações.** 3ed. Piracicaba-SP: H. do Prado, 2011. 180p.

RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba-SP: IPNI, 2011. 420p.

RESENDE, M.; CURIN,.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília-DF: Ministério da Educação; Lavras-MG:ESAL; Piracicaba-SP:POTAFOS, 1988. 81p.

SANTOS, A. C. et al. **Alterações de atributos químicos pela calagem e gessagem superficial com o tempo de incubação**. Revista Caatinga, vol. 23, n. 1, Jan. – Mar; 2010, p. 77-83, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil.

SÁVIO, F. L. et al. **Calagem e gessagem na nutrição e produção de soja em solo com pastagem degradada**. Revista Agrotecnologia, Anápolis, v.2, n.1, p.19–31, 2011. Universidade Estadual de Goiás, Anápolis – GO.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Teores de nutrientes e matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.2, p.387-394, 2001.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília- DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

SOUSA, D.M.G. de; MIRANDA, L.N. de; OLIVEIRA, S.A. de. **Acidez do Solo e sua correção**. IN: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTE R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: SBC, 2007. p.205-274.

CAPÍTULO I: PROPRIEDADES QUÍMICAS DE NEOSSOLO QUATZARÊNICO APÓS APLICAÇÃO DE CALCÁRIO E GESSO DETERMINADOS POR DIFERENTES MÉTODOS

RESUMO - O cultivo da soja em solos do cerrado vem encontrando um novo desafio: produção em solos arenosos, ácidos, com alta disponibilidade de alumínio trocável, e baixa saturação de bases. Esse estudo teve por objetivo avaliar as propriedades químicas do solo com uso de corretivos e a produtividade da soja cultivada em solo arenoso. Os tratamentos de correção do solo foram: 1 – sem correção; 2 – calagem, com 4,8 ton ha⁻¹ de calcário; 3 – gessagem, com 700 kg ha⁻¹; 4 – calagem + gessagem (tratamentos 2 + 3); 5 – calagem, com dose de 6,9 ton ha⁻¹; 6 – calagem + gessagem com 2,7 ton ha⁻¹ de calcário e 5,94 ton ha⁻¹ de gesso. O solo arenoso, por ser de baixa resiliência, a própria acidificação ocasionada pelo cultivo da soja gera demanda de correção para a safra seguinte, a menos que seja adicionada alta dose do corretivo para longo efeito residual. O tratamento com 6,9 ton ha⁻¹ proporcionou maior eficácia no controle da frente de acidez e maior produtividade de grãos, porém, devido às altas concentrações de Ca houve precipitação de fósforo na forma de fosfato de cálcio no solo. A gessagem em dose de 700 kg ha⁻¹ proporcionou a maior produtividade de grãos, porém, as variações das características químicas do solo não foram suficientes para explicar a diferença na produção de grãos.

Palavras-chave: calagem, gessagem, solo arenoso, cerrado.

ENTISOIL (QUARTZIPSAMMENTS) CHEMICAL PROPERTIES AFTER LIME
AND GYPSUM APPLICATION DETERMINED BY DIFFERENT ESTIMATION
METHODS

ABSTRACT - Soybean cultivation in cerrado soils has faced a new challenge: production in sandy soils, acidic, with high availability of exchangeable aluminum, and low base saturation. This study aimed to evaluate the soil chemical properties and the yield of cultivated soybean in sandy soil. The treatments of soil correction were: 1 - without correction; 2 - liming with 4.8 ton ha⁻¹ of lime; 3 - gypsum, with 700 kg ha⁻¹; 4 - lime + gypsum (treatments 2 + 3); 5 - liming with doses of 6.9 ton ha⁻¹; 6 - gypsum + lime with 2.7 ton ha⁻¹ of lime and 5.94 ton ha⁻¹ of gypsum. In general, the sandy soil, due to its low resilience, its acidification caused by soybean cultivation generates correction demand for the next harvest, unless it is added a high dose of liming for a long residual effect. The treatment with 6.9 ton ha⁻¹ was more effective in controlling the acidity and presented higher yield, however, due to the high Ca concentrations there was phosphorus precipitation in form of calcium phosphate into the soil. The gypsum at a dose of 700 kg ha⁻¹ had the highest production; however, the variations in soil chemical characteristics were not sufficient to explain the difference in grain production.

Key words: liming, gypsum, sandy soil, savannah.

INTRODUÇÃO

A soja é a espécie mais cultivada no estado de Goiás. Com a abertura de novas áreas, os plantios estão ocorrendo em solos mais arenosos, ácidos, com alta disponibilidade de alumínio (Al) trocável, e baixa saturação de bases. Assim, aumenta o risco da produção, principalmente com a ocorrência de veranicos, fenômeno climatológico comum nesse bioma (Lepsch, 2011; Souza e Lobato, 2004; Oliveira et al., 1992; Resende et al., 1988; Fageria et al., 1999; Silveira e Stone, 2001).

A acentuada deficiência de cálcio e magnésio e a elevada concentração de alumínio constituem inicialmente a maior limitação para o cultivo em solos sob cerrado (Fageria, 2001). O principal manejo de correção desses solos é a aplicação em superfície de calcário em áreas sob cultivo mínimo e sistema de plantio direto (Kaminski et al., 2000). Por ser um produto de baixa solubilidade sua incorporação no solo promove maior reação, gerando contato íntimo com as partículas do solo, trazendo vários benefícios para melhorar o rendimento das culturas em solos originalmente ácidos. A Calagem adequada elimina a acidez do solo e toxicidade de Al, Mn e H; melhora a estrutura do solo, as disponibilidades de Ca, P, Mo, e Mg, melhora a fixação de N₂; e reduz as disponibilidades de Mn, Zn, Cu e Fe e perdas por lixiviação de cátions (Raij et al., 1997; Kaminski et al., 2005; Miranda et al., 2005, Fageria, 2008).

As limitações impostas pela acidez nesses solos atingem também as camadas subsuperficiais, gerando sérios problemas, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. O gesso agrícola surge como alternativa para melhorar o condicionamento do solo, pois contém sulfato de cálcio hidratado (CaSO₄.2H₂O) (Furtini Neto et al., 2001) e, ao ser lixiviado, leva K, Ca, Mg e alguns micronutrientes às camadas subsuperficiais, diminuindo o efeito tóxico do alumínio às plantas, promovendo melhor desenvolvimento radicular, maior volume de solo explorado pelas raízes e, conseqüentemente melhor aproveitamento de água e nutrientes (EMBRAPA, 1998).

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as propriedades químicas do solo e a produtividade da soja em solos arenosos, utilizando diferentes métodos de determinação da necessidade de correção do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na Fazenda Florestal IV da COMIGO, localizada no município de Rio Verde - GO, em área classificada como Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) (EMBRAPA, 2013), na safra de 2014/15. Antes da instalação do experimento foram retiradas amostras de solo para a caracterização química e textural e para a definição dos tratamentos (Tabela 1). Os dados de precipitação durante a condução do experimento, encontram-se na Figura 1.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, com quatro repetições, e seis formas de correção do solo sendo:

1. sem correção (T);
2. calagem (C), estimado conforme Souza e Lobato (2004) para elevar o teor de magnésio trocável para $1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ($4,8 \text{ ton ha}^{-1}$ de calcário);
3. gessagem (G), estimado conforme Souza e Lobato (2004) (totalizando 700 kg ha^{-1});
4. calagem + gessagem estimados conforme Souza e Lobato (2004) (Tratamentos 2 + 3) (CG);
5. calagem estimado por cálculo estequiométrico para saturar 100% da CTC de 0 a 40 cm com Ca + Mg do calcário ($6,9 \text{ ton ha}^{-1}$ de calcário) (CCTC);
6. calagem estimada por cálculo estequiométrico para saturar 100% da CTC de 0 a 20 cm com Ca + Mg do calcário mais saturar 100% da CTC de 20 a 40 cm com Ca do gesso ($2,7 \text{ ton ha}^{-1}$ de calcário e $5,94 \text{ ton ha}^{-1}$ de gesso) (CGCTC).

As parcelas tinham 5,0 m de largura e 66,0 m de comprimento. Para o plantio da soja de safra verão foi utilizado espaçamento de 0,5 m entre linha, perfazendo 10 linhas por parcela.

Os corretivos calcário (39% CaO; 6% MgO e 75% PRNT) e gesso (25% CaO) nas doses dos tratamentos, mais 200 kg ha^{-1} MAP (50% P_2O_5) para correção dos teores de P no solo, foram aplicados a lanço e incorporados a 40 cm de profundidade com arado de aiveca, no dia 31 de outubro de 2014. Após 10 dias as sementes de soja, cv. Intacta RR2 PRO M7110 Monsoy foram tratadas com Standak Top (Piraclostrobina 2,5%, Tiofatato Metílico 22,5% e Fipronil 25%) 150 ml em 20 kg de sementes, inoculante Biomax (*B. japonicum* 6×10^9 unidades formadoras de colônia ml^{-1}) 600 ml por 50 kg semente ha^{-1} , CoMo NHT Bio Soja (3% Co, 30% Mo) 40 ml ha^{-1} . Em seguida, foram semeadas com adubação de 300 kg ha^{-1} do formulado 5:30:10 (N; P_2O_5 ;K $_2$ O) mais 0,2% Cu, 0,3% Zn e 0,4% B).

Após 18 dias da incorporação dos tratamentos, foram coletadas amostras compostas de solo nas profundidades de 0 -5; 5- 10; 10 – 20; 20 – 30; 30 – 40; 40 – 60 cm, e a partir desta data novas amostragens foram realizadas de 30 em 30 dias até a colheita, totalizando 4 amostragens. As amostras de solo foram secas ao ar e peneiradas em malha de 2 mm, para posteriormente seguirem para análise no Laboratório de Química Agrícola dos teores de Ca, Mg, K, P (Mehlich I), Al, H+Al, pH (CaCl₂) (EMBRAPA, 2009) e sulfato (Raij et al., 2001). A partir desses valores foi determinada a CTC potencial.

A amostragem de plantas para determinação da produtividade foi realizada nas duas linhas centrais da parcela, colhendo-se 12m da parcela útil. As vagens foram contadas e retiradas manualmente, secas até peso constante e trilhadas. Então, foram estimados, a produtividade e o peso de mil grãos.

Os dados obtidos nas análises de solo foram submetidos à análise de variância e regressão geométrica com auxílio do software R (R Development Core Team, 2014), e os dados de produção, à análise de variância e teste de média (a 5% de probabilidade) com auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2010). Os critérios para a escolha das equações de regressão foram a significância da equação juntamente com o $R \geq 50\%$.

RESULTADOS

Houve redução do pH em função da profundidade para todos os tratamentos (Figura 2). Para os tratamentos Calagem (C) (Figura 2A), Calagem + Gessagem CTC (CGCTC) (Figura 2D) e Testemunha (T) (Figura 2F) houve ajuste linear.

Com o tratamento Calagem + Gessagem (CG) (Figura 2C) e Gessagem (G) (Figura 2E) houve incremento nos valores de pH até 21 e 17 cm, respectivamente, seguido de redução. Para Calagem CTC (CCTC), houve interação entre profundidade e dias de coleta, com faixa de menor pH (5,6) obtido por volta de 40 a 70 dias na profundidade de 10 a 40 cm e os maiores valores de pH obtidos após os 90 dias entre profundidades de 10 e 30 cm.

O pH a 60 cm nos diferentes tratamentos foi: CG (Figura 1C), 4,77, CGCTC (Figura 2D) 4,68, G (Figura 2E) 4,44 e C (Figura 2A) e T (Figura 2F), 4,40. No tratamento CCTC o pH a 60 cm variou de 4,9 a 4,7 (Figura 2B).

Os teores de Ca decresceram em profundidade para todos os tratamentos (Figura 3). Nos tratamentos C (Figura 3A) e T (Figura 3F) o ajuste foi linear. Com CG (Figura 3C), houve ajuste quadrático, e o maior valor obtido aos 20 cm.

Nos tratamentos CCTC (Figura 3B), CGCTC (Figura 3D), G (Figura 3E) houve interação entre a profundidade e os dias das coletas. Em CCTC (Figura 3B), as maiores concentrações de Ca foram obtidas até os 40 cm, diminuindo com o tempo da coleta. Com CGCTC (Figura 3D) as maiores concentrações ficaram entre 10 e 30 cm, possivelmente pelo revolvimento do solo, diminuindo também com o tempo de coleta. No tratamento G (Figura 3E), além da maior concentração até os 30 cm, ocorreu a queda nos teores de Ca entre os 40 e 70 dias, o que pode ter sido ocasionado pela alta demanda nutricional da soja nesse período.

Em profundidade, os tratamentos C (Figura 3A), CG (Figura 3C) e T (Figura 3F) apresentaram teores de Ca de 0,82, 0,92 e 0,74, respectivamente. Os maiores teores de Ca em profundidade foram obtidos com a aplicação conjunta do calcário mais gesso, independente da forma de cálculo (Figura 3C e D).

Para os teores de Al no tratamento CG, não houve ajuste de modelo. Em CCTC (Figura 4B) e T (Figura 4E), houve ajuste linear, com acréscimo nos teores de Al com o aumento da profundidade. O menor acréscimo de Al foi obtido pelo tratamento CCTC (Figura 4B) (+0,001), e os valores de Al em profundidade para CCTC (Figura 4B) foi de 0,10 e para T (Figura 4E) foi de 0,15.

Os tratamentos, C (Figura 4A), CGCTC (Figura 4C) e G (Figura 4D), apresentaram interação entre a profundidade e os dias das coletas. Nos tratamentos C (Figura 4A) e G (Figura 4D) os valores de Al aumentaram com a profundidade, e tiveram um pico entre os 40 e 70 dias devido à acidificação da rizosfera pelas raízes das plantas de soja. Para C (Figura 4A), os teores encontrados foram superiores aos apresentados em G (Figura 4D), por causa da precipitação do alumínio ocasionada pela dissolução do gesso.

Em CGCTC (Figura 4C), houve também um pico nos teores de Al entre 40 e 70 dias, porém, a partir do 80º dia, os teores estabilizaram em toda a profundidade amostrada, provavelmente pelas altas concentrações de gesso incorporado nesse tratamento.

Os teores de H+Al em C (Figura 5A), CCTC (Figura 5B) e T (Figura 5F) apresentaram interação entre dias e profundidade, aumentando com o tempo, e profundidade. Em CG (Figura 5C), houve aumento de acordo com a profundidade,

porém, entre 20 e 70 dias ocorreu decréscimo nas concentrações, possivelmente pelo aumento do pH no solo (Figura 2C).

CGCTC (Figura 5D) e G (Figura 5E) obtiveram ajuste linear em função dos dias das coletas. Porém os teores de alumínio não aumentaram com os dias nesses tratamentos (Figura 4C e D). Sendo assim, o aumento mostrado pelo ajuste vem provavelmente do incremento na concentração de H^+ , ou seja, aumento da acidez (Figura 2 D e E).

Para os teores trocáveis de Mg (Figura 6), a aplicação dos tratamentos C (Figura 6A), CCTC (Figura 6B), G (Figura 6E) e T (Figura 6F), houve interação entre a profundidade e os dias das coletas. Os teores de magnésio reduziram com a profundidade e principalmente entre os 40 e 70 dias. Em CG (Figura 6C) e CGCTC (Figura 6D), o ajuste foi quadrático, com a quantidade de Mg reduzindo entre 40 e 70 dias, e depois voltando a subir. A redução dos teores de Mg trocável entre os 40 e 70 dias pode ser atribuído à absorção pelas plantas.

Para os teores de K trocável (Figura 7), todos os tratamentos apresentaram interação entre dias das coletas e profundidade, com redução dos teores com o tempo e a profundidade. Esse resultado reflete a lixiviação desse cátion.

Os maiores valores de K trocável foram obtidos nos tratamentos CG (Figura 7C) e G (Figura 7E), seguidos por C (Figura 7A), T (Figura 7F), CCTC (Figura 7B) e CGCTC (Figura 7D). Os menores valores do tratamento CGCTC (Figura 7D) podem ser atribuídos às altas doses de gesso, que por conter sulfato, possivelmente lixiviou o K trocável em profundidades maiores que as amostradas.

Para os teores de P no solo no tratamento T não houve ajuste significativo. Em C (Figura 8A), CG (Figura 8C) e G (Figura 8E) houve redução linear das concentrações de P em função da profundidade.

Em CGCTC C (Figura 8D), houve interação entre os dias e a profundidade, com redução nos teores de P com o tempo e a profundidade. Esse resultado é explicado pelas perdas de P no solo. Já em CCTC (Figura 8B), ocorreu aumento dos teores de P com o tempo e diminuição com a profundidade.

Para o tratamento CCTC não houve ajuste significativo para os teores de sulfato (SO_4^{2-}). No tratamento C (Figura 9A), houve aumento linear com a profundidade. Com CGCTC (Figura 9C) houve redução até 78 dias seguido de aumento dos teores de sulfato.

Com CG (Figura 9B), G (Figura 9D) e T (Figura 9E), houve interação entre a profundidade e os dias de coleta. Para T (Figura 9E), os teores aumentaram com a profundidade e reduziram com o tempo, possivelmente pela lixiviação do sulfato, o mesmo ocorreu em G (Figura 9D). No tratamento CG (Figura 9B), os teores aumentaram com a profundidade de 20 a 40 cm e reduziram com o tempo.

Quanto à CTC potencial, todos os tratamentos apresentaram interação entre dias e profundidade (Figura 10). Os tratamentos C (Figura 10A), CCTC (Figura 10B) e G (Figura 10E) apresentaram redução da CTC potencial com o aumento da profundidade e também entre 40 e 70 dias, pela demanda nutricional da planta. Em geral, os valores da CTC potencial em CG (Figura 10C) e CGCTC (Figura 10D) foram maiores, reduzindo tanto com a profundidade quanto com o tempo. No tratamento T (Figura 10F) os valores sofreram queda entre 30 e 70 dias. No tratamento CG (Figura 10C), porém, a redução da CTC potencial ficou concentrada entre 60 e 90 dias, e em CGCTC (Figura 10D), os maiores valores se concentraram entre 20 e 40 cm, por causa do revolvimento do solo.

Para a produção de soja não houve variação significativa para peso de mil grãos. A maior produção de grãos foi obtida com a aplicação de G e CCTC, seguidos de C, CGCTC, T e CG (Figura 11A). Para vagens por planta, o melhor tratamento foi G, seguido de CCTC, CG, C, T e CGCTC (Figura 11B).

No tratamento sem correção (T) houve aumento da acidez ativa e potencial trocável e não trocável em profundidade e redução das bases (Ca, Mg e K), principalmente no período de maior exigência da cultura. O sulfato aumentou em profundidade e a CTC potencial reduziu entre os 20 e 60 dias, comportamento similar ao do Mg.

Com aplicação de 4,8 toneladas de calcário por hectare (tratamento C) houve aumento da acidez ativa e potencial trocável e não trocável em profundidade, com os maiores teores de alumínio trocável entre os 40 e 70 dias. Os teores de fósforo e cálcio e magnésio trocáveis reduziram com a profundidade. Entre os 40 e 70 dias, também houve redução do Mg trocável. O sulfato apresentou acréscimo em profundidade, e K diminuiu em profundidade e também com os dias. A CTC potencial diminuiu com a profundidade, refletindo o comportamento dos cátions, e apresentou aumento com o tempo, reduzindo somente entre os 40 e 70 dias, de acordo com o comportamento do Mg.

Com aplicação de 6,9 toneladas de calcário por hectare (tratamento CCTC) houve aumento da acidez ativa entre 10 e 30 cm, no período entre 40 e 70 dias, potencial trocável em profundidade e não trocável com a profundidade e os dias. Os maiores teores de Ca se concentraram entre 10 e 40 cm, reduzindo com os dias. O magnésio reduziu em profundidade e entre 40 e 70 dias, e o K, reduziu com a profundidade e com os dias. As concentrações de fósforo diminuíram com a profundidade e aumentaram com os dias.

As alterações nos teores de sulfato não foram significativas. A CTC potencial diminuiu com a profundidade, refletindo o comportamento dos cátions, e apresentou aumento com o tempo, reduzindo somente entre os 40 e 70 dias, de acordo com o comportamento do Mg.

Com aplicação de 4,8 toneladas de calcário e 700 quilos de gesso por hectare (tratamento CG) houve diminuição da acidez ativa até os 21 cm de profundidade, as variações da acidez potencial trocável não foram significativas, e a acidez potencial não trocável aumentou em profundidade e reduziu entre os 20 e 70 dias. Os teores de Ca apresentaram acréscimo até os 20 cm, o Mg decresceu entre os 40 e 70 dias e o K reduziu com a profundidade e com o tempo. As concentrações de fósforo diminuíram com a profundidade e as de sulfato aumentaram com a profundidade e diminuíram com os dias. A CTC potencial diminuiu em profundidade e entre os 40 e 70 dias, de acordo com o comportamento do Mg.

Com aplicação de 2,7 toneladas de calcário e 5,94 toneladas de gesso por hectare (tratamento CGCTC) houve aumento da acidez ativa e potencial trocável em profundidade, e aumento da acidez potencial não trocável com os dias. Os teores de cálcio aumentaram entre 10 e 40 cm e diminuíram com os dias, os de magnésio diminuíram entre os 40 e 70 dias e os de potássio e fósforo diminuíram com os dias e a profundidade. As concentrações de sulfato diminuíram até os 78 dias. A CTC potencial aumentou entre 20 e 40 cm e entre os 40 e 80 dias, de acordo com o comportamento do Ca, Mg e Al.

Com aplicação de 700 quilos de gesso por hectare (tratamento G) houve aumento da acidez ativa e potencial trocável em profundidade, a última, também aumentando entre os 40 e 70 dias, e a acidez potencial não trocável aumentou com os dias. Os teores de Ca aumentaram até os 30 cm e diminuíram entre os 40 e 70 dias, os de Mg diminuíram entre os 40 e 70 dias e os de K reduziram com os dias e profundidade. As concentrações de P diminuíram com a profundidade e as de sulfato,

aumentaram com a profundidade e diminuíram com os dias. A CTC potencial diminuiu em profundidade e entre os 40 e 70 dias, de acordo com o comportamento do Ca e do Mg.

DISCUSSÃO

A redução de pH ocorrida na subsuperfície, entre 40 e 70 dias, pode ser explicada pela acidificação da rizosfera pelas raízes das plantas de soja. Nesse período, também houve redução da CTC potencial e das concentrações de Mg, e pode se justificar pelas plantas estarem em estágio vegetativo e de enchimento de grãos, período esse em que a extração de nutrientes pelas plantas estava em seu ápice (Cordeiro et al., 1979). Por ser solo de baixa resiliência, a própria acidificação ocasionada pelo cultivo da soja gera demanda de correção para a safra seguinte, a menos que seja adicionada superdose para longo efeito residual, como foi observado no tratamento CCTC, que apresentou menor intensidade no aumento da frente de acidez, juntamente com o tratamento CG.

O comportamento da CTC potencial refletiu o dos teores de Mg pela maior variação desse nutriente nos tratamentos. Todos os tratamentos, exceto testemunha, continham ao menos uma fonte de Ca, explicando a menor variação desse cátion na CTC potencial. No CGCTC a CTC potencial respondeu de forma diferente, variando conforme os teores de Ca, Mg e Al. A influência desses cátions na CTC ocorreu porque esse tratamento recebeu alta dose de gesso e apresentou o maior teor de Ca entre os tratamentos, e também uma das menores concentrações de Al.

O aumento dos teores de P no tratamento com CCTC é explicado de acordo com Novais e Smyth (1999), que relatam que com altas dosagens de calcário e elevados teores de Ca^{2+} pode ocorrer a precipitação de P, formando fosfatos bi e tri-cálcicos de baixa solubilidade, e o extrator de Mehlich I extrai o P através da dissolução ácida de compostos fosfatados de fraca energia, sendo maior para fosfatos de cálcio, levando à superestimação do P disponível no solo (Tedesco et al. 1985; Santos et al, 2008; EMBRAPA, 2009).

A perda de cátions por lixiviação depende muito do volume de chuva e da presença de ânions acompanhantes como nitrato, cloreto e sulfato (Serafim et al., 2012). Moraes et al. (1998) indicam que a aplicação de altas doses de gesso agrícola promove

lixiviação do K para as camadas subsuperficiais do solo, principalmente pela formação de par iônico com os íons SO_4^{2-} (K_2SO_4), aumentando assim, a mobilidade no perfil do solo. O sulfato de potássio também se movimenta com maior facilidade, em razão de sua menor densidade de carga (Ramos et al., 2013), explicando o fato de apenas o potássio ter apresentado maior lixiviação, apesar de relatos da gessagem também aumentar a lixiviação do Mg (Caires, 1998; Caires, 2003; Caires, 2004; Serafim et al., 2012). Todavia, Jalali e Rowell (2003), relatam que as perdas de K por lixiviação em solos arenosos ocorre com a mesma intensidade nos tratamentos com e sem gessagem.

A resposta da produção no tratamento G corroborou os resultados de Caires (2004), em que o milho apresentou acréscimo de 5% na produção no tratamento com gesso. Entretanto, as variações nas características químicas do solo no tratamento só com a aplicação de gesso não são suficientes para explicar a diferença de produção de grãos. E em geral, vários autores relatam a ausência de resposta da soja à gessagem (Caires et al., 1998; Caires et al., 2003; Castañon et al., 2011, Moda et al., 2013). Para o presente experimento, observa-se que a componente número de vagens foi o que pode ter explicado a maior produção de grãos nas plantas que receberam o gesso. Todavia, os demais tratamentos com a aplicação conjunta de gesso com calcário não obtiveram o mesmo resultado. Como houve grande período de estiagem no período de desenvolvimento das plantas (Figura 1) a aplicação do gesso pode ter auxiliado no crescimento em profundidade das raízes mantendo o desenvolvimento das plantas nesse período. Em contrapartida, não tem propriedade química do solo avaliada que dê suporte para a atual discussão, e a ausência do efeito do gesso em aplicação conjunta com o calcário deve ser melhor estudada no futuro.

CONCLUSÃO

Para as condições de solos frágeis do cerrado e com base nas propriedades químicas do solo avaliado e na produtividade da soja, os métodos de recomendação de maior eficiência para primeiro ano foram 700 kg ha^{-1} de gesso agrícola e saturação de 100% da CTC da camada de 0 a 40 cm de profundidade com calcário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAIRES, E.F.; CHUEIRI, W.A.; MADRUGA, E.F.; FIGUEIREDO, A. Alterações de características químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados 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. et al. **Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema plantio direto**. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2003, vol.27, n.2, pp. 275-286. ISSN 1806-9657.

CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta do milho à calagem e aplicação de gesso. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:125-136, 2004.

CAIRES, E.F. **Correção da acidez do solo em sistema de plantio direto**. Informações Agronômicas, n.141, p.1-13. 2013.

CANTARELLA, H; PROCHNOW, L. I. Determinação de sulfato em solos. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade em solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285p.

CASTAÑÓN, T. H. F. M. et al. Uso do gesso agrícola na cultura da soja, na região sul do estado de Mato Grosso. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB**, Jaboticabal, v.3, 2011. Suplemento.

CORDEIRO, D. S. et al. **Extração de macronutrientes pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em função dos níveis de NPK**. An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz [online]. 1979, vol.36, pp. 551-604. ISSN 0071-1276.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Barreirão: utilização de fosfatagem na recuperação de pastagem degradada** – 1998. Santo Antonio de Goiás, GO: EMBRAPA/CNPAF,1998, p. 51, (Circular técnica, 31).

EMBRAPA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa CNPS, 3 ed. Rio de Janeiro, 2013. 353p.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F.; SANTOS, A. B. dos. **Maximização da eficiência de produção das culturas**. Brasília: Embrapa-SCT/Embrapa-CNPAF, 1999. 294 p.

FAGERIA, N. K. **Effect of liming on upland rice, common bean, corn, and soybean production in cerrado soil**. *Pesq. agropec. bras.*[online]. 2001, vol.36, n.11, pp. 1419-1424. ISSN 1678-3921.

FAGERIA, N.K. & BALIGAR, V.C. **Ameliorating soil acidity of tropical Oxisols by liming for sustainable crop production.** Adv. Agron., 99:345-431, 2008.

FERREIRA, D. F. **Sisvar: versão 5.3.** DEX/UFLA, Lavras. 2010.

FURTINI NETO, A. E. et al. **Fertilidade do Solo.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p.

JALALI, M. & ROWELL, D. L. **The role of calcite and gypsum in the leaching of potassium in a sandy soil.** Experimental Agriculture, 39 (4). 2003. pp. 379-394. ISSN 0014-4797

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; SANTOS, E.J.S.; GATIBONI, L.C.; BORTOLUZZI, E.C. & XAVIER, F.M. Resposta de culturas à aplicação de calcário em superfície ou incorporado ao solo a partir da pastagem natural. **Ciência Rural**, 30:605-609, 2000.

KAMINSKI, J. et al. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. **R. Bras. Ci. Solo**, 29:573-580, 2005.

LEPSCH, I.F. **19 lições de pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.

MIRANDA, L.N.; DE MIRANDA, J.C.C.; REIN, T.A. & GOMES, A.C. **Utilização de calcário em plantio direto e convencional de soja e milho em Latossolo Vermelho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, 40:563-572, 2005.

MODA, L. R. et al. **Gessagem na cultura da soja no sistema de plantio direto com e sem adubação potássica.** Revista Agro@mbiente On-line, v. 7, n. 2, p. 129-135, maio-agosto, 2013. Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR.

MORAES, J. F. L.; BELLINGIERI, P. A.; FORNASIERI FILHO, D.; GALON, J. A. **Efeito de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca-80.** Scientia Agrícola, v. 55, n. 3, p. 438-447, 1998.

NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.

OLIVEIRA, J.B. de; JACOMINE, P.K.T.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para reconhecimento.** Jaboticabal-SP: FUNEP, 1992. 201p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R Foundation for Statistical Computing,** Vienna, Austria, 2014.

RAIJ, B.van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285p.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba-SP: IPNI, 2011. 420p.

RAMOS, B. Z. et al. **Doses de gesso em cafeeiro: influência nos teores de cálcio, magnésio, potássio e ph na solução de um latossolo vermelho distrófico**. Rev. Bras. Ciênc. Solo [online]. 2013, vol.37, n.4, pp. 1018-1026. ISSN 0100-0683.

RESENDE, M.; CURIN.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília-DF: Ministério da Educação; Lavras-MG:ESAL; Piracicaba-SP:POTAFOS, 1988. 81p.

SANTOS, D. R., GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J. **Fatores que afetam a disponibilidade e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto**. Ciencia Rural, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 576-586, mar./abr. 2008.

SERAFIM, M. E. et al. **Alterações físico-químicas e movimentação de íons em Latossolo gibbsítico sob doses de gesso**. Bragantia [online]. 2012, vol.71, n.1, pp. 75-81. Epub 29-Mar-2012. ISSN 0006-8705.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Teores de nutrientes e matéria orgânica afetados pela rotação de culturas e sistema de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.2, p.387-394, 2001.

SOUSA. D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2 ed. Brasília- DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416p.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1985. 188p.

APÊNDICE

Tabela 1 Caracterização química e física do solo na área experimental.

Solo	Neossolo Quartzarênico ortico típico			
Prof.	0-10	10-20	20-30	30-40
pH (CaCl₂)	5,9	4,9	4,2	4,2
Ca (cmol_c/dm³)	2,0	1,0	0,3	0,2
Mg (cmol_c/dm³)	0,6	0,4	0,1	0,1
Al (cmol_c/dm³)	0,0	0,1	0,5	0,6
H+Al (cmol_c/dm³)	1,2	2,0	2,6	2,7
K (cmol_c/dm³)	0,1	0,1	0,0	0,0
P (MI) (mg/dm³)	11,7	5,4	3,7	2,9
S (mg/dm³)	14,3	16,1	27,5	35,0
M.O. (g/dm³)	13,2	11,0	8,4	7,4
SB (cmol_c/dm³)	2,7	1,4	0,5	0,4
T (cmol_c/dm³)	3,9	3,5	3,1	3,0
V (%)	67,5	42,1	15,6	11,9
m (%)	1,5	10,9	51,1	62,1
B (mg/dm³)	0,2	0,2	0,2	0,2
Fe (mg/dm³)	42,7	58,3	69,2	67,3
Mn (mg/dm³)	9,3	4,2	1,9	1,6
Zn (mg/dm³)	2,9	0,9	0,0	0,0
Co (mg/dm³)	0,1	0,0	0,0	0,0
Cu (mg/dm³)	0,2	0,2	0,2	0,2
Areia (%)	82,7	81,4	81,4	82,0
Argila (%)	11,2	11,7	11,7	11,6
Silte (%)	6,1	6,8	6,8	6,4

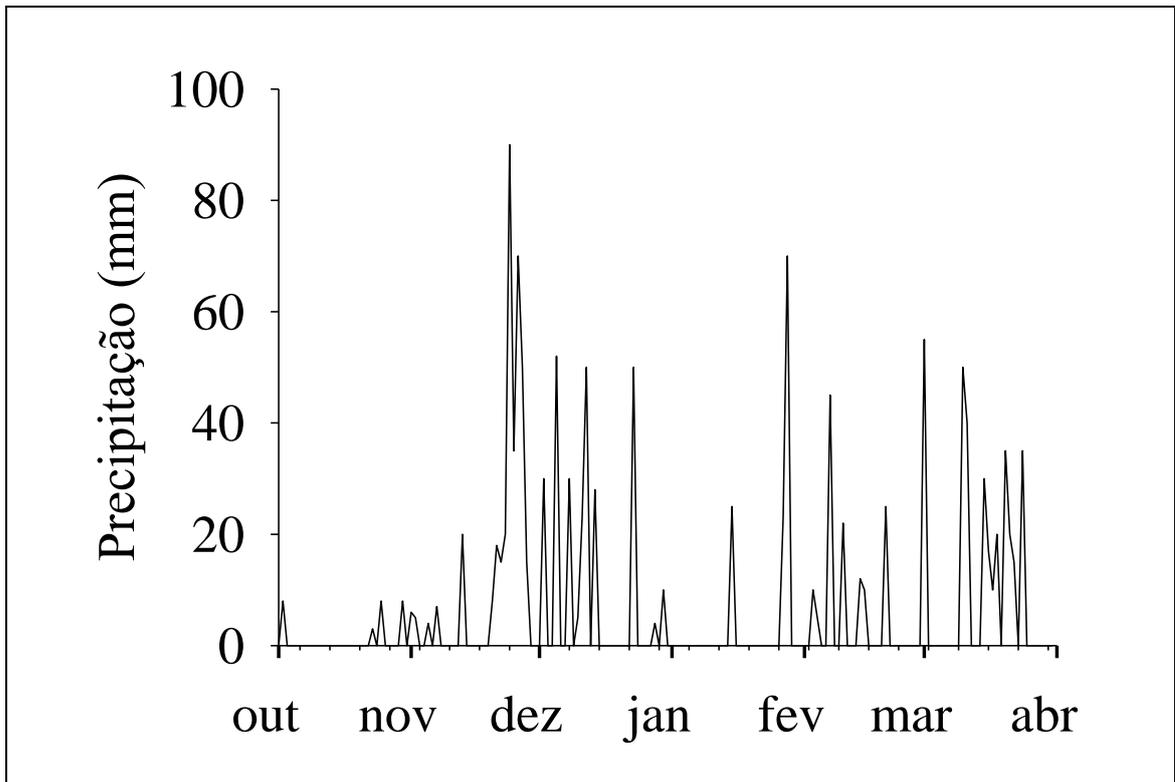


Figura 1 Precipitação pluvial no período outubro de 2014 a março de 2015, na Fazenda Florestal IV, município de Rio Verde - GO

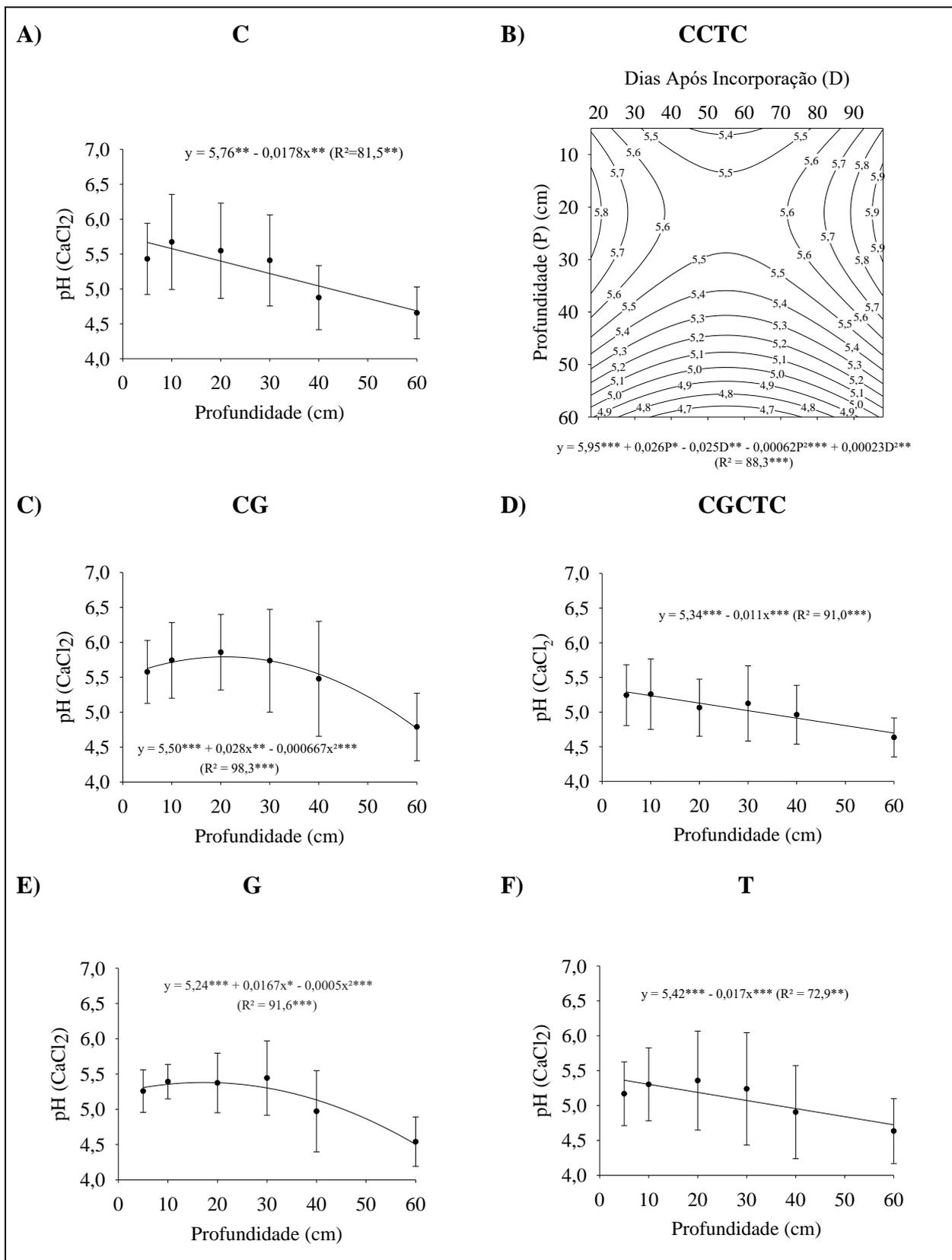


Figura 2 Valores de pH em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.

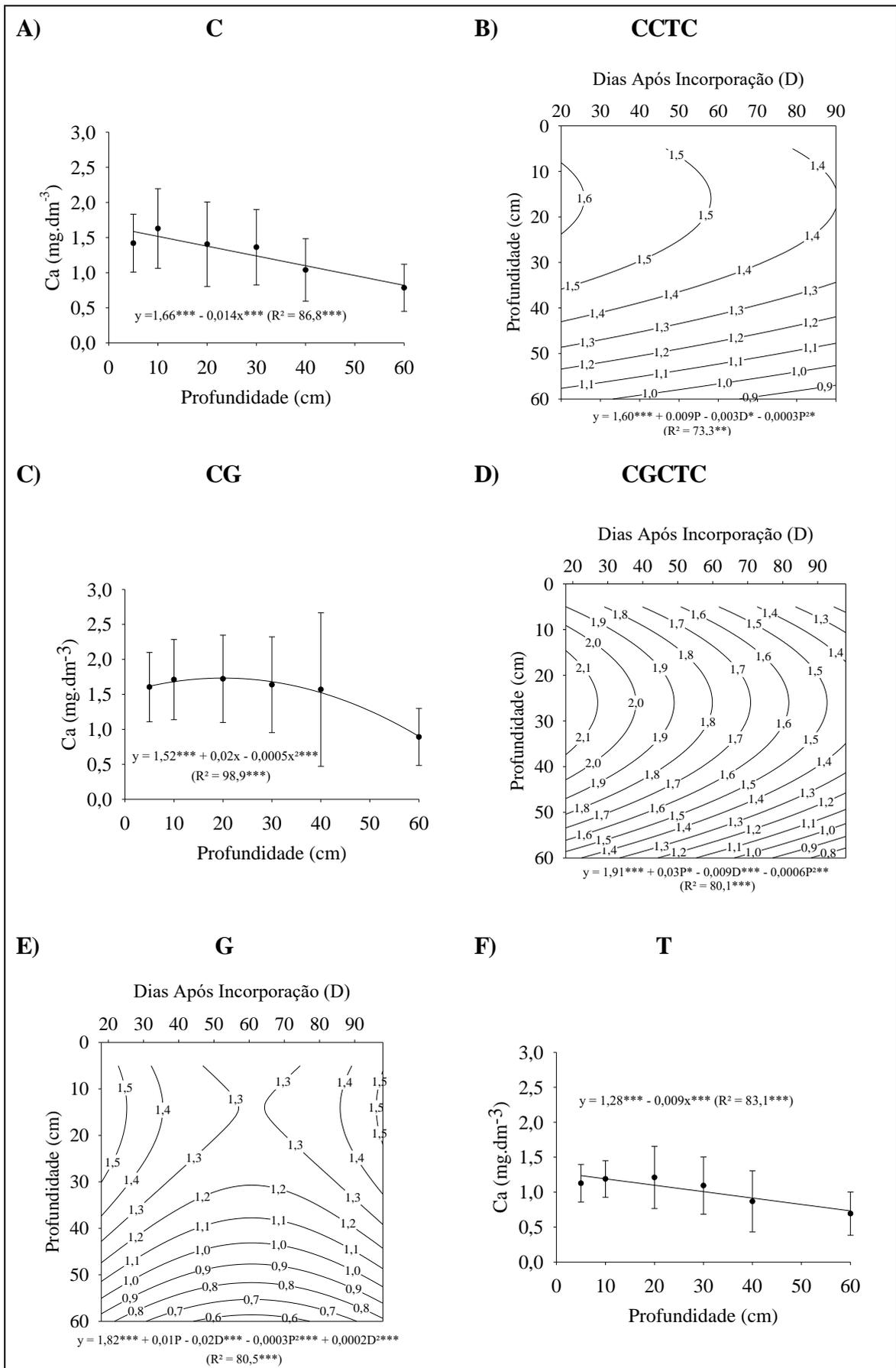


Figura 3 Teores de Ca em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.

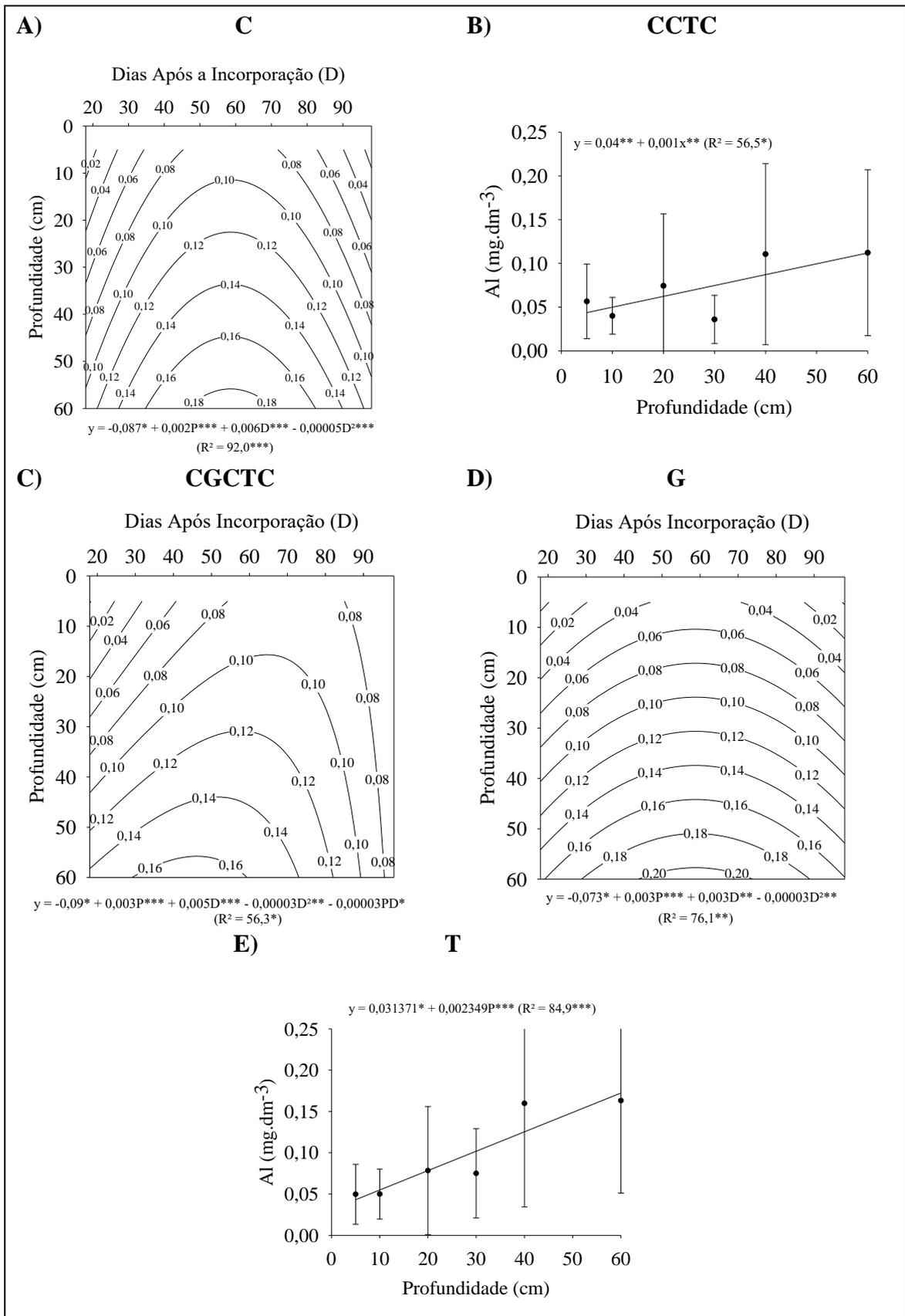


Figura 4 Teores de Al em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.

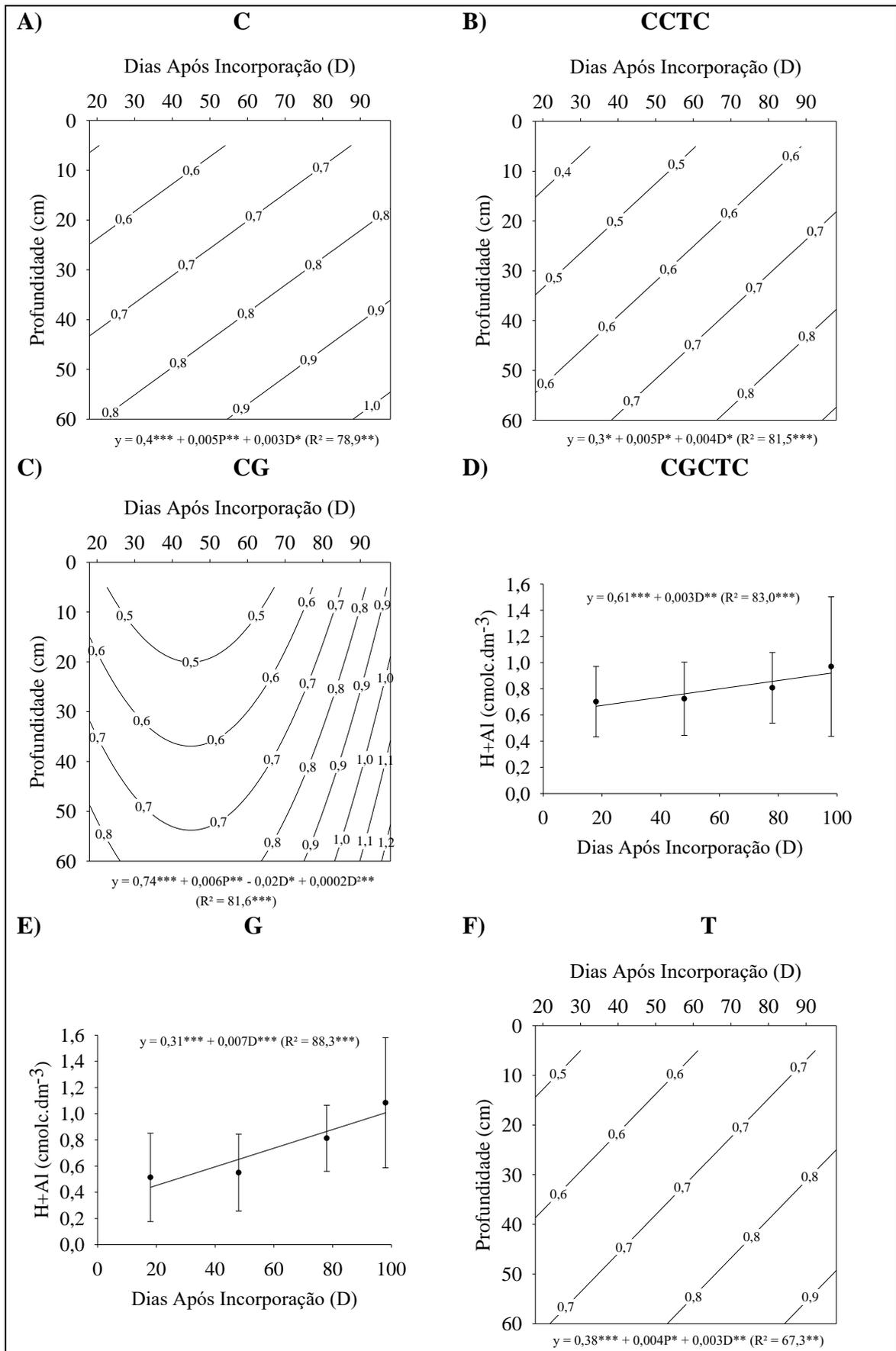


Figura 5 Teores de H + Al em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.

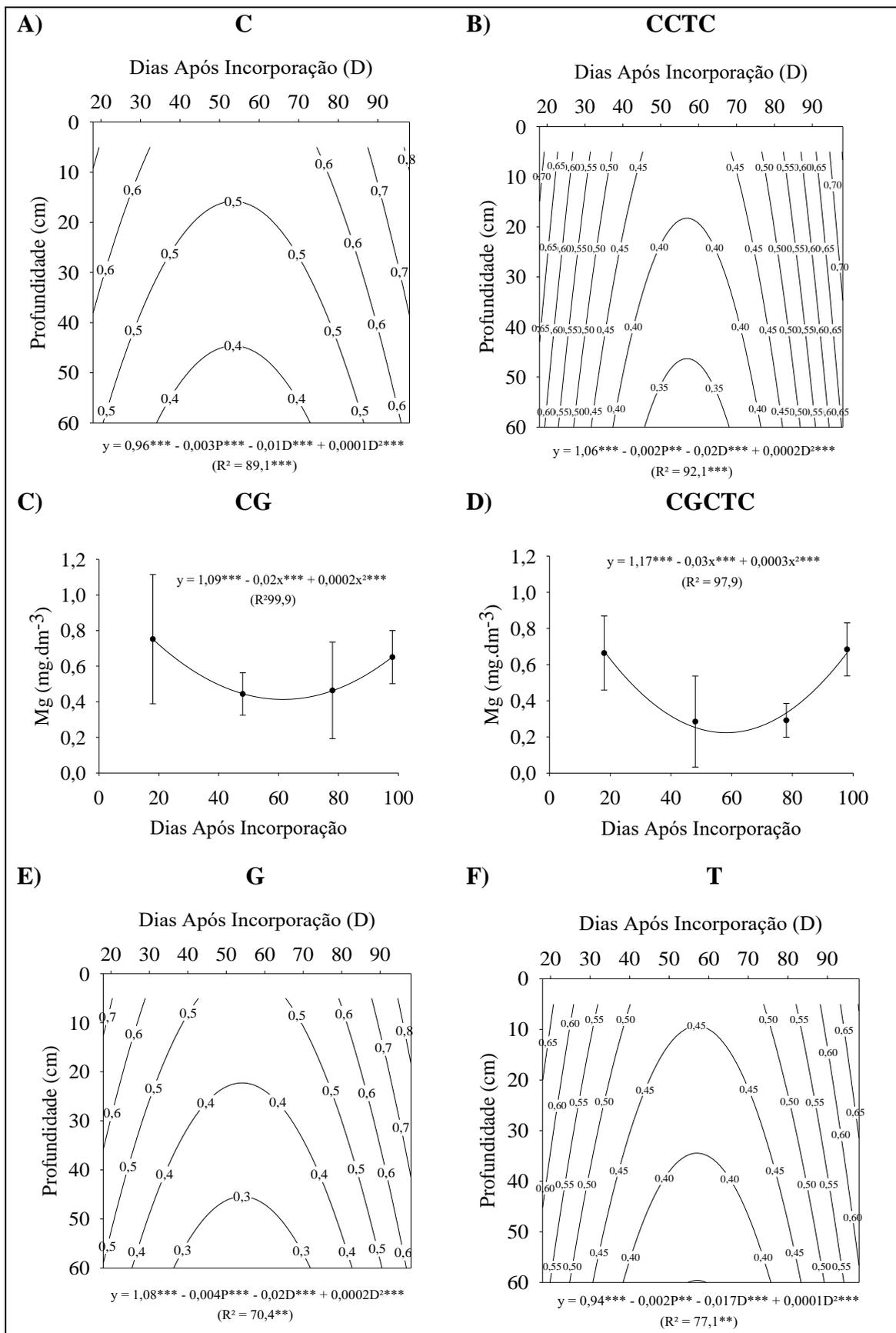


Figura 6 Teores de Mg em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.

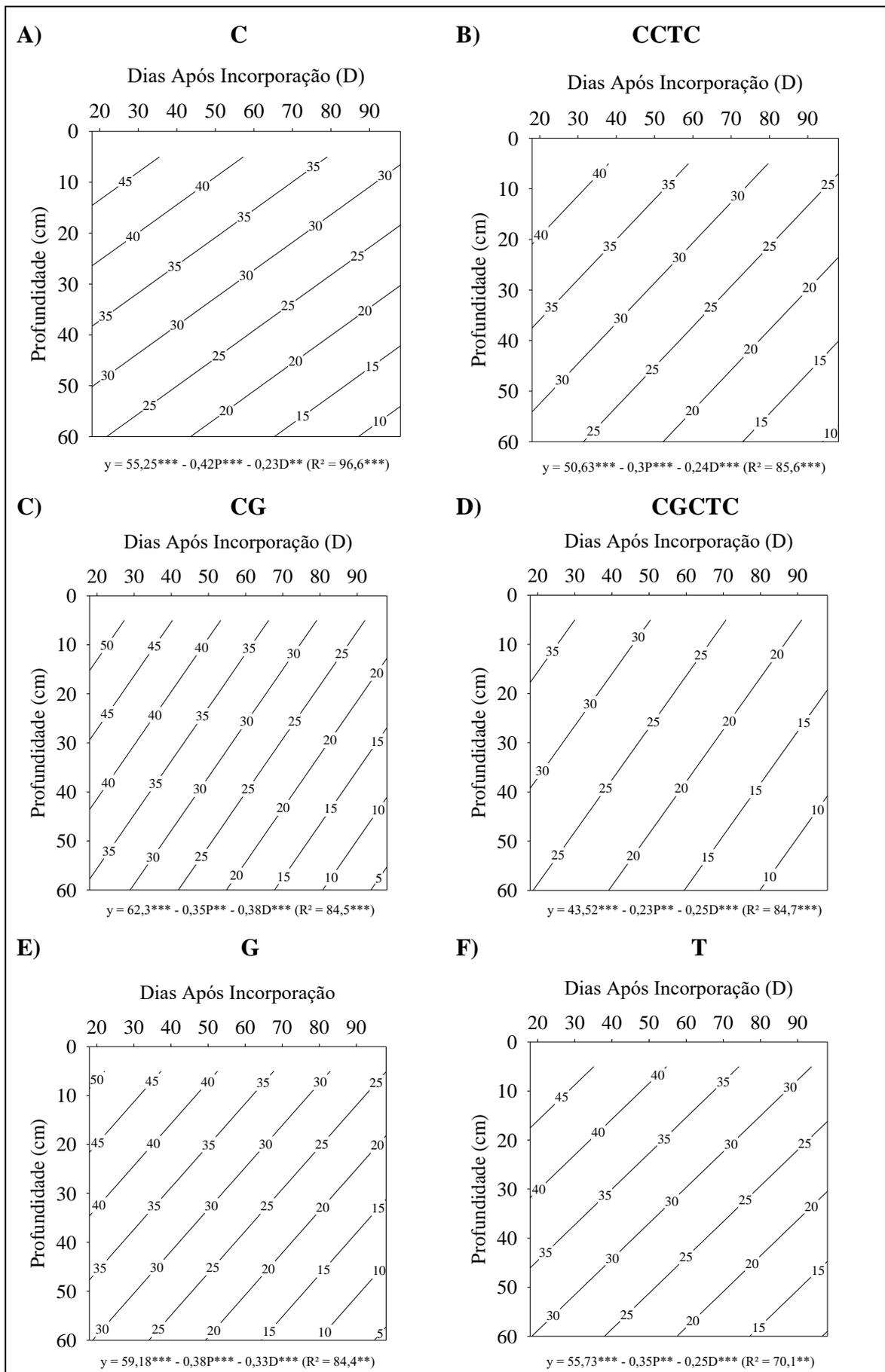


Figura 7 Teores de K em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.

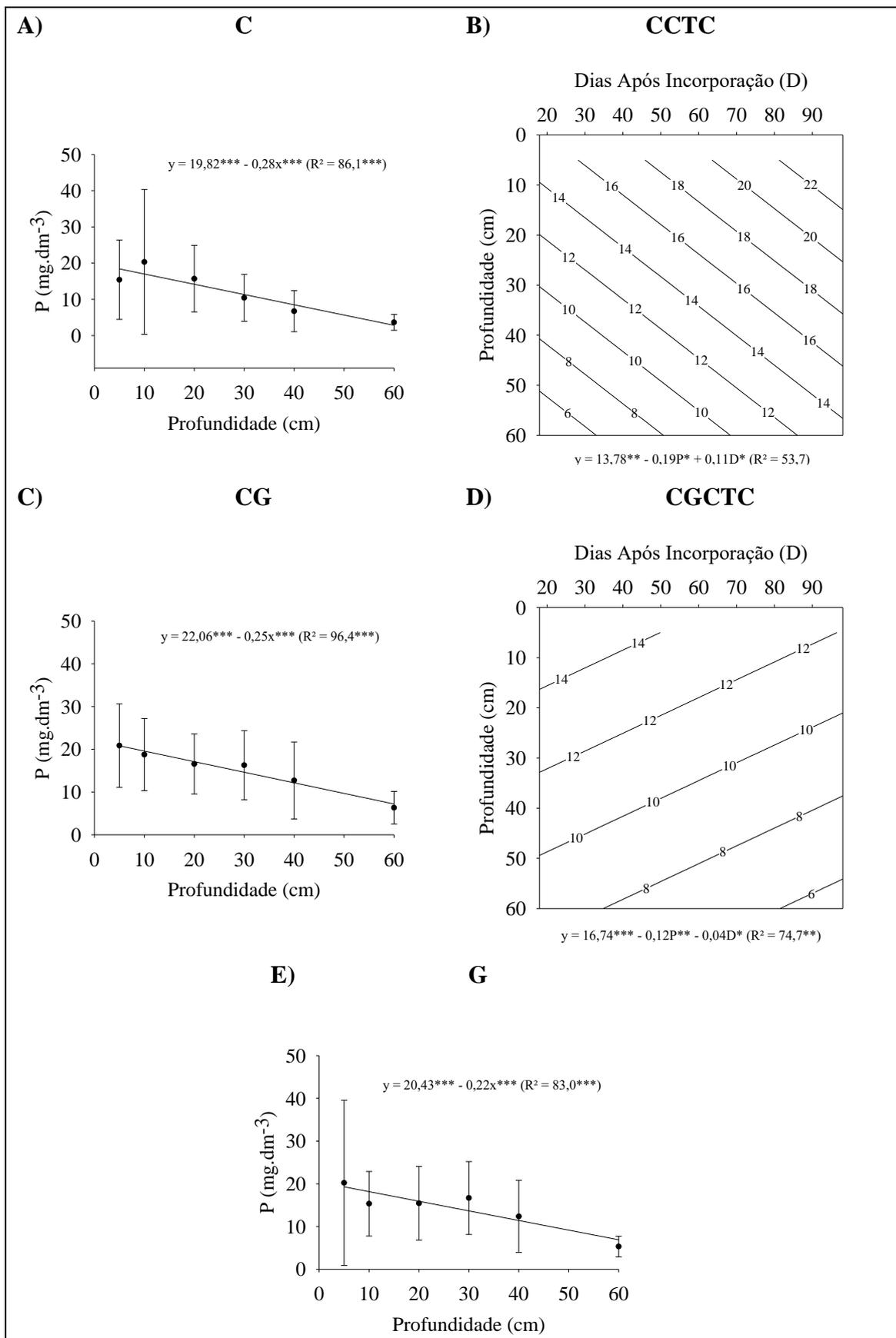


Figura 8 Teores de P em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.

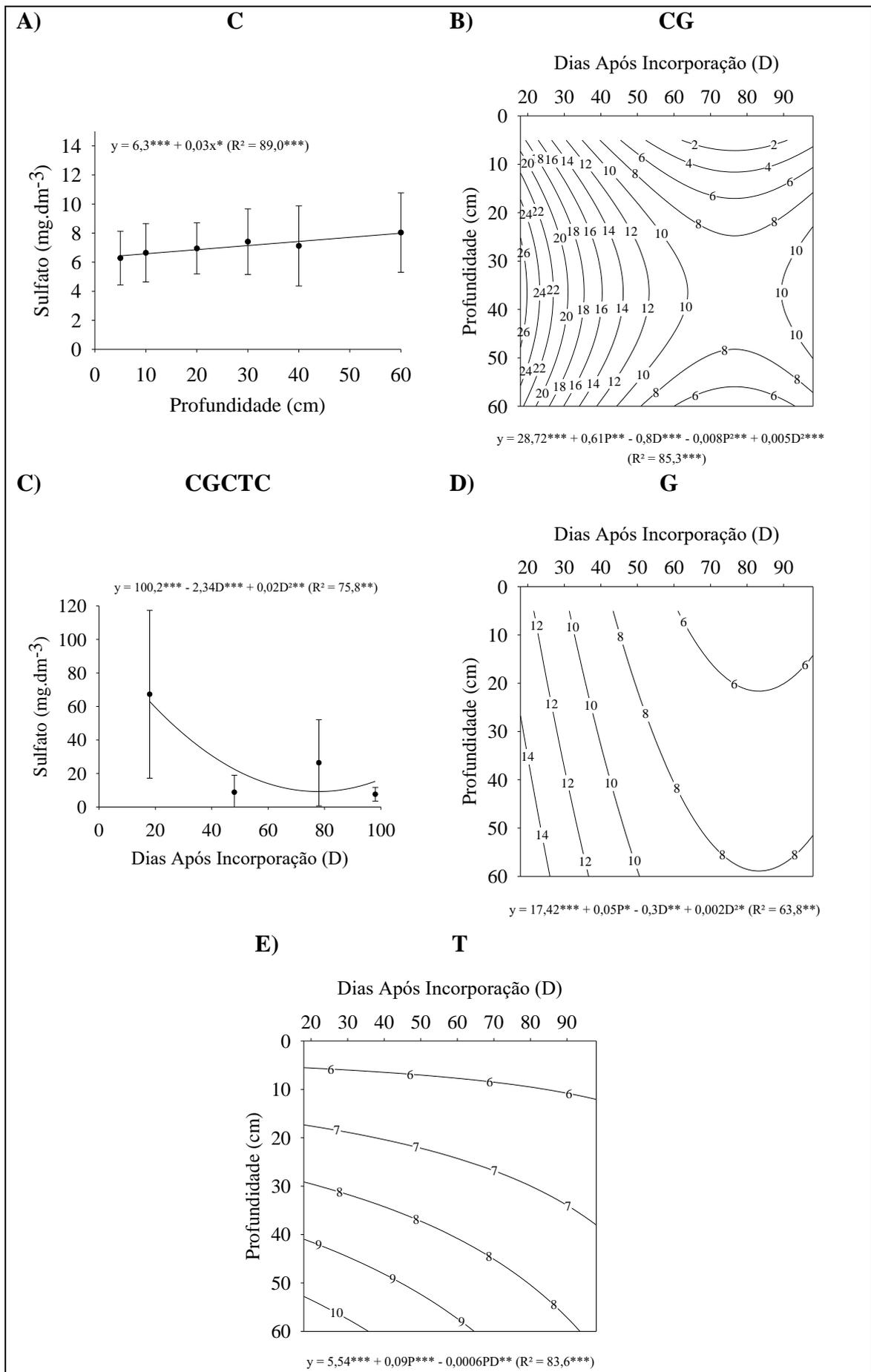


Figura 9 Teores de Sulfato em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.

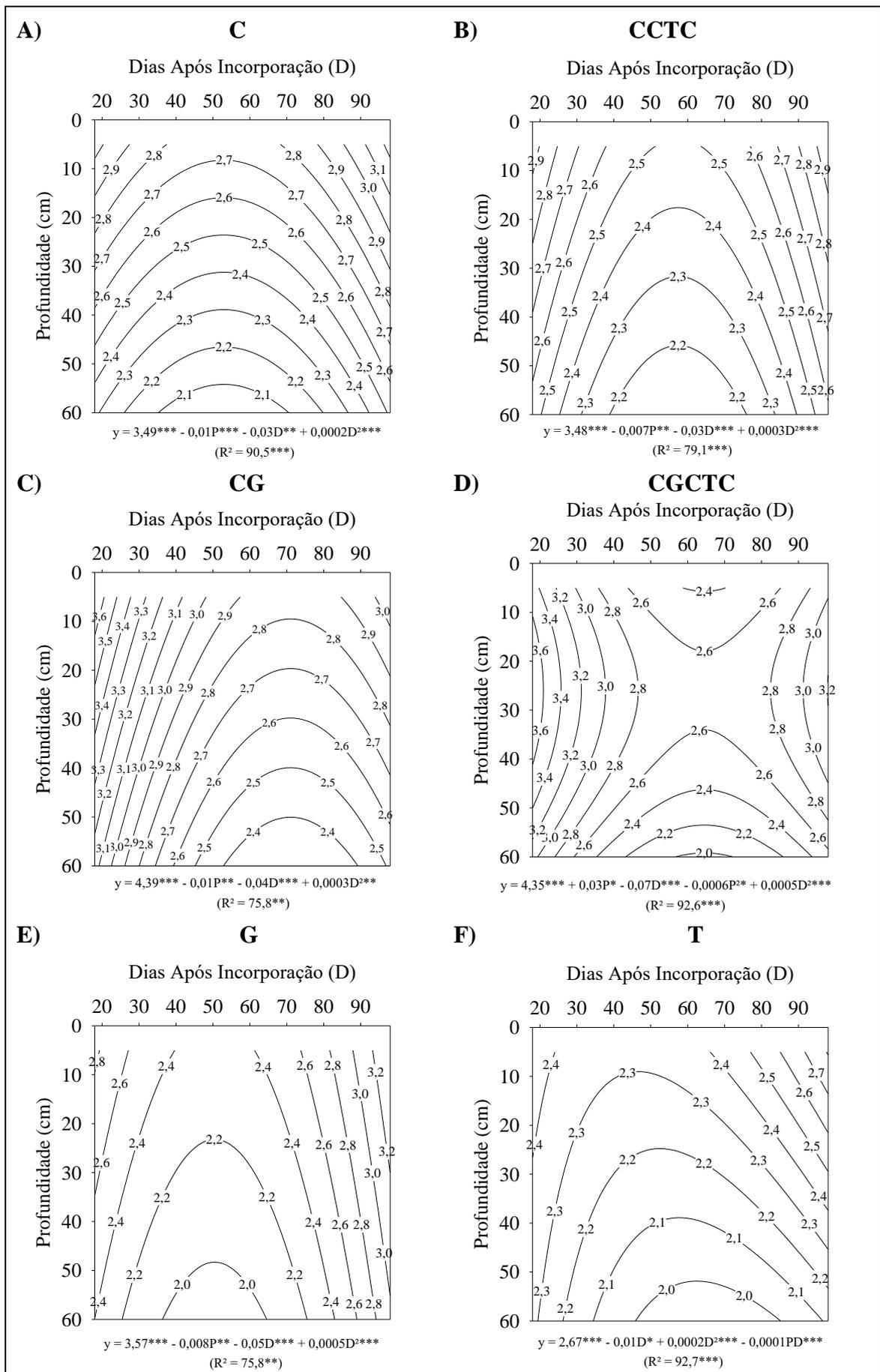


Figura 10 Valores da CTC potencial em função das profundidades no solo e épocas de amostragem em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.

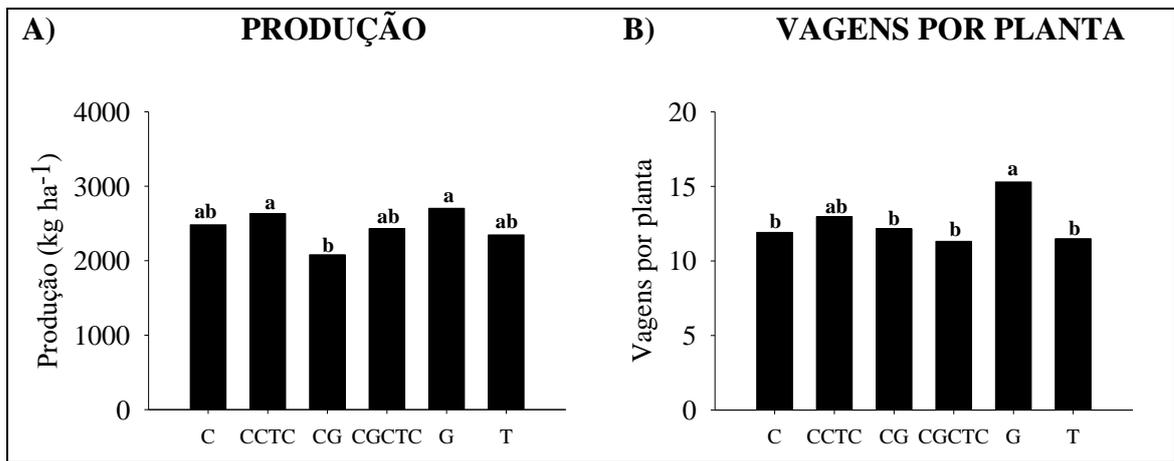


Figura 11 Produção e número de vagens por planta em diferentes métodos de estimativa da necessidade de correção do solo. Rio Verde, 2016.