

Distribuição das formas de potássio no solo em decorrência da aplicação de calcário

Potassium forms distribution in soil as a result of lime application

Jéssica Fernandes Kaseker^{1*} (ORCID 0000-0001-5487-7439), Paulo Roberto Ernani² (ORCID 0000-0003-0658-1240), Jaime Antonio de Almeida² (ORCID 0000-0001-5808-9421), Jaqueline Muniz Gerber³ (ORCID 0000-0002-9011-3636), Eliete de Fátima Ferreira da Rosa⁴ (ORCID 0000-0001-9131-8118)

¹Faculdade Educacional de Medianeira - UDC, Medianeira, PR, Brasil. *Autor para correspondência: jessikaseker@hotmail.com

²Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, SC, Brasil.

³Pesquisadora autônoma, Lages, SC, Brasil.

⁴Instituto Federal Catarinense, Santa Rosa do Sul, SC, Brasil.

Submissão: 12/03/2021 | Aceite: 29/10/2021

RESUMO

O potássio existe no solo em diferentes formas e todas se encontram em equilíbrio químico dinâmico com o K da solução do solo, o qual determina a disponibilidade para as plantas e é influenciado pelo pH. O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da elevação do pH e da aplicação de K na distribuição desse nutriente em suas diversas formas, em algumas classes de solos. O experimento foi conduzido em laboratório, utilizando-se cinco solos catarinenses. Os tratamentos consistiram de uma combinação fatorial entre doses de calcário (0, 0,25, 0,5, 1,0 e 1,5 vezes a quantidade de calcário indicada para elevar o pH até 6,0) e aplicação ou não de 1000 mg kg⁻¹ de K. A adição de K juntamente com calcário proporcionou aumentos no pH dos solos um pouco mais baixos em comparação com a aplicação somente do corretivo da acidez. O K na solução do solo foi a forma mais afetada pela adição de calcário, cujos teores diminuíram em todos os solos, independentemente da adição ou não de K. O aumento do pH também proporcionou diminuição do K extraível em quatro dos cinco solos, à exceção do Argissolo. Os teores de K não trocável foram os menos afetados pela calagem. A elevação do pH afeta a distribuição relativa do K entre as principais formas em que esse nutriente se encontra no solo e isso pode afetar sua disponibilidade às plantas.

PALAVRAS-CHAVE: calagem; solução do solo; disponibilidade de K.

ABSTRACT

All forms of potassium in the soil are in a dynamic equilibrium with K in the soil solution, which affects K availability to the plants and it is affected by the soil pH. The objective of this study was to evaluate the effect of the soil pH and K application on the distribution of soil K forms in five Brazilian soils. The experiment was conducted in laboratory, using five soils. Treatments consisted of a factorial combination including rates of limestone (0, 0.25, 0.5, 1.0 and 1.5 times the amount of lime indicated by the SMP method to raise soil pH to 6.0) and two rates of K (0 and 1000 mg kg⁻¹). Addition of KCl, together with limestone, promoted lower values of soil pH relatively to limestone alone. Solution K was the most sensitive K form affected by liming rates, which decreased in all soils with increases on K rate, regardless of K addition. Exchangeable K also decreased in all soils with the increase on lime applied, except on the Argisol. The non-exchangeable K levels were the least affected by liming. Addition of lime affects the distribution of K among all K forms and this may affect the availability of K to the plants.

KEYWORDS: liming; soil solution; K availability.

INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um nutriente requerido em grandes quantidades pelas culturas, porém as formas prontamente disponíveis em equilíbrio com o K da solução variam com o tipo de solo em função da variação de alguns parâmetros químicos. Na fase sólida do solo o K normalmente ocorre em três formas: fazendo parte da estrutura de minerais primários (K estrutural), fixado nas entrecamadas dos argilominerais do tipo 2:1 (K não trocável), ou adsorvido eletrostaticamente às cargas elétricas negativas (K trocável). A forma

trocável é a que normalmente controla a disponibilidade de K às plantas (BORTOLON et al. 2010). Entretanto, todas elas se encontram em equilíbrio químico dinâmico com o K da solução do solo, porém com diferentes velocidades de reestabelecimento do equilíbrio, determinadas pelos valores das respectivas constantes de equilíbrio (SPARKS & CARSKI 1985, KAMINSKI et al. 2007, MELO et al. 2009, MOUHAMAD et al. 2016).

A reserva de K no solo está diretamente ligada ao material de origem do solo, à sua composição mineralógica e ao grau de intemperismo a que foi submetido ao longo do tempo. A presença de minerais que possuem K em suas estruturas, a exemplo de micas e feldspatos, resulta em maiores reservas de K e liberação de fontes não trocáveis em relação a solos que não possuem esses minerais. Solos mais jovens, com predomínio de argilominerais do tipo 2:1, também possuem boas reservas de K pela sua presença nas cargas negativas das entrecamadas (MELO et al. 2005, MEDEIROS et al. 2014, CHAVES et al. 2015). O aumento da concentração de K em solos cultivados, especialmente na rizosfera das plantas, pode favorecer a fixação em alguns minerais, como a vermiculita (CALVARUSO et al. 2014).

A liberação de K das formas não trocáveis e estruturais, assim como o equilíbrio de K no solo, é influenciada por vários fatores. Dentre eles, estão os relativos ao próprio mineral (composição química, tamanho de partícula, imperfeições estruturais, e grau de depleção de K, alterações nas cargas das entrecamadas) e ao meio (atividade biológica, ciclos de umedecimento e secagem, atividade de K na solução, composição da solução, lixiviação, potencial redox e temperatura) (MOUHAMAD et al. 2016, PORTELA et al. 2019). A presença de outros cátions no solo e o pH também estão entre esses fatores. Dessa forma, práticas de manejo, como a calagem, pode interferir diretamente na disponibilidade do nutriente e na dinâmica entre as formas de K no solo (DAS & SAHA 2013), considerando que as variações no pH podem aumentar a adsorção de cátions no solo e afetar a dissolução de minerais.

Além disso, o aumento das cargas negativas decorrentes do aumento do pH aumenta a CTC efetiva do solo e isso favorece a ligação do K trocável à fase sólida do solo e reduz as perdas por lixiviação. Aliado a isso, a calagem e o bom suprimento de K às raízes das plantas pode aumentar a produtividade, por promover maior desenvolvimento do sistema radicular o que possibilita maior absorção de água e nutrientes, maior volume de copa, eficiência no uso da água pelas plantas e atividade fotossintética (FARIA et al. 2002).

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do pH e da adição de KCl na distribuição das formas de K no solo (não trocável, extraível e na solução) em cinco solos catarinenses.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em laboratório, em Lages, SC, em 2015. Foram utilizadas amostras da camada superficial (0 - 30 cm) de quatro classes de solo, totalizando cinco amostras: Latossolo Bruno (LB), Nitossolo Vermelho (NV), Argissolo Amarelo (PA) e dois Cambissolos Húmicos (CH), sendo um deles proveniente de uma área de plantio de pinus de quarta rotação (CHp) e outro de uma área de campo nativo (CHn). As amostras desses solos foram passadas em peneiras com malhas de abertura de 2 mm e posteriormente foram secas para obtenção da fração terra fina seca ao ar. A caracterização inicial dos solos, antes da instalação do experimento (Tabela 1), foi realizada segundo os procedimentos descritos por TEDESCO et al. (1995), à exceção dos teores não trocáveis de K que foram determinados segundo KNUDSEN et al. (1986).

Na caracterização, foram realizadas ainda análise de textura e mineralogia. A análise mineralógica foi realizada após o fracionamento físico e químico. A areia foi separada por peneiramento, e o silte e a argila por sedimentação, com base na lei de Stokes (GEE & BAUDER 1986). A identificação dos minerais potencialmente fornecedores de K (micas e argilominerais 2:1) foi feita por difratometria de raios X (DRX), nas frações areia, silte e argila, por meio da utilização de um difratômetro de raios-X Philips, modelo PW 3710. O equipamento é dotado de tubo de cobre, com ângulo de compensação $\theta/2\theta$ e monocromador de grafite, utilizando-se variação angular de 3,2 a 42° 2 θ . A velocidade angular foi de 0,02° 2 θ /s, com tempo de 1 segundo de leitura por passo. Foram ainda realizados tratamentos adicionais para diferenciar os minerais secundários do tipo 2:1 da fração argila (WHITTIG & ALLARDICE 1986): saturação por Mg, saturação por Mg seguida por solvatação com etilenoglicol, saturação por K seguida por secagem ao ar (25 °C) e saturação por K seguida por secagem a 100 °C, 350 °C e 550 °C, respectivamente.

O experimento consistiu em um fatorial envolvendo doses de calcário e de potássio, com três repetições. As doses de calcário corresponderam a 0; 0,25; 0,5; 1,0 e 1,5 vezes a quantidade indicada pelo método SMP para elevar o pH até 6,0; as doses de K corresponderam a 0 e 1000 mg kg⁻¹. Como a concentração de K na solução do solo é geralmente baixa, utilizou-se uma alta dose de K aplicada para

possibilitar maior visualização dos efeitos da variação do pH nesta fração do K do solo. Para elevar o pH, utilizou-se calcário dolomítico, com poder relativo de neutralização total (PRNT) de 88%; o K foi aplicado via líquida, na forma de uma solução de cloreto de potássio. As quantidades de calcário utilizadas para cada tratamento, em cada solo, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1. Caracterização química e física dos solos antes da implantação do experimento.

Table 1. Chemical and physical soil characterization before the experiment implementation.

Classe de Solo*	Areia	Silte	Argila	pH	Al ³⁺	H+Al	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	-----g kg ⁻¹ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----				
NV	40	221	740	4,2	5,2	8,6	2,1	1,0
LB	46	247	707	4,6	6,2	10,3	3,6	1,3
CHn	236	334	430	4,3	10,2	16,8	1,2	0,5
PA	457	287	256	4,3	2,9	4,8	2,9	1,3
CHp	171	352	478	4,3	13,4	22,2	0,8	0,2
	Ke	Knt	P	C	SB	T	V	
	-----mg kg ⁻¹ -----			-----g kg ⁻¹ -----	-----cmol _c dm ⁻³ -----		%	
NV	98,0	217	5,7	25,9	3,3	11,9	27,7	
LB	80,0	198	8,4	27,5	5,1	15,3	32,7	
CHn	76,0	366	10,3	37,7	1,8	18,6	9,7	
PA	63,0	162	7,8	21,1	4,4	9,1	47,2	
CHp	126,0	789	11,4	27,9	1,3	23,2	5,6	

*NV: Nitossolo; LB: Latossolo; CHn: Cambissolo sob campo nativo; PA: Argissolo; CHp: Cambissolo anteriormente cultivado com pinus; Ke: potássio extraível; Knt: potássio não trocável; P: Fósforo (Mehlich-1); C: carbono orgânico; SB: soma de bases; T: capacidade de troca de cátions; V: saturação de bases.

Tabela 2. Dose equivalente de calcário* aplicada em cada tratamento para cada um dos solos.

Table 2. Equivalent lime dose applied in each treatment for each soil.

Classe de Solo**	Dose equivalente (Mg ha ⁻¹)			
	0,25	0,50	1,00	1,50
NV	4,5	9,0	18,0	27,0
LB	5,5	11,0	22,0	33,0
CHn	6,0	12,0	24,0	36,0
PA	2,1	4,2	8,4	12,6
CHp	6,0	12,0	24,0	36,0

*Dose calculada considerando o Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 100%, para a camada de solo de 0-20 cm de profundidade, ou seja, considerando que um hectare tenha 2 x 10⁶ kg de solo. **NV: Nitossolo; LB: Latossolo; CHn: Cambissolo sob campo nativo; PA: Argissolo; CHp: Cambissolo anteriormente cultivado com pinus.

Cada unidade experimental foi composta por 1,0 kg de solo (base seca). Após a aplicação do calcário, as amostras de solo foram armazenadas em sacos plásticos, permanecendo incubadas por 30 dias, sendo constantemente umedecidas para manter o solo no teor de água de aproximadamente 80% daquele retido na capacidade de campo. Após este período, foi aplicada a solução de KCl nos tratamentos com K, com homogeneização manual do solo, seguindo-se um novo período de incubação de mais 30 dias. As amostras dos tratamentos sem K receberam água no mesmo volume líquido aplicado pela solução de KCl. Decorrido este tempo de reação, foram determinados o pH, os teores de K não trocável (Knt), extraível (Ke) e na solução dos solos (Ks).

O K extraído com solução de Mehlich-1 (TEDESCO et al. 1995) foi denominado de K extraível, e o K extraído com solução fervente de HNO₃ 1,0 mol L⁻¹ (KNUDSEN et al. 1986), subtraído o teor do K extraível, foi denominado de K não trocável. O K na solução foi determinado após adição de água deionizada e homogeneização das amostras na proporção solo:água de 1:1, com posterior filtragem em recipiente de vácuo após período de contato de 12 horas (ERNANI & BARBER 1993). A determinação dos teores de todas as formas de K foi realizada por meio de fotometria de emissão. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando houve significância estatística, foram submetidos à análise de regressão (p<0,05).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises mineralógicas

Os difratogramas das frações areia e silte apresentaram picos intensos de quartzo e quantidades mínimas de outros minerais nas amostras de todos os solos. Sendo assim, apenas a composição da fração argila será abordada.

Exceto no Cambissolo cultivado anteriormente com pinus, a caulinita foi o mineral predominante em todos os solos (Figura 1). Esse mineral apresentou um pico largo e assimétrico em todos os solos, possivelmente devido à contribuição de minerais interestratificados do tipo caulinita-2:1 (MELO et al. 2004), cujos picos de menor ordem ocorrem muito próximo daqueles da caulinita. Todos os solos também apresentaram argilominerais 2:1 expansíveis, do tipo esmectita ou vermiculita, porém a diferenciação deles não foi possível com os tratamentos utilizados, semelhante aos resultados obtidos por TESKE et al. (2013), ao avaliarem a mineralogia de solos do Planalto Sul Catarinense. Em três solos (Nitossolo Bruno (A), Latossolo Bruno (B) e Cambissolo Húmico sob vegetação natural, C), os tratamentos com K e aquecimento não mostraram colapso completo das camadas à posição de 1,0 nm, indicando a presença de polímeros de Al nas entrecamadas (CUNHA et al. 2014). Gibbsita, goethita e quartzo também foram identificados, porém em pequenas quantidades, exceto nos Cambissolos, onde o quartzo foi mais expressivo. O Argissolo e o Cambissolo anteriormente cultivado com pinus apresentaram argilominerais 2:1 não expansíveis, provavelmente do tipo mica ou illita (CUNHA et al. 2014).

Com base na composição mineralógica, pressupõe-se que o Cambissolo anteriormente cultivado com pinus e o Argissolo são os que possuem a maior possibilidade de fornecer K oriundo da reserva mineral às plantas, uma vez que eles possuem argilominerais do tipo 2:1, expansíveis e não expansíveis, que podem possuir, respectivamente, K fixado nas entrecamadas ou na forma estrutural. A cinética de liberação de K da caulinita e da esmectita é geralmente rápida, enquanto a da vermiculita e da mica é mais lenta (SPARKS & CARSKI 1985). Assim, em função da composição mineralógica, esses solos seriam capazes de fornecer K tanto a curto quanto a médio e longo prazo, o que representa uma fonte potencial para as plantas.

LUNARDI NETO & ALMEIDA (2013) avaliaram a composição de três perfis de Argissolos catarinenses e descrevem que esses solos teriam uma reserva mineral pouco expressiva ao longo do perfil, por serem altamente intemperizados, divergindo da suposição do presente estudo. Entretanto, outro estudo em um Argissolo cultivado no Rio Grande do Sul concluiu que, apesar do grau de intemperismo, existia grande reserva de K estrutural, com efeito significativo na disponibilidade para as plantas (MOTERLE et al. 2016), demonstrando a variabilidade entre solos de mesma classe de acordo com a região, material de origem e cultivo. É importante ainda considerar que em solos intemperizados e com alto teor de argila, como os Latossolos, as pequenas quantidades de minerais 2:1 encontradas nessa fração podem controlar a disponibilidade de K, garantindo o poder tampão (MOTERLE et al. 2019).

Ao comparar quatro classes de solos do Estado do Ceará (Neossolo, Cambissolo, Argissolo e Latossolo), DINIZ et al. (2007) encontraram maiores teores de K no Cambissolo em relação aos demais; os menores teores ocorreram no Latossolo, em função do alto grau de intemperismo e da maior quantidade de caulinita deste solo; e o Argissolo apresentou altos valores de K total, predominando na fração areia (84,3%). Resultados semelhantes foram encontrados por MEDEIROS et al. (2014) em solos do Estado da Paraíba, onde os menos desenvolvidos foram os que apresentaram as maiores reservas de K, tanto trocável quanto não trocável, pela maior quantidade de mica e minerais 2:1 presentes nessas condições.

Em estudo realizado em solos de várzea do Rio Grande do Sul, FRAGA et al. (2009) observaram que com o passar do tempo as formas não trocáveis condicionaram o suprimento de K para o arroz irrigado, sendo a maior contribuição no Neossolo, devido a presença de plagioclásios e feldspatos de K na fração silte, e esmectita e argilominerais 2:1 na fração argila, em relação ao Gleissolo e ao Planossolo, onde não foram identificados esses minerais.

pH

O pH aumentou linearmente com o aumento das doses de calcário aplicadas, em todos os solos (Figura 2). A adição de 1000 mg kg⁻¹ de K na forma de KCl ocasionou pequeno decréscimo nos valores de pH em relação aos tratamentos sem a adição de K (Figura 2). Isso ocorre em função de várias razões: do efeito indireto do K sobre a atividade dos íons H⁺, pela troca iônica entre o K e o Al trocável em valores baixos de pH, quando existe Al³⁺ no solo, e pelo aumento da concentração eletrolítica do solo, que resulta em queda no pH em solos com predomínio de cargas variáveis e existência de carga elétrica líquida negativa (ALMEIDA & ERNANI 1996).

Na ausência da aplicação de KCl, a dose integral de calcário indicada pelo método SMP (1,0 SMP) para elevar o pH para 6,0 promoveu incremento de aproximadamente 2,0 unidades de pH em quatro dos

cinco solos (Figura 2). Como o incremento no pH foi linear, mostra que a adição de meia dose de calcário necessária para elevar o pH até 6,0 (0,5 SMP) irá aumentar o pH desses solos, diretamente, em 1,0 unidade.

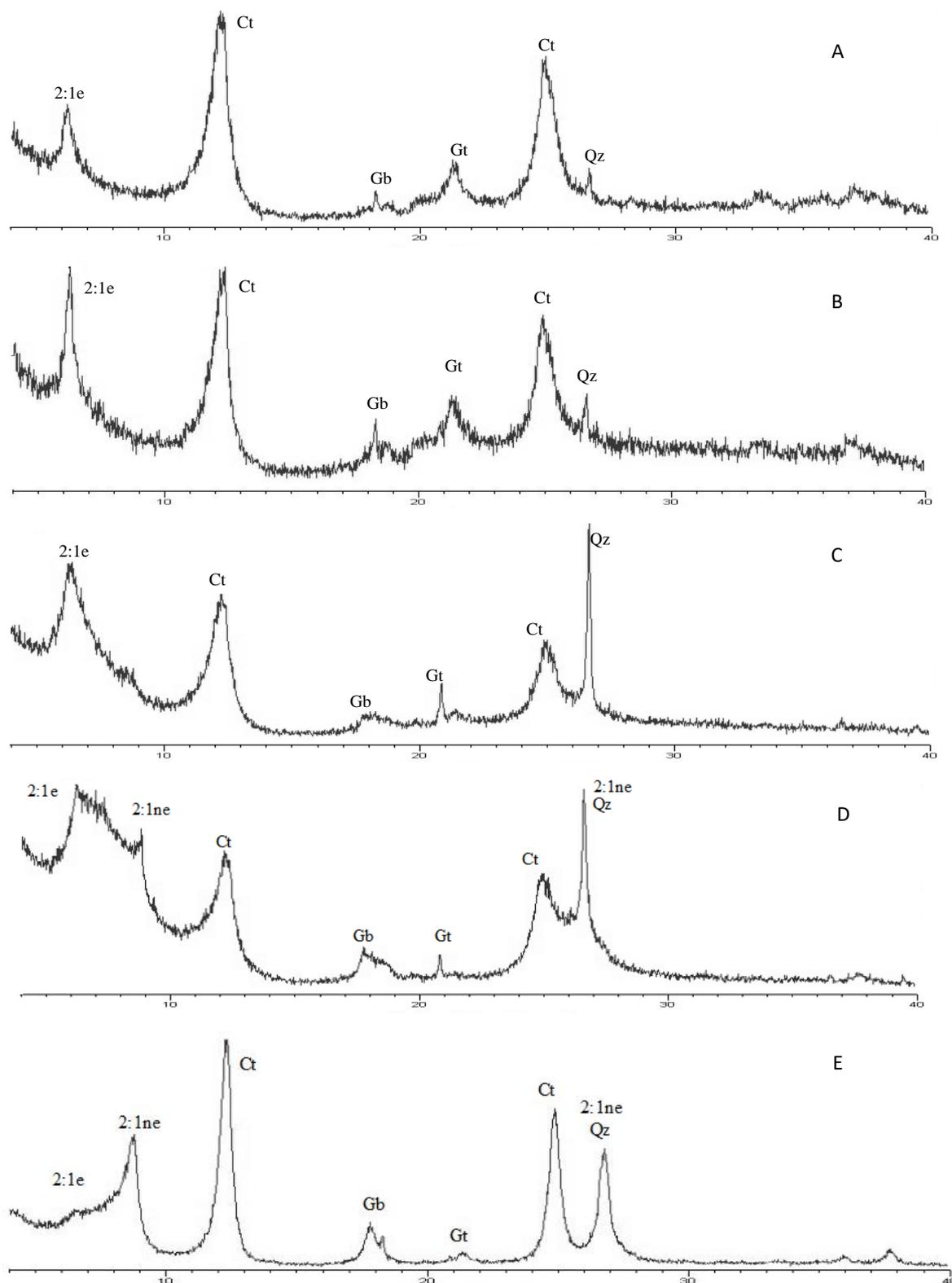


Figura 1. Difratoformas de raios-X de amostras representativas da fração argila dos solos Nitossolo (A), Latossolo (B), Cambissolo sob campo nativo (C), Cambissolo anteriormente cultivado com pinus (D) e Argissolo (E), após saturação por K seguida por secagem ao ar (25 °C), apresentando os seguintes minerais: Ct - caulinita, 2:1e - argilomineral de camada 2:1 expansivo, 2:1ne - argilomineral de camada 2:1 não expansivo, Gb - gibbsita, Gt - goethita e Qz - quartzo.

Figure 1. X-ray diffractograms of representative samples of the clay fraction of the Nitossolo (A), Latossolo (B), Cambissolo under native field (C), Cambissolo previously cultivated with pine (D) and Argissolo (E), after saturation by K followed by air drying (25 °C), presenting the following minerals: Ct - kaolinite, 2:1e - 2:1 expansive phyllosilicate, 2:1ne - 2:1 non-expansive phyllosilicate, Gb - gibbsite, Gt - goethite and Qz - quartz.

(E), after saturation by K followed by air drying (25 °C), presenting the following minerals: Ct - kaolinite, 2:1e - 2:1 expansive clay, 2:1ne - non-expansive 2:1 clay, Gb - gibbsite, Gt - goethite and Qz - quartz.

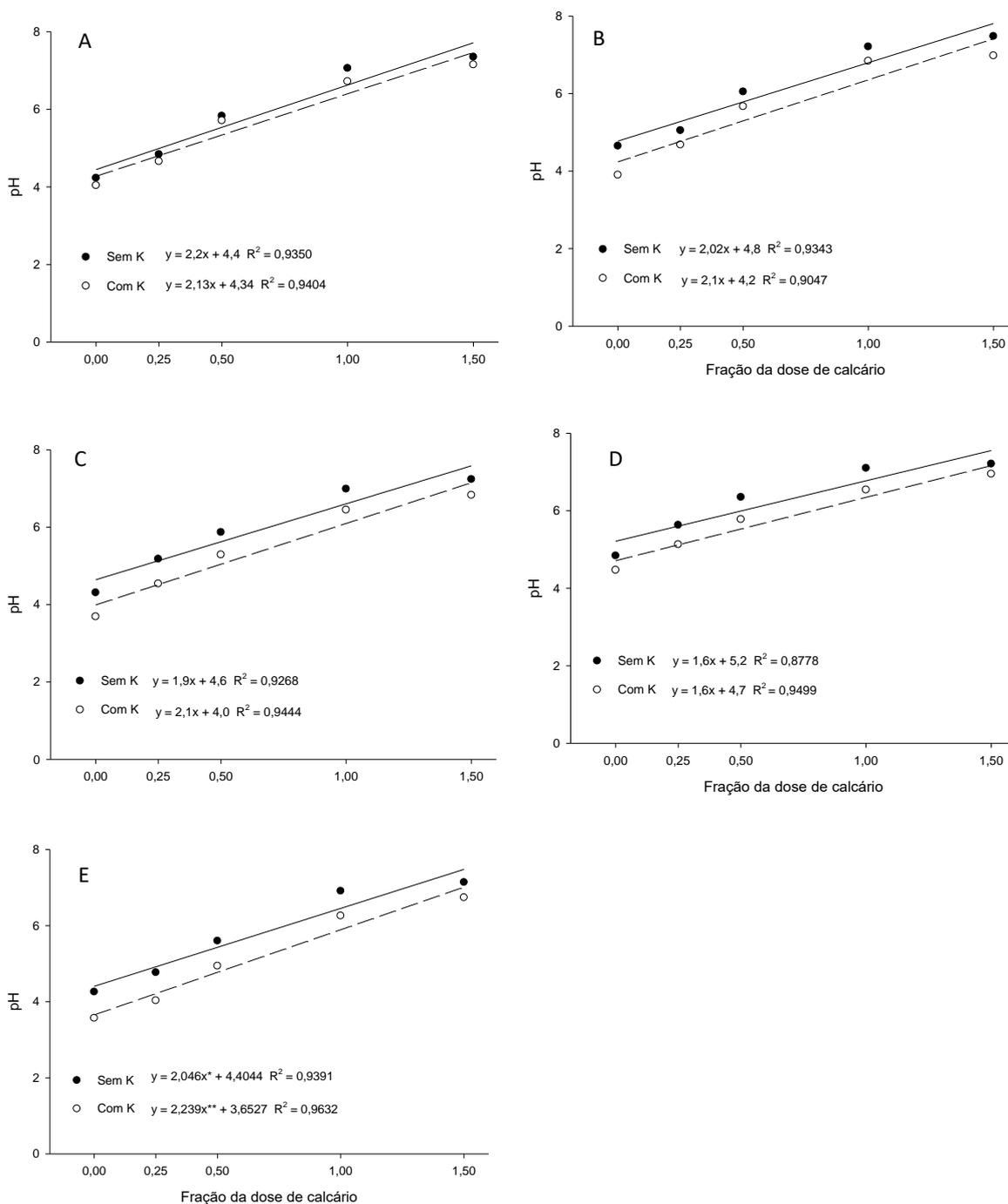


Figura 2. Valores de pH nos cinco solos (Nitossolo, A; Latossolo, B; Cambissolo sob campo nativo, C; Cambissolo anteriormente cultivado com pinus, D; e Argissolo, E) em função da adição de doses de calcário, na presença (com K) ou não (sem K) de 1000 mg kg⁻¹ de K na forma de KCl.

Figure 2. pH values in the five soils (Nitossolo, A; Latossolo, B; Cambissolo under native field, C; Cambissolo previously cultivated with pine, D; and Argissolo, E) due to the addition of limestone doses, in the presence (with K) or not (without K) of 1000 mg kg⁻¹ of K in the form of KCl.

Teores de potássio

O K da solução do solo (Ks) foi a forma de K mais expressivamente influenciada pela adição de calcário, cuja diminuição foi significativa em todos os solos, principalmente nos tratamentos que receberam KCl (Figura 3). No Nitossolo, os teores de Ks diminuíram com o aumento da dose de calcário aplicada, independentemente da aplicação ou não de K (Figura 3A). Na ausência da adição de K, a magnitude da redução proporcionada pela adição de calcário foi de 85%, enquanto onde foi aplicado K, foi de apenas

24%. Esta maior redução sem a adição de K é relativa, por um efeito de escala, pois como os valores sem a adição de K são menores relativamente ao tratamento que recebeu K, pequenas mudanças resultam em maior porcentagem de variação do que quando considerados altos valores.

Apesar das diferenças na composição mineralógica, o Latossolo e os dois Cambissolos apresentaram comportamento semelhante na variação dos teores de K na solução em função da adição de calcário (Figura 3B, C e D). Nos tratamentos com adição de K, houve redução do Ks com o aumento das doses de calcário em aproximadamente 45%, nos três solos. Sem adição de K, a redução proporcionada pela calagem foi menor no Latossolo e no Cambissolo, 33 e 39%, respectivamente, e maior no Cambissolo anteriormente cultivado com pinus, que apresentou redução de aproximadamente 60%.

O Argissolo apresentou diminuição no Ks (Figura 3E) pela aplicação de calcário de aproximadamente 20%, da menor para a maior dose, na ausência da adição de K; com a adição de K, os valores variaram entre as doses de calcário, porém sem uma tendência clara de aumento ou diminuição. Sendo este o solo que apresenta a menor CTC entre os avaliados (Tabela 1), é esperado que ocorra menor movimentação de íons K^+ para o complexo de troca e os teores na solução tenham menor variação, especialmente e considerando que na calagem ocorre a aplicação de Ca e Mg, que competem pelos sítios de adsorção.

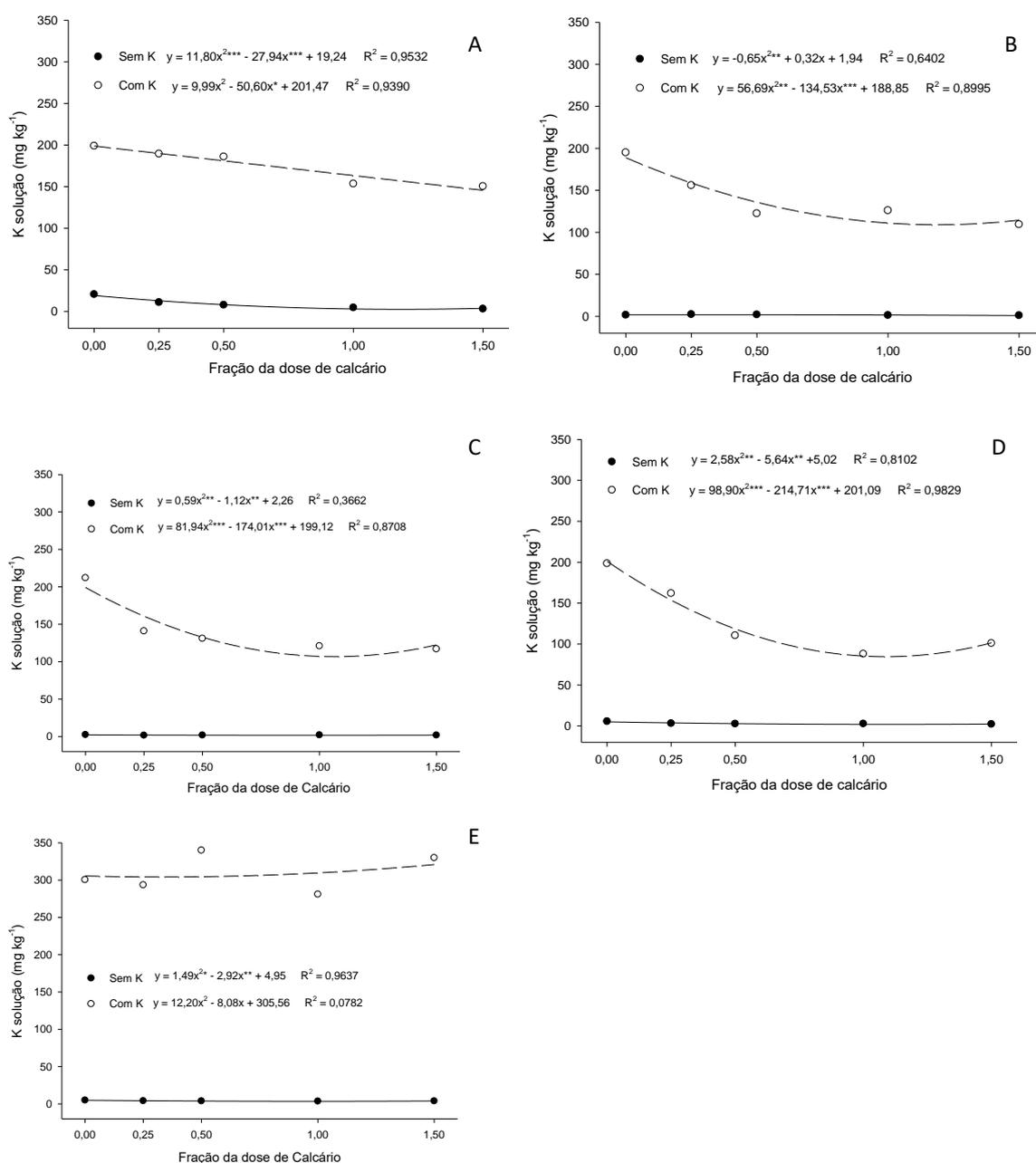


Figura 3. Teor de K na solução dos cinco solos (Nitossolo, A; Latossolo, B; Cambissolo sob campo nativo, C; Cambissolo anteriormente cultivado com pinus, D; e Argissolo, E) em função da adição de doses de calcário, na presença (com K) ou não (sem K) de 1000 mg kg^{-1} de K na forma de KCl.

Figure 3. K solution content in the five soils (Nitossolo, A; Latossolo, B; Cambissolo under native field, C; Cambissolo previously cultivated with pine, D; and Argissolo, E) due to the addition of limestone doses, in the presence (with K) or not (without K) of 1000 mg kg⁻¹ of K in the form of KCl.

Considerando o predomínio de caulinita na maioria dos solos, e assim a presença predominante de cargas elétricas variáveis dependentes de pH, a diminuição dos teores de K na solução dos solos está relacionada com a maior adsorção eletrostática causada pelo aumento das cargas elétricas negativas livres, geradas pela precipitação do Al trocável e pela dissociação de H⁺ da superfície dos componentes sólidos inorgânicos e principalmente orgânicos (ERNANI et al. 2012, ERNANI 2016).

A redução do Ks maior nos tratamentos que não receberam KCl, como observado no Nitossolo, pode ser justificada pela menor disponibilidade inicial de K na solução, o que está diretamente relacionado às formas relativas de K dos diferentes solos analisados.

Avaliando os solos sem a aplicação de calcário, com a adubação potássica verifica-se que houve aumento do potássio em todas as formas relativas (Tabela 3), porém não na mesma proporção. Isso decorre devido ao fator Quantidade/Intensidade do solo, o qual irá determinar a velocidade e o equilíbrio das reações entre o K da fase sólida e o K da solução do solo. Esse fator está diretamente relacionado a mineralogia e poder tampão do solo, como pode ser observado no Argissolo, que se caracteriza pela presença de argila de baixa atividade e menor CTC em relação aos demais solos analisados, o que se refletiu em maior disponibilidade de Ks após adubação.

Tabela 3. Valores de potássio não trocável (Knt), potássio extraível (Ke) e potássio da solução (Ks) em mg kg⁻¹ antes e após a adição de cloreto de potássio (KCl) nos diferentes tipos de solo analisados.

Table 3. Values of non-exchangeable potassium (Knt), extractable potassium (Ke) and solution potassium (Ks) in mg kg⁻¹ before and after the addition of potassium chloride (KCl) in the different types of soil analyzed.

Solo*	KCl	Knt	Ke	Ks
mg kg ⁻¹				
NV	s/ K	210	212	20,6
NV	c/ K	1116	920	199,0
LB	s/ K	108	49,5	1,7
LB	c/ K	1122	880	195,0
CHn	s/ K	166	50	2,5
CHn	c/ K	1342	835	212,0
PA	s/ K	80	44,5	5,1
PA	c/ K	1086	855	300,5
CHp	s/ K	560	74,5	5,6
CHp	c/ K	1594	760	198,5

*NV: Nitossolo; LB: Latossolo; CHn: Cambissolo sob campo nativo; PA: Argissolo; CHp: Cambissolo anteriormente cultivado com pinus.

Os teores de K extraível (Ke) apresentaram menor variação que os teores de Ks (Figura 4). O Nitossolo e o Latossolo apresentaram comportamentos semelhantes, com diminuição dos teores de Ke com o aumento da dose de calcário aplicada, independentemente da adição ou não de KCl (Figura 4A e B). A magnitude da diminuição nos tratamentos sem a adição de K foi de 60% para o Nitossolo e de 30% para o Latossolo, enquanto nos tratamentos que receberam KCl esses valores diminuiram para 4% e 12%, respectivamente. Da mesma forma que o observado para o Ks, essas diferenças são devidas à escala de valores.

Os dois Cambissolos, sendo de composição mineralógica semelhante, apresentaram o mesmo comportamento (Figura 4C e D), também com diminuição do Ke com o aumento da dose de calcário, porém somente nos tratamentos onde foi adicionado K. Essa diminuição foi pouco expressiva, sendo de apenas 10% e 6% para o Cambissolo e o Cambissolo anteriormente cultivado com pinus, respectivamente. No Argissolo, não foi observado efeito dos tratamentos no Ke (Figura 4E).

Considerando que os valores de Ks diminuiram com o aumento das doses de calcário, pois o K migrou para as cargas elétricas negativas criadas, seria esperado aumento do Ke. Entretanto, como os

valores de Ks normalmente são baixos, o efeito no incremento no Ke dificilmente chega a ser quantificado pelos métodos de análise utilizados.

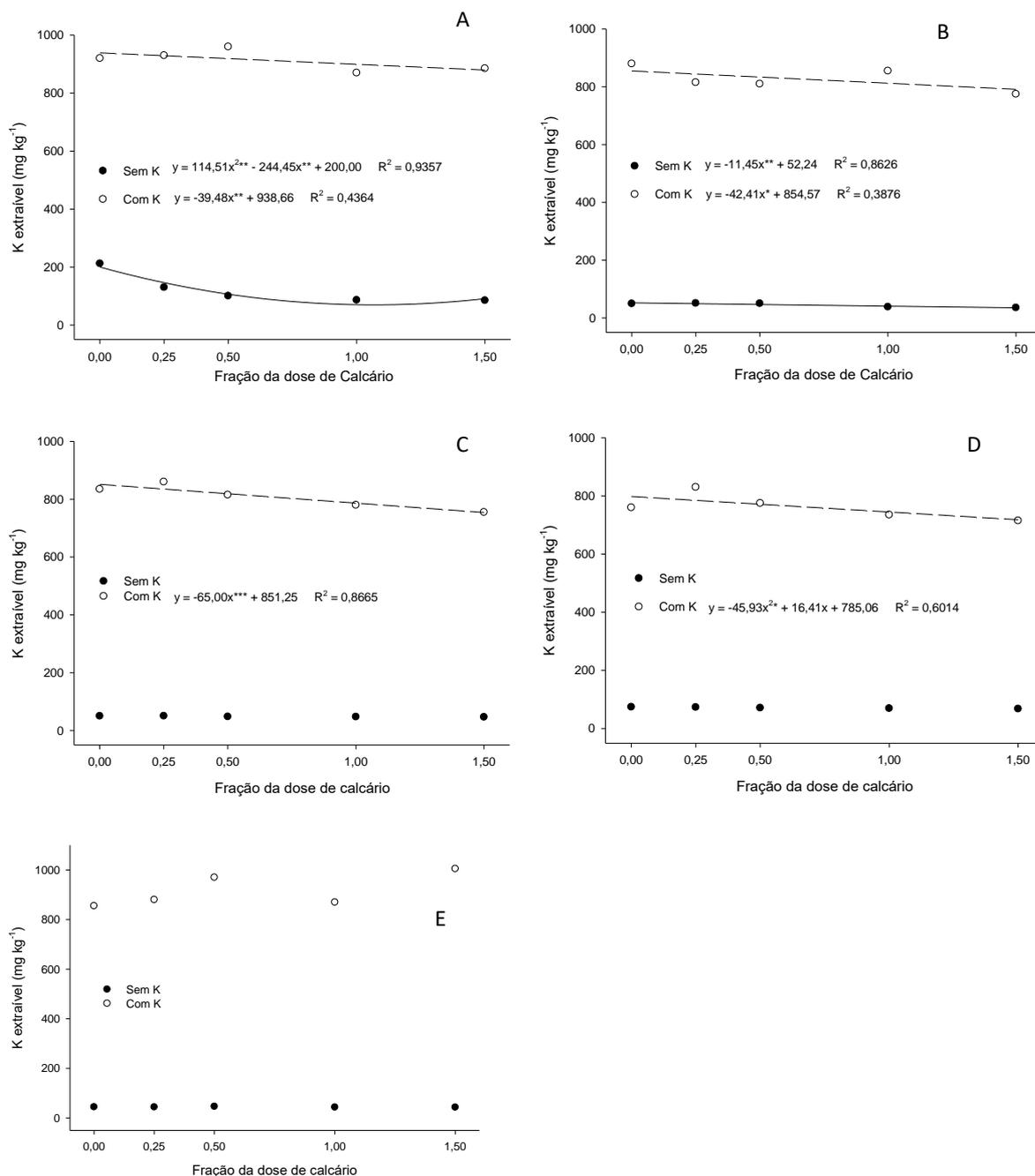


Figura 4. Teor de K extraível nos cinco solos (Nitossolo, A; Latossolo, B; Cambissolo sob campo nativo, C; Cambissolo anteriormente cultivado com pinus, D; e Argissolo, E) em função da adição de doses de calcário, na presença (com K) ou não (sem K) de 1000 mg kg^{-1} de K na forma de KCl.

Figure 4. Extractable K content in the five soils (Nitossolo, A; Latossolo, B; Cambissolo under native field, C; Cambissolo previously cultivated with pine, D; and Argissolo, E) due to the addition of limestone doses, in the presence (with K) or not (without K) of 1000 mg kg^{-1} of K in the form of KCl.

A calagem não afetou os teores de K não trocável (Knt) em quatro dos cinco solos avaliados (Figura 5). No Argissolo, houve pequena variação no Knt, sendo significativa somente nos tratamentos que não receberam KCl (Figura 5E). DAS & SAHA (2013), ao avaliarem o efeito de diferentes doses de calcário, obtiveram os maiores teores de Knt no solo completamente corrigido, atribuindo este aumento à precipitação de hidróxidos de Fe e Al, que dificultam a liberação do K da posição não trocável. Os teores de Knt obtidos por esses autores foram superiores aos observados no presente estudo, variando de 1650 mg

kg⁻¹, na ausência de calcário, a 2270 mg kg⁻¹ onde foi aplicado calcário para elevar o pH até 6,0, possivelmente devido a diferenças na composição mineralógica dos solos.

Em nosso estudo, os maiores teores de Knt foram encontrados no Cambissolo anteriormente cultivado com pinus, com teor médio de 533 mg kg⁻¹, nos tratamentos sem a adição de KCl. Este valor se justifica, uma vez que solos que tenham maior teor de argila, ou predomínio de esmectita ou ilita na composição mineralógica, apresentam altos teores de Knt (BRITZKE et al. 2012), e este foi o solo que apresentou maiores quantidades de argilominerais do tipo 2:1 na fração argila. Assim como para o Ke, os menores teores de Knt são encontrados em solos mais intemperizados, devido à menor presença de minerais primários, fontes de K (MELO et al. 2005).

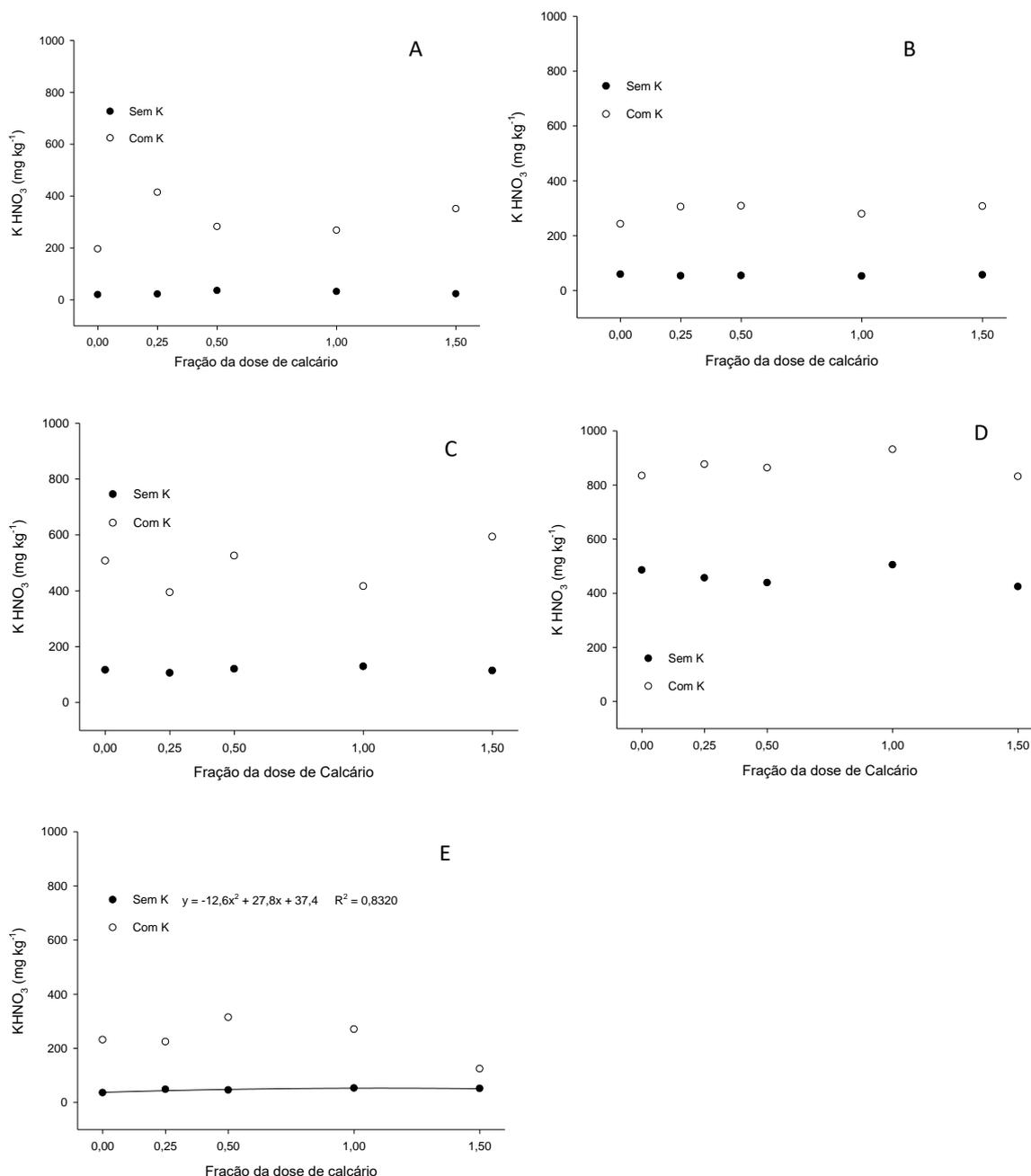


Figura 5. Teor de K não trocável nos cinco solos (Nitossolo, A; Latossolo, B; Cambissolo, C; Cambissolo anteriormente cultivado com pinus, D; e Argissolo, E) em função da adição de doses de calcário, na presença (com K) ou não (sem K) de 1000 mg kg⁻¹ de K na forma de KCl.

Figure 5. Non-exchangeable K content in the five soils (Nitossolo, A; Latossolo, B; Cambissolo, C; Cambissolo previously cultivated with pine, D; and Argissolo, E) due to the addition of limestone doses, in the presence (with K) or not (without K) of 1000 mg kg⁻¹ of K in the form of KCl.

Embora a aplicação de K tenha resultado em teores muito maiores de Knt comparado com os

tratamentos sem a adição de K, a adubação não deve ser considerada uma maneira de aumentar a reserva dos solos, uma vez que existem perdas e consumo pelas plantas das formas mais prontamente disponíveis, sendo a reserva dependente das características intrínsecas de cada solo, como textura e material de origem (KAMINSKI et al. 2007, GAO et al. 2019).

A falta de adubação em sucessivos ciclos de cultivo pode reduzir tanto a fração trocável como a não trocável, podendo ainda alterar a mineralogia do solo e limitar a produtividade das culturas (PAOLA et al. 2016). Embora a caulinita e os hidróxidos de Fe e Al presentes na fração argila não sofram alteração pela ausência de adição de K nos sistemas de cultivo, os filossilicatos 2:1 podem ter sua ordem estrutural alterada, diminuindo a sua cristalinidade, bem como a estabilidade dos argilominerais com hidróxi-Al nas entrecamadas, conforme descrito por FIRMANO et al. (2020) em um Latossolo no Paraná. Esse resultado corrobora com o observado em um Latossolo do Rio Grande do Sul, onde foi constatada a redução da proporção de argilominerais 2:1 em relação à caulinita (MOTERLE et al. 2019). Em outro estudo com Argissolo, no mesmo estado, concluiu-se que os baixos teores de K disponíveis levaram à completa transformação da illita em vermiculita (MOTERLE et al. 2016).

CONCLUSÃO

A elevação do pH afeta a distribuição relativa do potássio entre as principais formas em que esse nutriente se encontra no solo. Os teores de potássio na solução do solo bem como o potássio extraível reduziram com a calagem, quando acompanhado da aplicação de altas doses de cloreto de potássio, não alterando significativamente a fração não trocável.

AGRADECIMENTOS

Autores registram agradecimentos aos seguintes fomentos e instituições: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA JA & ERNANI PR. 1996. Influência do solvente, da relação solo/solvente, e da incubação das amostras úmidas na variação do pH de solos catarinenses. *Ciência Rural* 26: 81-85.
- BORTOLON L et al. 2010. Disponibilidade de potássio para as plantas em solos do sul do Brasil estimada por métodos multielementares. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 34: 1753-1761.
- BRITZKE D et al. 2012. A study of potassium dynamics and mineralogy in soils from subtropical Brazilian lowlands. *Journal Soils Sediments* 12: 185-197.
- CALVARUSO C et al. 2014. Seasonal evolution of the rhizosphere effect on major and trace elements in soil solutions of Norway Spruce (*Picea abies* Karst) and Beech (*Fagus sylvatica*) in an acidic forest soil. *Open Journal of Soil Science* 4: 323-336.
- CHAVES E et al. 2015. Reserva mineral de K por diferentes métodos em Argissolos subtropicais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 39: 1088-1099.
- CUNHA GOM et al. 2014. Relação entre o alumínio extraível com KCl e oxalato de amônio e a mineralogia da fração argila, em solos ácidos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38: 1387-1401.
- DINIZ SF et al. 2007. Fontes de potássio não trocável e potássio total em quatro solos do Estado do Ceará. *Geociências* 26: 379-386.
- DAS R & SAHA D. 2013. Changes in non-exchangeable K in an acid and the corresponding limed soil as affected by addition of nitrogenous and potassic fertilizers. *Journal of Crop and Wood* 9: 99-102.
- ERNANI PR & BARBER SA. 1993. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 10: 41-46.
- ERNANI PR et al. 2012. Liming decreases the vertical mobility of potassium in acid soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43: 2544-2549.
- ERNANI PR. 2016. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2.ed. Lages: O autor. 256p.
- FARIA GD et al. 2002. Produção e estado nutricional de povoamentos de *Eucalyptus grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. *Revista Árvore* 26: 577-584.
- FRAGA TI et al. 2009. Suprimento de potássio e mineralogia de solos de várzea sob cultivos sucessivos de arroz irrigado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33: 497-506.
- FIRMANO RF et al. 2020. Potassium reserves in the clay fraction of a Tropical soil fertilized for three decades. *Clays and Clay Minerals* 68: 237-249.
- GAO XS et al. 2019. Spatial variability of soil, nitrogen, phosphorus and potassium in Renshou County of Sichuan Basin, China. *Journal of Integrative Agriculture* 18: 279-289.
- GEE GW & BAUDER JW. 1986. Particle-size analysis. In: KLUTE A. *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy. p.383-412.

- KAMINSKI J et al. 2007. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 3: 1003-1010.
- KNUDSEN D et al. 1986. Lithium, sodium and potassium. In: PAGE AL. (Ed.). *Methods of soil analysis: Chemical and microbiological properties*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy. p. 225-246.
- LUNARDI NETO A & ALMEIDA JA. 2013. Mineralogia das frações silte e argila em Argissolos com horizontes subsuperficiais escurecidos em Santa Catarina. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 12: 282-293.
- MEDEIROS JS et al. 2014. Formas de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba. *Revista Ciência Agronômica* 45: 417-426.
- MELO GW et al. 2004. Fontes de potássio em solos distroféricos caulíníticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 28: 597-603.
- MELO VF et al. 2005. Cinética de liberação de potássio e magnésio pelos minerais da fração argila de solos do triângulo mineiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 29: 533-545.
- MELO VF et al. 2009. Reserva mineral do solo. In: MELO VF & ALLEONI LRF. (Eds). *Química e Mineralogia do Solo, Parte I*. Viçosa: SBCS. p.251-332.
- MOTERLE DF et al. 2016. Impact of potassium fertilization and potassium uptake by plants on soil clay mineral assemblage in South Brazil. *Plant Soil* 406: 157-172.
- MOTERLE DF et al. 2019. Does Ferralsol Clay Mineralogy Maintain Potassium Long-Term Supply to Plants? *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 43: e0180166.
- MOUHAMAD R et al. 2016. Behavior of potassium in soil: a mini review. *Chemistry International* 2: 58-69.
- PAOLA A et al. 2016. Short term clay mineral release and re-capture of potassium in a *Zea mays* field experiment. *Geoderma* 264: 54-60.
- PORTELA E et al. 2019. Effect of soil mineralogy on potassium fixation in soils developed on different parent material. *Geoderma* 343: 226-234.
- SPARKS DL & CARSKI TH. 1985. Kinetics of potassium exchange in heterogeneous systems. *Applied Clay Science* 1: 89-101.
- TEDESCO MJ et al. 1995. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. Porto Alegre: UFRGS. 174p.
- TESKE R et al. 2013. Caracterização mineralógica dos solos derivados de rochas efusivas no Planalto Sul de Santa Catarina, Brasil. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 12:187-198.
- WHITTIG LD & ALLARDICE WR. 1986. X-Ray Diffraction Techniques. In: KLUTE A. (Ed.). *Methods of Soil Analysis: Physical and Mineralogical Methods*. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy. p. 331-362.