

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**MOVIMENTAÇÃO HÍDRICA DO ÍON POTÁSSIO EM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO SOB CANA-DE-AÇÚCAR E VEGETAÇÃO DE CERRADO**

FERNANDO ERNESTO UCKER

Orientador:
Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos

Agosto - 2015

FERNANDO ERNESTO UCKER

**MOVIMENTAÇÃO HÍDRICA DO ÍON POTÁSSIO EM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO SOB CANA-DE-AÇÚCAR E VEGETAÇÃO DE CERRADO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Agronomia, área de concentração: Solo e Água.

Orientador:

Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos

Co-orientador:

Dr. Luís Carlos Hernani

Goiânia, GO – Brasil
2015

Ficha catalográfica elaborada automaticamente
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a), sob orientação do Sibi/UFG.

Ucker, Fernando Ernesto
MOVIMENTAÇÃO HÍDRICA DO ÍON POTÁSSIO EM NEOSSOLO
QUARTZARÊNICO SOB CANA-DE-AÇÚCAR E VEGETAÇÃO DE
CERRADO [manuscrito] / Fernando Ernesto Ucker. - 2015.
86 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Borges De-Campos; co-orientador Dr.
Luís Carlos Hernani.
Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de
Agronomia (EA) , Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Goiânia,
2015.

Bibliografia. Anexos.

Inclui siglas, símbolos, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Lixiviação. 2. transporte de solutos. 3. cana-de-açúcar. 4. Cerrado.
5. Neossolo Quartzarênico. I. De-Campos, Alfredo Borges, orient. II.
Hernani, Luís Carlos, co-orient. III. Título.



Termo de Ciência e de Autorização para Publicação de Teses e Dissertações
Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG



Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo à Universidade Federal de Goiás – UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: Dissertação Tese

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor:	FERNANDO ERNESTO UCKER				
RG:	6420605	CPF:	014.696.260-55	E-mail:	ferucker@gmail.com
Afiliação:	ERNESTO UCKER E ROSELI UCKER				
Título:	Movimentação Hídrica do Íon Potássio em Neossolo Quartzarênico sob Cana-de-açúcar e Vegetação de Cerrado				
Palavras-chave:	Lixiviação, transporte de solutos, cana-de-açúcar, Cerrado, Neossolo Quartzarênico				
Título em outra língua:	Hidric movement of potassium ion in Quartz-sand Neossols under sugarcane and Cerrado vegetation				
Palavras-chave em outra língua:	Leaching, solute transport, sugarcane, Cerrado, Quartz-sand Neossols				
Área de concentração:	Solo e Água				
Número de páginas:	86	Data defesa:	17/08/2015		
Programa de Pós-Graduação:	Agronomia				
Orientador(a):	Dr. Alfredo Borges de-Campos				
CPF:		E-mail:	alfredo.borges.campos@gmail.com		
Co-orientador(a):	Dr. Luis Carlos Hernani				
CPF:		E-mail:	luis.hernani@embrapa.br		
Agência de fomento:	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior			Sigla:	CAPES
País:	Brasil	UF:	GO	CNPJ:	00889834/0001-08

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para publicação?¹ total parcial

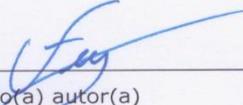
Em caso de publicação parcial, assinale as permissões:

Capítulos. Especifique: _____

Outras restrições: _____

Havendo concordância com a publicação eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF desbloqueado da tese ou dissertação, o qual será bloqueado antes de ser inserido na Biblioteca Digital.

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos conteúdo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua publicação serão bloqueados através dos procedimentos de segurança (criptografia e para não permitir cópia e extração de conteúdo) usando o padrão do Acrobat Writer.


Assinatura do(a) autor(a)

Data: 10 / 04 / 16

¹ Em caso de restrição, esta poderá ser mantida por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Todo resumo e metadados ficarão sempre disponibilizados.

FERNANDO ERNESTO UCKER

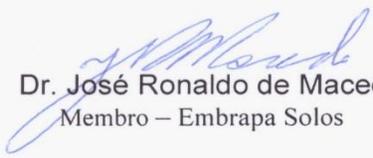
Movimentação hídrica de íon potássio em Neossolo Quartzarênico sob cana-de-açúcar e vegetação de cerrado

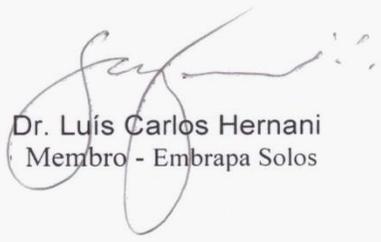
Tese DEFENDIDA em 17 de agosto de 2015, e APROVADA pela Banca Examinadora constituída pelos membros:


Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos
Presidente – UNICAMP/Campinas


Profª. Drª. Eliana Paula Fernandes Brasil
Membro - EA/UFG


Drª. Mellissa Ananias Soler da Silva
Membro – Embrapa Arroz e Feijão


Dr. José Ronaldo de Macedo
Membro – Embrapa Solos


Dr. Luís Carlos Hernani
Membro - Embrapa Solos

Goiânia - Goiás
Brasil

“... e foi ele que se veio,
pois era dele a pinguancha,
bufando e abrindo cancha
como dono do rodeio,
quis me partir pelo meio
num talonaço de adaga,
que, se me pega, me estraga,
chegou a levantar um cisco,
mas não é à toa - chomisco!
que sou de São Luiz Gonzaga!...”

(Jayme Caetano Braun)

DEDICATÓRIA

À Deus, minha família e
para minha amada e dedicada esposa, Anna Paula F. B. Goldfeld Ucker,
que sempre me apoiou e tantas vezes me deu forças para
seguir acreditando que o sonho era possível,
dedico este humilde trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente e principalmente a Deus, pela vida, saúde e carinho com que me guiou em todos os momentos desta trajetória;

Aos meus pais, Ernesto e Roseli, e minhas irmãs, Vivian e Lilian, pela alegria de todos os momentos, e pelos ensinamentos que até hoje são de grande inspiração;

Ao meu orientador, professor Dr. Alfredo Borges de Campos, pelo carinho e amizade com que me acolheu, por todas as horas de conversa e ensinamentos;

À Embrapa Solos – RJ, pela oportunidade de trabalhar com uma equipe fantástica, sem contar com o auxílio financeiro para viagens.

Ao meu co-orientador, Dr. Luís Carlos Hernani (“companheiro” Hernani), pela paciência e grandes ensinamentos;

Ao Adoílido Melo, José (Zé) Ronaldo de Macedo e Ademir Fontana, da Embrapa Solos (RJ) que, com muita dedicação me ajudaram nas coletas de solo e análises, sem contar nas horas de conversas e ensinamentos, tanto sobre a pesquisa quanto sobre a vida;

Aos funcionários e professores da Escola de Agronomia da UFG, Wellinton e Carlos (Carlinhos) (*in memoriam*) pela grande amizade e incontáveis ajudas;

À Universidade Federal de Goiás pela oportunidade de ampliação dos conhecimentos;

À Capes pela bolsa de estudos e ao CNPq pelo financiamento do projeto realizado;

Aos grandes amigos Felipe Corrêa, Ricardo, Marciana, Mateus, Ressiliane e Marcelo pela companhia durante as disciplinas, jogos e viagens, além de todos os momentos de descontração e estudo;

Ao professor Arnaldo Cardoso Freire, Diretor Geral da Faculdade Araguaia, por toda forma de incentivo e auxílio durante esta etapa de crescimento pessoal e profissional;

Meu agradecimento especial, claro, é para minha querida e amada esposa, Anna Paula, que, graças a Deus tive a oportunidade de conhecer neste curso, e que se manteve comigo em todos os momentos, sempre me deu apoio e incentivo. Sem esquecer também do nosso filhote, Cauê, que sempre, de uma forma ou outra, apoiou-me nesta jornada.

Para todos vocês, e para todos que ajudaram de forma direta ou indireta neste trabalho e nestes anos de vivência, **agradeço!**

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	08
LISTA DE TABELAS.....	10
LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS.....	12
RESUMO GERAL.....	14
GENERAL ABSTRACT.....	16
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	19
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	21
2.1 SOLOS FRÁGEIS.....	21
2.2 NEOSSOLO QUARTZARÊNICO.....	22
2.3 POTÁSSIO NO SOLO.....	24
2.4 ADUBAÇÃO POTÁSSICA.....	25
2.5 LIXIVIAÇÃO DE POTÁSSIO.....	27
2.6 REFERÊNCIAS.....	29
3 MOVIMENTAÇÃO DO ÍON POTÁSSIO EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB CANA-DE-AÇÚCAR E CERRADO: UMA AVALIAÇÃO BIANUAL EM MINEIROS - GO.....	36
RESUMO.....	36
ABSTRACT.....	36
3.1 INTRODUÇÃO.....	37
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	38
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
3.4 CONCLUSÕES.....	47
3.5 REFERÊNCIAS.....	48
4 MOVIMENTAÇÃO VERTICAL DO ÍON POTÁSSIO EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS.....	52
RESUMO.....	52
ABSTRACT.....	53
4.1 INTRODUÇÃO.....	53
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	54
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
4.4 CONCLUSÕES.....	64
4.5 REFERÊNCIAS.....	64

5	MOVIMENTAÇÃO DO ÍON POTÁSSIO EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO: EXPERIMENTO EM COLUNAS.....	67
	RESUMO.....	67
	ABSTRACT.....	67
5.1	INTRODUÇÃO.....	68
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	69
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
5.3.1	Potássio no solo.....	72
5.3.2	Potássio no efluente.....	76
5.4	CONCLUSÕES.....	79
5.5	REFERÊNCIAS.....	79
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	83
	APÊNDICES.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Representação esquemática da dinâmica de disponibilidade de potássio no solo.....	25
Figura 3.1	(a) Localização do município de Mineiros; (b) Localização da área de estudo. T1: Tratamento 1 (Neossolo Quartzarênico com o cultivo da cana-de-açúcar); T2: Tratamento 2 (Neossolo Quartzarênico sem lavoura ou com cobertura vegetal de Cerrado).....	39
Figura 3.2	Teores de potássio na camada 0-20 cm de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar em quatro épocas de amostragem.....	43
Figura 3.3	Teores de potássio na camada 0-20 cm de um Neossolo Quartzarênico sob Cerrado em quatro épocas de amostragem.....	44
Figura 4.1	Implantação das calhas para verificação da movimentação do potássio em Neossolo Quartzarênico: (a) sob cultivo de cana-de-açúcar; (b) sob Cerrado. Mineiros - GO, 2013.....	55
Figura 4.2	Anéis concêntricos implantados para avaliação da movimentação de potássio sob regime hídrico controlado: (a) Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar; (b) Neossolo Quartzarênico sob Cerrado. Mineiros – GO, 2013.....	56
Figura 4.3	Amostragem de solo nas camadas estudadas sob regime hídrico controlado. (1) amostra testemunha (K_{test}); 2) amostra na parte interna do anel interno (K_{int}); 3) amostra na parte externa do anel interno (K_{ext}) e; 4) amostra fora do anel externo (K_{fora}). Mineiros-GO, 2013.....	57
Figura 4.4	Teor de potássio em profundidade: (a) Neossolo Quartzarênico sob cultivo; (b) Neossolo Quartzarênico sob Cerrado.....	59
Figura 4.5	Teores de potássio em profundidade: (a) comparação RQ Lavoura e RQ Cerrado em novembro de 2013; (b) comparação entre RQ Lavoura e RQ Cerrado em abril de 2014.....	61

Figura 5.1	Esquema de cada coluna preenchida com Neossolo Quartzarênico: (a) união entre cada anel de 10 cm de altura; (b) tela de poliéster na parte inferior da coluna, para evitar perda de solo; (c) suporte utilizado para suspender as colunas; (d) funil e recipiente com capacidade volumétrica de 500 mL; (e) colunas devidamente fechadas com tampões de PVC com 75 mm de diâmetro; (f) frasco âmbar de 200 mL para armazenagem do efluente coletado de cada coluna.....	71
Figura 5.2	Valores médios de K^+ antes e após aplicação de chuva em solo RQ Lavoura (a); em RQ Cerrado (b); percentagem de matéria orgânica em RQ Lavoura e RQ Cerrado (c); pH em RQ Lavoura e RQ Cerrado (d).....	74
Figura 5.3	Teores do íon potássio lixiviado ($mg L^{-1}$) em Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob Cerrado (RQ Cerrado) após aplicação de 105 mg de K_2O e 600 mm de chuva simulada. Goiânia, 2013.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	Média dos teores de potássio (mg dm^{-3}) em quatro épocas de estudo sob dois usos diferentes: Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar e sob Cerrado.....	41
Tabela 3.2	Matéria orgânica do solo (g Kg^{-1}) nas diferentes épocas amostradas para diferentes profundidades e diferentes usos do Neossolo Quartzarênico (RQ Lavoura e RQ Cerrado).....	45
Tabela 3.3	Capacidade de troca catiônica (CTC) nas diferentes épocas amostradas para diferentes profundidades e diferentes usos do Neossolo Quartzarênico (RQ Lavoura e RQ Cerrado).....	46
Tabela 3.4	Valores médios do pH (H_2O) nas diferentes épocas amostradas para diferentes profundidades e diferentes usos do Neossolo Quartzarênico (RQ Lavoura e RQ Cerrado).....	46
Tabela 4.1	Teores de areia, silte, argila (g Kg^{-1}), matéria orgânica (MO, em g Kg^{-1}) e pH para Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob Cerrado (RQ Cerrado), Mineiros, 2013.....	57
Tabela 4.2	Valores médios do íon potássio (mg dm^{-3}) encontrados antes (novembro de 2013) e após o período de chuvas (abril de 2014) para Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob vegetação de Cerrado (RQ Cerrado), Mineiros, GO.....	58
Tabela 4.3	Valores médios do íon potássio (mg dm^{-3}) encontrados em novembro de 2013 e após o período de chuvas (abril de 2014) na região de Mineiros – GO, para Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob Cerrado (RQ Cerrado).....	60
Tabela 4.4	Valores médios para íon potássio, pH e matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob vegetação de Cerrado (RQ Cerrado), Mineiros, GO.....	62
Tabela 4.5	Valores médios do íon potássio (mg dm^{-3}) encontrados no experimento em regime hídrico controlado (K_{int}) e natural (K_{calhas}) para Neossolo	

	Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob vegetação de Cerrado (RQ Cerrado), Mineiros, GO.....	63
Tabela 5.1	Valores médios das concentrações do íon potássio antes (testemunha) e após a aplicação do KCl nas colunas de solo, da matéria orgânica (em g Kg ⁻¹), do pH e da granulometria para Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar e sob Cerrado. Goiânia, 2013.....	73
Tabela 5.2	Valores médios do íon potássio (em mg de K ⁺) presente no efluente das colunas de Neossolo Quartzarênico sob influência da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob Cerrado (RQ Cerrado). Goiânia, 2013.....	76

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

α	Alfa
%	Porcentagem
Abr	Abril
cm	Centímetro
cmol _c dm ⁻³	Centimol de carga por decímetro cúbico
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
g Kg ⁻¹	Gramas por quilograma
GO	Goiás
H ⁺	Íon hidrogênio
K ⁺	Íon potássio
K ₂ O	Óxido de potássio
KCl	Cloreto de potássio
Kg	Quilograma
Kg ha ⁻¹	Quilograma por hectare
m	Metro
m ²	Metro quadrado
mg	Miligrama
mg dm ⁻³	Miligrama por decímetro cúbico
Mg ha ⁻¹	Megagrama por hectare
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MO	Matéria Orgânica
Mt	Megatonelada
N	Nitrogênio
Nov	Novembro
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
PUC	Pontifícia Universidade Católica
PVC	Policloreto de vinila
R ²	Coefficiente de determinação
RJ	Rio de Janeiro

RQ	Neossolo Quartzarênico
t	Tonelada
t ha ⁻¹	Tonelada por hectare

RESUMO GERAL

UCKER, Fernando Ernesto. **Movimentação hídrica do íon potássio em Neossolo Quartzarênico sob cana-de-açúcar e vegetação de Cerrado**. 2015. 86 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.¹

No Estado de Goiás o cultivo da cana-de-açúcar tem se expandido para áreas com solos arenosos, denominados frágeis por seus altos riscos a degradação. Potássio é um importante nutriente utilizado no cultivo da cana-de-açúcar e tem sido aplicado nesses solos sob cultivo. Pouco se conhece sobre a mobilidade do íon potássio em tais solos. Esta tese teve o objetivo de avaliar a movimentação vertical de potássio em Neossolo Quartzarênico encontrado em área da Fazenda Araucária, localizada na região do município de Mineiros-GO, que se encontra sob dois tipos de usos: sob o cultivo de cana-de-açúcar e sob vegetação de Cerrado. A movimentação deste nutriente foi estudada a partir de três experimentos: 1º) experimento laboratorial com colunas. Amostras de solo foram encaminhadas para o Laboratório de Hidráulica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás onde o experimento com colunas foi realizado em triplicata para cada tipo de uso. Cada coluna possuía 100 cm de altura e foi seccionada em anéis de 10 cm de altura por 7,5 cm de diâmetro. Cada coluna recebeu acima da camada superficial, 105 mg de K^+ , na forma de KCl. Durante dez dias seguidos foi aplicada água deionizada em cada coluna, representando ao final uma precipitação de 600 mm. O efluente lixiviado foi coletado periodicamente e encaminhado para análise do teor de potássio. Ao final dos dez dias as colunas foram desmontadas e o solo foi coletado em cada anel e encaminhado para análise de teores de potássio, matéria orgânica e pH. As médias dos valores de potássio foram submetidas a análise descritiva e teste t ($\alpha = 0,05$); 2º) experimento em campo sob dois tipos de regime hídrico, natural e controlado. No regime hídrico natural, calhas metálicas retangulares foram confeccionadas com área de 0,5 m². Três calhas foram instaladas em solo sob cultivo com cana-de-açúcar e outras três calhas no mesmo solo sob Cerrado. Amostras de solo testemunhas foram coletadas em novembro de 2013, antes do início do período chuvoso na região. Após coleta inicial, foi aplicado sobre o solo o equivalente a 80 kg ha⁻¹ de K^+ na forma de KCl, e aguardou-se todo o período chuvoso, com fim em abril do ano seguinte. Após isto, amostras de solo foram coletadas no interior das calhas a cada 10 cm até a profundidade de 100 cm. A avaliação da movimentação de potássio sob regime hídrico controlado foi realizada em novembro de 2013 e as áreas avaliadas foram as mesmas do regime hídrico natural. Para esse estudo foram utilizados anéis concêntricos para delimitação da área e para garantir fluxo vertical da água aplicada. Aplicou-se no interior do anel interno o equivalente a 600 mm de água. Após 24 horas aplicou-se a mesma

quantidade de K^+ do regime natural e água equivalente a 600 mm de chuva acumulada. Após 48 horas procedeu-se a amostragem do solo a cada 10 cm até a profundidade de 100 cm com uso de trado holandês. As amostras de solo coletadas em campo foram encaminhadas para avaliação quanto aos teores de K^+ , pH e matéria orgânica e; 3º) experimento em campo com avaliação bianual da movimentação vertical do potássio. Nesse experimento foram considerados como tratamento duas faixas paralelas de um Neossolo Quartzarênico dispostas ao longo da vertente, sendo uma com vegetação de Cerrado e outra com cultivo de cana-de-açúcar. Em cada uma das faixas foi estabelecido um transecto com dez pontos de amostragem, espaçados de 30 m entre si, onde repetiu-se a coleta de amostras em cada ponto. Amostras compostas foram coletadas nas duas áreas estudadas nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 100-120 e 160-180 cm. Após a coleta, as amostras foram ensacadas e devidamente identificadas, sendo então encaminhadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Solos – RJ para análise. As coletas ocorreram em novembro de 2011 e 2012, período que significa início da estação chuvosa na região de estudo e abril de 2012 e 2013, período correspondente ao final da estação chuvosa, totalizando dois anos de avaliação. Em laboratório, as amostras foram submetidas à análise da capacidade de troca catiônica, pH e matéria orgânica, além de potássio. Do primeiro experimento concluiu-se que em Neossolo Quartzarênico pode haver significativa perda de K^+ após aplicação de potássio no solo. O aumento do teor de matéria orgânica acima de 1% pode influenciar positivamente a retenção de K^+ neste tipo de solo. Do segundo experimento concluiu-se que houve movimento significativo dos teores de potássio para camadas inferiores em regime hídrico natural após precipitação acumulada de 1.638 mm, tanto no solo sob lavoura quanto no solo sob Cerrado. Já do terceiro experimento concluiu-se que o íon potássio teve comportamento distinto para o solo cultivado com cana-de-açúcar em relação ao solo sob Cerrado, e verificou-se acréscimo do nutriente em camadas superiores a 100 cm de profundidade.

Palavras-chave: Lixiviação, transporte de solutos, cana-de-açúcar, Cerrado, Neossolo Quartzarênico.

¹ Orientador: Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos (UNICAMP - SP).
Co-Orientador: Dr. Luís Carlos Hernani (EMBRAPA - RJ).

GENERAL ABSTRACT

UCKER, Fernando Ernesto. **Hidric movement of potassium ion in Quartz-sand Neossols under sugarcane and Cerrado vegetation.** 2015. 86 f. Thesis (Doctor in Agronomy: Soil and Water) – Escola de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.¹

In the state of Goiás sugarcane cultivation has expanded into areas of sandy soil, known as fragile because of their high risk of degradation. Potassium is a vital nutrient used in the cultivation of sugarcane and has been applied to these cultivated soils. Little is known about the mobility of the potassium ion in such soils. This thesis set out to assess the vertical movement of potassium in Quartz-sand Neosols found in an area of the Araucária farm, in the municipality of Mineiros, Goiás, which is under two types of regime: sugarcane cultivation and Cerrado vegetation. The movement of this nutrient was studied on the basis of three experiments: 1st) a laboratory experiment with columns. Soil samples were sent to the Hydraulics Laboratory at the Pontifical Catholic University of Goiás where the experiment with columns was performed in triplicate for each type of soil management. Each 100 cm high column was sectioned into rings of 10 cm in height by 7.5 cm in diameter. A total of 105 mg of K₂O, in the form of KCl, was applied to the surface layer. Over the next ten days, deionized water was applied to each column, the equivalent of 600 mm precipitation at the end. The leachate effluent was collected periodically and sent for potassium content analysis. At the end of the ten-day period, the columns were dismantled, and the soil in each ring was collected and sent for analysis of potassium, organic matter and pH levels. The mean values of potassium were submitted to descriptive analysis and a t test ($\alpha = 0.05$); 2nd) a field experiment under two types of water regime, natural and controlled. In the natural water regime, rectangular metal troughs measuring 0.5 m² were made. Three were installed in soil under sugarcane cultivation and another three in the same soil under Cerrado vegetation. Witness soil samples were collected in November 2013, before the onset of the rainy season in that region. After this initial collection, the equivalent of 120 kg ha⁻¹ of K₂O in the form of KCl was applied to the soil, and left for the full wet season, until the end of April of the following year. After that, soil samples were collected from the troughs at each level of 10 cm to a depth of 100 cm. The analysis of potassium movement under the controlled water regime took place in November 2013. The areas assessed were the same as those of the natural water regime. For this study concentric rings were used to delimit the area and ensure a vertical flow of the water applied. The equivalent of 600 mm of water was applied within the internal ring. After 24 hours the same amount of K⁺ as was applied in the natural regime and water equivalent to 600 mm of accumulated rain were applied. After 48 hours, soil sampling was carried out with a Dutch auger at levels of 10 cm to a depth of 100 cm. The soil samples collected in the field were sent for analysis in terms of total sand, silt, total clay, K⁺, pH and organic matter, and; 3rd) the field experiment with biennial evaluation of potassium movement. This experiment involved two parallel stretches of Quartz-sand Neosols along a slope, one with Cerrado vegetation and the other with sugarcane cultivation. In each of these stretches a transect with ten sampling points, each 30 m apart, was

established and samples were collected at each point. Composite samples were collected in the two areas under study at depths of 0-20, 20-40, 40-60, 100-120 and 160-180 cm. After collection, the samples were bagged and appropriately identified, then forwarded for analysis to the Embrapa Soils Laboratory in Rio de Janeiro. The collections were made in November 2011 and 2012, the beginning of the rainy season in the region under study, and in April 2012 and 2013, the end of the rainy season, yielding a two-year evaluation period. In the laboratory, the samples were analyzed for cation exchange capacity, pH and organic matter, as well as for potassium. It was concluded from the first experiment that in the Quartz-sand Neosols there could be a significant loss of K^+ after applying potassium to the soil. An increase of more than 1% in organic matter content could positively influence K^+ retention in this type of soil. It was concluded from the second experiment that there was a significant movement of potassium levels to lower layers in the natural water regime after the accumulated rainfall of 1638 mm, both in the soil under cultivation and under Cerrado vegetation. From the third experiment it was concluded that the potassium ion behaved differently in the two soil regimes, sugarcane cultivation and Cerrado vegetation, and an increase in the nutrient was seen in layers of more than 100 cm in depth.

Key words: leaching, solute transport, sugarcane, Cerrado, Quartz-sand Neosols.

¹ Adviser: Prof. Dr. Alfredo Borges de Campos (UNICAMP – SP).
Co-adviser: Dr. Luís Carlos Hernani (EMBRAPA – RJ).

BIOGRAFIA DO AUTOR

Fernando Ernesto Ucker é filho de Ernesto Ucker e Roseli Ucker, nascido em 30 de março de 1986, em São Luiz Gonzaga, Rio Grande do Sul. Teve sua formação de primeiro grau na cidade natal e com quinze anos mudou-se para o município de Santa Maria, centro do Estado do Rio Grande do Sul, onde concluiu o ensino médio. Em 2005, no mesmo município, ingressou no curso de graduação em Engenharia: habilitação em Engenharia Ambiental, pelo Centro Universitário Franciscano (UNIFRA/RS). Desenvolveu e executou diversas pesquisas em análise e tratamento de efluentes e água para consumo humano. Formou-se em 2009, e mudou-se para Goiânia (Goiás), onde entre 2010 e 2012 realizou mestrado em Engenharia do Meio Ambiente, pela Universidade Federal de Goiás (PPGEMA/UFG), sob orientação do professor Dr. Rogério de Araújo Almeida. No mestrado, desenvolveu diversas pesquisas na área de tratamento de esgoto com plantas, tema que tem trabalhado até os dias atuais. Em 2012 ingressou no curso de doutorado em Agronomia, pela Escola de Agronomia (PPGA/UFG), também na Universidade Federal de Goiás, sob orientação do professor Dr. Alfredo Borges de Campos e co-orientação do Dr. Luís Carlos Hernani. Qualificou-se em 28 de janeiro de 2015, e defendeu sua tese na data de 17 de agosto de 2015. Atualmente é professor da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC-GO), professor e Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental da Faculdade Araguaia.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum sp.*) na economia nacional não para de crescer, e é com ela que diversos produtos cotidianamente usados e essenciais à grande parte da população mundial são produzidos, como o açúcar, indispensável na alimentação humana, e o etanol, utilizado em diversas situações, como por exemplo na medicina, na fabricação de bebidas, produtos de limpeza e também para abastecer veículos como carros, motocicletas, pequenos aviões e até ônibus urbanos. A cultura da cana é vista com bons olhos por quem a cultiva, pois praticamente toda a estrutura aérea da planta é aproveitada, desde o líquido gerado pela moagem até o aproveitamento do bagaço que é muito utilizado em usinas para geração de energia pela sua queima.

Porém, com a expansão desta cultura alguns tipos de solos da região do Cerrado, que antes eram utilizados principalmente para a pecuária, também foram incorporados aos sistemas de produção da cana-de-açúcar. Muitos solos do Cerrado possuem textura arenosa e se não forem bem manejados podem perder qualidade e capacidade produtiva. Isso ocorre em consequência da perda de seus atributos, sejam eles físicos, químicos e/ou microbiológicos.

Entre os solos arenosos destaca-se a classe dos Neossolos Quartzarênicos (RQs) que correspondem, segundo Spera et al. (1999), a 11% da área total do país e 15% da área do Cerrado. Considerado um solo frágil para atividades agrícolas devido suas características naturais de elevada erodibilidade e baixa capacidade de retenção de água, os RQs em geral favorecem a movimentação e o transporte de nutrientes no perfil do solo, os quais são deslocados para camadas mais profundas ficando então indisponíveis para as raízes das plantas podendo atingir as águas subterrâneas, causando assim significativo impacto ambiental aos recursos hídricos.

Um dos nutrientes agrícolas mais utilizados é o potássio, que de acordo com Malavolta (1994) é um elemento essencial e o mais extraído pela cultura da cana-de-açúcar. No solo, o potássio pode ser lixiviado, adsorvido pelo solo ou absorvido pela planta (Sparks & Huang, 1985). A capacidade do solo em reter este íon é muito dependente da capacidade de troca de cátions do solo assim, a quantidade e tipo de argila e o teor de matéria orgânica

no solo influenciam fortemente a intensidade de movimentação do potássio. Logo, em solos com baixa disponibilidade destes atributos, como é o caso dos Neossolos Quartzarênicos, pode potencialmente haver grande movimentação do íon no perfil do solo ou por escoamento superficial.

Os impactos positivos e negativos de caráter químico sobre o solo decorrentes do uso de fertilização mineral com potássio para o cultivo da cana-de-açúcar são ainda pouco conhecidos em áreas de Cerrado havendo, portanto, necessidade de se avaliar e mensurar esses impactos para fins de planejamento e uso sustentável dos recursos naturais nestas áreas. Com base no exposto, constitui objetivo do presente trabalho avaliar a movimentação do íon potássio em um Neossolo Quartzarênico da região do município de Mineiros-GO sob cultivo tradicional de cana-de-açúcar comparando-o com a condição natural de vegetação de Cerrado.

A tese está organizada em três capítulos principais no formato de artigos nos quais são apresentados os resultados obtidos em experimentos de campo e laboratório (capítulos 3, 4 e 5). Apresenta-se também no capítulo 2 uma revisão bibliográfica sobre o tema da tese e no capítulo 6 as considerações finais que constitui uma síntese dos estudos realizados nos experimentos. A metodologia geral da tese seguiu a lógica da apresentação dos capítulos, ou seja, revisão de literatura, seleção da área de estudo, montagem de experimentos e coleta de dados em campo e laboratório.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SOLOS FRÁGEIS

Embora utilizado em textos técnicos e comumente falado por especialistas, o termo “solo frágil” ainda não é devidamente difundido. Segundo Albuquerque et al. (2011), o termo “solo frágil” tem sido empregado no Brasil para designar grupo de solos com alto potencial ou forte risco de degradação, principalmente pela ação antrópica. Seu uso não se restringe apenas aos casos de utilização agrícola, mas também a obras de engenharia, destinação de resíduos líquidos, resíduos sólidos, dentre outros. Para Bertol & Almeida (2000) em alguns países, como nos Estados Unidos, solos frágeis são também classificados de acordo com sua tolerância de perda por erosão.

Albuquerque et al. (2011) definem os diversos tipos de fragilidade dos solos, em fragilidade textural, que está associada à pequena agregação das partículas; fragilidade estrutural, que está associada ao baixo grau de desenvolvimento e estabilidade da estrutura do solo; fragilidade hídrica, onde predominam os macroporos, tornando estes solos excessivamente drenados e por este motivo com baixa capacidade de armazenamento de água e fragilidade química, sendo considerados frágeis quimicamente os solos com baixa quantidade de cargas negativas decorrente da pequena quantidade de matéria orgânica e argilas.

Nos tipos de fragilidades relacionadas anteriormente, os solos arenosos estão presentes em todos eles. A fragilidade textural dos Neossolos Quartzarênicos (RQs), por exemplo, está associada a alta susceptibilidade à erosão hídrica ou eólica em vista da baixa estabilidade deste solo. Devido ao baixo teor de matéria orgânica dos RQs e do excessivo teor de areia estes solos também possuem fragilidade estrutural. Também são os solos arenosos excessivamente drenados, tendo assim fragilidade hídrica. E por último, os solos arenosos podem ser considerados frágeis quimicamente devido à baixa capacidade de reserva de nutrientes, baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e ao alto potencial de lixiviação de nutrientes.

Portanto, os solos arenosos devem ser considerados de elevado grau de fragilidade

(Albuquerque et al., 2011). Alguns estudos comprovam que esses solos estão associados com a baixa estabilidade de agregados (Albuquerque et al., 1994; Wohlenberg et al., 2004), baixo teor de matéria orgânica (Bayer et al., 2001; Mielniczuk et al., 2003), erosão eólica (Rovedder & Eltz, 2008) e hídrica (Eltz et al., 2001; Amado et al., 2002; Cassol & Lima, 2003). Além disso, o cultivo contínuo e o preparo do solo para o plantio podem provocar diversas alterações nas propriedades físicas e químicas do solo (Cerri et al., 1991; Goves et al., 1994), ainda mais em solos considerados frágeis.

Nesse estudo utiliza-se o termo solos frágeis para aqueles solos que por suas características intrínsecas e ou posição na paisagem têm baixa resiliência e elevada suscetibilidade à degradação (física, química e biológica) quando submetidos à ação antrópica, exigindo assim estratégias especiais para o seu manejo sustentável.

Os solos arenosos presentes em grande parte do território brasileiro apresentam naturalmente severas limitações físicas, químicas e hídricas para a maioria das espécies de plantas cultivadas, pois são frágeis estruturalmente, de baixa fertilidade e com reduzida capacidade de retenção de água. Além disso, apresentam alta suscetibilidade à erosão, o que os tornam solos com baixa capacidade de uso. No entanto, quando bem manejados por meio do uso de práticas conservacionistas adequadas e sustentáveis podem se tornar produtivos e economicamente viáveis (SBSA, 2014).

2.2 NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

Segundo Resck (1999) o Cerrado ocupa 207 milhões de hectares no Brasil, o que representa aproximadamente 4% da região tropical do mundo. Neste bioma, os solos de maior representatividade são os Latossolos (46%), os Argissolos (15%) e os Neossolos Quartzarênicos (15%) (Reatto et al., 1998). Os Neossolos Quartzarênicos (RQ) são solos amplamente distribuídos no Cerrado e considerados ecologicamente frágeis por apresentarem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes para as plantas, além de elevada erodibilidade (Zuo et al., 2008).

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2013), Neossolos Quartzarênicos são solos que possuem como principal característica a ausência de um horizonte B e teor de argila menor do que 15% num perfil de 200 cm de profundidade. Os RQ são resultantes da decomposição de arenitos, quartzitos e depósitos sedimentares recentes e geralmente são encontrados em áreas planas e com baixas

declividades (Villani et al., 1993). Gomes & Spadotto (2004) afirmam que estes são solos jovens, pouco evoluídos e profundos, além de não possuírem organização estrutural definida no horizonte C, o que favorece a movimentação vertical de nutrientes.

Por possuir no máximo 15% de argila e em geral ausência de silte, a textura dos RQ's pode ser classificada como arenosa à franco arenosa (Reatto et al., 1998), o que confere baixa coesão entre as partículas do solo tornando-os bastantes suscetíveis à erosão, limitando assim seu uso agrícola. Para Ker et al. (1992) não é raro após intervenção antrópica nesses solos a ocorrência de voçorocas, mesmo em áreas pouco declivosas, com consequente contaminação e assoreamento dos cursos d'água (Oliveira et al., 2001) e aumento dos riscos de desertificação (Corrêa, 1997). Quando antropizados, esses solos necessitam de grande aporte de matéria orgânica para o manejo sustentável (Carneiro et al., 2009), pois a maior parte de sua capacidade de troca catiônica advém da fração orgânica do solo (Silva et al., 2011).

Em função da textura arenosa a limitação da capacidade de armazenamento de água é severa, sobretudo em locais de maior macroporosidade onde a areia grossa predomina sobre a fina (Sousa & Lobato, 2005) sendo a disponibilidade de água para as plantas limitada aos primeiros 2 m de profundidade (Reatto et al. 1998). Por se tratar de solos sem grande fertilidade natural e com propriedades até certo ponto que poderiam impossibilitar o seu uso para a agricultura, geralmente possuem valor econômico menor que os demais (Spera et al., 1999). Os baixos teores de argila e matéria orgânica (Reatto et al., 1998), baixo teor de nutrientes e elevada acidez (Frazão et al., 2008) são características que, de certo modo, impedem a implantação de grandes culturas nestes solos. Além disso, Prado (2008) afirma que os Neossolos Quartzarênicos possuem baixa capacidade de troca de cátions (CTC), até mesmo no horizonte A, e que a CTC vai decrescendo em profundidade.

Porém, mesmo com as possíveis limitações para a produção agrícola, os RQ's estão sendo utilizados para a agricultura. Pesquisas envolvendo Neossolos Quartzarênicos sob diferentes formas de manejo podem ser encontradas em Frazão et al. (2008), Carneiro et al. (2009), Freitas et al. (2012). Nestas pesquisas, os autores concluíram que é viável a exploração com a agricultura nessa classe de solo, entretanto alertam quanto à necessidade de um manejo criterioso para maximizar o potencial produtivo sem degradar o meio ambiente.

Avaliando o uso e manejo do Neossolo Quartzarênico e a influência destes na matéria orgânica do solo (MO), Caetano et al. (2013) concluíram que ocorrem alterações

significativas na qualidade da MO após determinado tempo de cultivo, indicando assim a necessidade de se ter um manejo adequado do solo para evitar alterações na produtividade agrícola.

2.3 POTÁSSIO NO SOLO

O potássio é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e tem fundamental importância para a nutrição das plantas. A sua dinâmica no solo está ligada à mineralogia, o que reflete a relação do grau de intemperismo do material de origem do solo com a disponibilidade do potássio às plantas (Melo, 1998). Nos solos de região tropical, os teores de K^+ normalmente são baixos, tornando necessária à sua complementação para possibilitar produtividades sustentáveis. Segundo Anda (2008), o principal fertilizante com K^+ utilizado no Brasil é o cloreto de potássio (KCl) que contém aproximadamente 60% de K_2O .

As diversas formas de potássio e sua relativa proporção nos solos depende da mineralogia do material de origem, do grau de intemperismo e da composição granulométrica do solo. O potássio é encontrado nas fases líquida e sólida do solo. Na líquida, que é a solução do solo, encontra-se a forma de potássio mais prontamente disponível para as plantas. Já na sólida, o potássio está retido com diferentes graus de energia, constituindo o potássio trocável, o não trocável e o estrutural (Bertsch & Thomas, 1985).

A forma trocável envolve a fração do K^+ que se encontra ligada às cargas negativas, nas superfícies das frações orgânicas e inorgânicas do solo. Esta é a fonte de maior interesse para a nutrição das plantas visto que restitui rapidamente o K^+ retirado da solução do solo pelas plantas ou perdido pela lixiviação (Ermani et al., 2007). Portanto, o teor trocável é a principal fonte de reposição do K^+ para a solução (van Raij, 2001), o qual, por sua vez, pode ser absorvido pelas plantas, adsorvido às cargas negativas do solo ou também perdido pela lixiviação ou escoamento superficial. Dessa maneira, recomenda-se, segundo Bernardi et al. (2012), realizar a aplicação desse nutriente conforme as plantas se desenvolvam, visando reduzir as perdas no sistema solo-planta e aumentar a eficiência de utilização do potássio.

O K^+ não-trocável compreende parte do K^+ estrutural que se dissolve mais facilmente em meio ácido em adição ao K^+ fixado nas entrecamadas de minerais de argila do tipo 2:1 (Silva et al., 1995). Todos os solos, em maior ou menor grau, apresentam K^+ em

formas não-trocáveis, ou não extraídas convencionalmente na avaliação da disponibilidade de K^+ . Estas formas de K^+ podem suprir as plantas de modo indireto, repor o K^+ trocável ou ser absorvidas por algumas espécies (Meurer & Anghinoni, 1993; Veduin, 1994). Dessa forma, o K^+ trocável é tido como reserva prontamente disponível às plantas ou aquela absorvida pelas plantas no período de cultivo, enquanto o K^+ não-trocável constitui uma reserva que pode ser utilizada à medida que os teores do K^+ trocável diminuem (Oliveira et al., 1971).

O K^+ estrutural constitui quase a totalidade do elemento presente nos solos e está localizado nas estruturas dos minerais primários, predominantes nas frações grossas do solo em que o elemento não é disponível às plantas em curto prazo (Nachtigall & Vahl, 1991). A representação esquemática da dinâmica de disponibilidade do potássio no solo é apresentada na Figura 2.1.

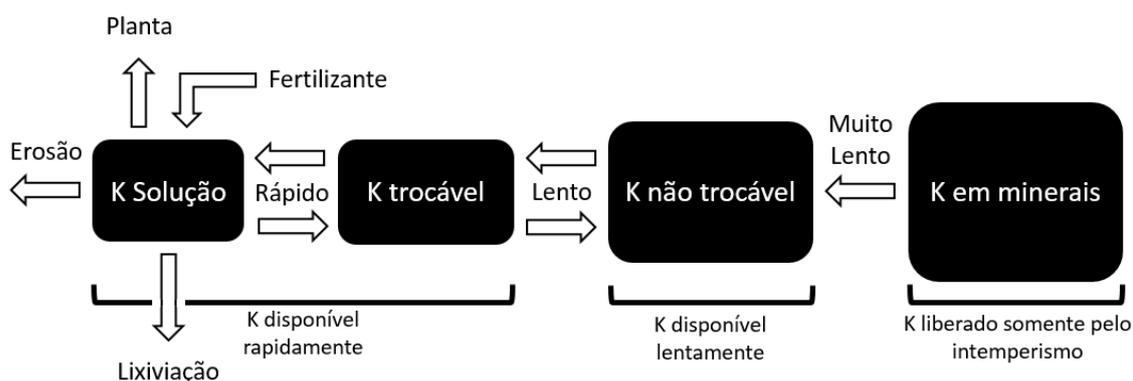


Figura 2.1. Representação esquemática da dinâmica de disponibilidade de potássio no solo. Adaptado de Steiner (2010)

2.4 ADUBAÇÃO POTÁSSICA

Korndorfer & Oliveira (2005) afirmam que o potássio desempenha várias funções, como regulação da turgidez do tecido, ativação enzimática, abertura e fechamento dos estômatos, resistência a geadas, secas e doenças, porém não faz parte de compostos específicos da planta, não sendo assim considerado como um elemento estrutural.

O potássio é absorvido pelas plantas predominantemente na forma iônica (K^+). A absorção do nutriente depende principalmente do processo de difusão dentro da solução do solo e, em proporção menor, do fluxo de massa. No solo, os íons se movem em direção às

raízes por difusão devido à existência de um gradiente de concentração e por fluxo de massa em decorrência de um gradiente hídrico (Barber, 1962; Havlin et al., 1999).

A elevada necessidade de nutrientes pela cultura da cana-de-açúcar decorrente da grande produção de biomassa por área e da remoção de grande parte dessa massa no processo de colheita, tem levado a uma revisão periódica das adubações, as quais tem aumentado à medida que se esgota a fertilidade natural dos solos ou que se impõe a necessidade ou a conveniência do aproveitamento de áreas de baixa fertilidade natural (Alvarez et al., 1991), como por exemplo o uso de solos frágeis.

Segundo Almeida (2013), existem diversas fontes potássicas que podem ser utilizadas na adubação desta cultura, dentre estas os resíduos da indústria sucroalcooleira, como a vinhaça, e fertilizantes potássicos como o cloreto de potássio. Para Korndorfer & Oliveira (2005) o uso da vinhaça tem ficado restrito às propriedades agrícolas próximas às usinas de álcool e açúcar, uma vez que os custos com o transporte para regiões mais distantes são altos, não sendo assim viável economicamente. Portanto, em regiões distantes ou em propriedades de fornecedores de cana-de-açúcar para usinas, o uso de fertilizante potássico tem se restringido ao uso do composto KCl.

A não reposição deste nutriente no solo contribui para a redução da longevidade e produtividade do canavial (Schultz et al., 2010). Diversos estudos relatam o efeito da adubação potássica no crescimento e qualidade da cana-de-açúcar. Weber et al. (2001) verificaram que a aplicação de 100 kg ha^{-1} de K_2O na terceira soqueira promoveu a obtenção de 87 Mg ha^{-1} de colmos, e na quarta soqueira, aplicando 150 kg ha^{-1} de K_2O foi possível a obtenção de maior rendimento na produção de 95 Mg ha^{-1} . Espironello et al. (1987), Rosseto et al. (2004) e Moura et al. (2005), dentre outros, também verificaram tendência parecida quanto à reposição dos teores de potássio no solo e consecutiva melhora na produção.

Orlando Filho et al. (1993) avaliando a extração de macronutrientes para a produção de 100 t de colmos, obteve $\text{N} = 143 \text{ kg}$, $\text{P} = 19 \text{ kg}$ e $\text{K} = 174 \text{ kg}$, demonstrando a alta exigência de potássio para a nutrição da cana-de-açúcar, sendo este o nutriente mais limitante. Malavolta (1982) afirma que são utilizados cerca de 100 kg ha^{-1} de potássio para produção de 100 t de colmos, enquanto Franco et al. (2008) concluem que em solos com elevados teores de K^+ a exportação pelos colmos possa atingir 285 kg ha^{-1} . Dessa forma, recomenda-se, segundo Otto et al. (2010), realizar a aplicação desse nutriente conforme as plantas se desenvolvam visando reduzir as perdas no sistema solo-planta e aumentar a eficiência de utilização desse nutriente. Entretanto, no setor sucroalcooleiro a aplicação do

K^+ normalmente é feita de uma única vez, na ocasião do plantio, com dose que varia de 80 a 140 kg ha^{-1} de K_2O (Lana et al., 2004).

2.5 LIXIVIAÇÃO DE POTÁSSIO

A lixiviação consiste no movimento vertical de íons no perfil do solo para profundidades abaixo daquelas exploradas pelas raízes. Este processo preocupa tanto sob o ponto de vista econômico quanto ambiental, porque no caso do K^+ este é o segundo nutriente mais absorvido pela maioria das espécies vegetais. A lixiviação de K^+ depende de sua presença em concentrações significativas na solução do solo, razão por que aumenta com a adição de fertilizantes potássicos e da quantidade de água que percola no perfil (Ernani et al., 2007).

O potássio contido no solo pode ser lixiviado, adsorvido pelo solo ou absorvido pela planta. Os fatores que interferem no movimento do potássio no solo são, de acordo com Sparks & Huang (1985), a condutividade hidráulica, o pH do solo, a taxa de aplicação do potássio durante a adubação, a umidade do solo e a absorção pela planta. Segundo Oliveira Junior (2008), a reduzida capacidade de adsorção de nutrientes de solos arenosos implica em elevadas perdas de nutrientes por lixiviação, sobretudo quando adicionados via adubação mineral.

O potássio disponibilizado por meio da degradação da palha ou via adubação potássica pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo a depender da quantidade de chuva, da dose do nutriente aplicado e da textura do solo, o que faz com que o manejo da adubação potássica seja importante do ponto de vista tanto econômico quanto ambiental (Rosolem et al., 2006). Se o solo não for bem manejado o íon K^+ pode ser transportado como soluto, ou ainda movimentar-se através do perfil do solo com a água infiltrada (Silva et al., 2007). Para Oliveira et al. (2000) a translocação de solutos no solo constitui também o principal veículo de contaminação das águas subterrâneas.

Solos com maiores quantidades de argila e teor de matéria orgânica são mais aptos para adsorver o cátion potássio em virtude da predominância de cargas superficiais negativas. Esses fatores influenciam fortemente o processo de lixiviação e, conseqüentemente, os parâmetros de qualidade da água subterrânea. Nos solos arenosos ou com baixa capacidade de troca catiônica, como é o caso do Neossolo Quartzarênico, o efeito residual da aplicação de potássio pela adubação tende a ser menor devido à maior facilidade

de perdas do K^+ por lixiviação, ocorrendo também em solos ácidos pela competição entre esse íon e o H^+ pelos sítios de adsorção.

Diversos estudos tratam da movimentação e dinâmica do potássio em solos. Neves et al. (2009) avaliaram o gradiente de concentração de K^+ a partir da fertilização de cinco tipos de solos com diferentes doses de cloreto de potássio (KCl) e concluíram que a movimentação vertical do íon se dá de forma rápida. Ernani et al. (2007) avaliaram a movimentação do potássio em um Cambissolo Húmico e um Nitossolo Vermelho de acordo com a dose de KCl aplicada, mostrando que o nutriente atingiu bom aprofundamento no perfil do solo, porém sem proporcionar grande lixiviação. Também Werle et al. (2008) estudaram a dinâmica do K^+ no perfil de um Latossolo Vermelho Distrófico em função do teor de argila e do teor do nutriente no solo, concluindo que a adubação potássica aumentou as quantidades de K^+ percolado. Ainda Rosolem & Nakagawa (2001) afirmam que ocorre grande aumento na lixiviação de potássio quando se aplicam doses acima de 80 kg ha^{-1} de K_2O em solos de textura média.

Sabe-se também que adubações potássicas utilizadas para o cultivo da cana-de-açúcar podem exceder a capacidade de adsorção do K^+ pelos solos e plantas, tornando-o potencial fonte poluidora de solos e águas (Cunha et al., 1981; Gloeden et al., 1991; Meurer et al., 2000; Lyra et al., 2003; Silva et al., 2007). De acordo com Neves et al. (2009) independente do mecanismo de movimentação a água no solo é o atributo que controla a mobilidade de K^+ no solo. Portanto, a quantidade de água que entra no solo pode ser determinante para a lixiviação ou não do potássio presente no solo.

2.6 REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, J. A.; REINERT, D. J.; FIORIN, J. E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 275-280, 1994.

ALBUQUERQUE, J. A.; ALMEIDA, J. A.; GATIBONI, L. C.; ELTZ, F. L. F. Atividades agrícolas de produção em solos frágeis no sul do Brasil. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A. L.; GATIBONI, L. C. eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011. v. 7, p. 367-403.

ALMEIDA, H. J. **Nutrição potássica em soqueira de cana-de-açúcar colhida sem queima**. 2013. 79 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

ALVAREZ, R.; WUTKE, A. C. P.; ARRUDA, H. V.; VAN RAIJ, B.; GOMES, A. C.; ZINK, F. Adubação da cana-de-açúcar: XIV. Adubação NPK em Latossolo roxo. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 2, p. 359-374, 1991.

AMADO, T. J. C.; PROCHNOW, D. ELTZ, F. L. F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: El Nino e La Nina no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 819-827, 2002.

BARBER, S.A. A diffusion and mass-flow concept of soil nutrient availability. **Soil Science**, New Jersey, v. 93, p. 39-42, 1962.

BAYER, C.; MARTIN, N. L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C. N.; SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, New York, v. 65, n. 1, p. 1473-1478, 2001.

BERNARDI, A. C. C.; RASSINI, J. B.; FERREIRA, R. P. **Teores de potássio no solo, estado nutricional e produção de matéria seca de alfafa em função de doses e frequência da adubação potássica após dois anos de cultivo**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2012. Disponível em: <
<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/942625/1/PROCI2012.00195.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2015.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do Estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 657-668, 2000.

BERTSCH, P. M.; THOMAS, G. W. Potassium status of temperate regions soils. In: MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 132-162.

CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SILVA, G. P.; SILVA, I. R.; ASSIS, R. L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 1245-1255, 2013.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.

CASSOL, E. A.; LIMA, V. S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 1, p. 117-124, 2003.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar. **Chaiier Orstom**. Serie Pedologie, Paris, v. 26, n. 1, p. 37-50, 1991.

CORRÊA, A. A. M. O deserto de Jalapão. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 134-136, 1997.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I - physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, London, v. 19, n. 8, p. 155-165, 1981.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 485-493, 2001.

ERNANI, P. R.; BAYER, C. ALMEIDA, J. A.; Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 393-402, 2007.

ESPIRONELLO, A.; COSTA, A. A.; LANDELL, M. G. A.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; IGUE, T.; CAMARGO, A. P.; RAMOS, M. T.B. Adubação NK em três variedades de cana-de-açúcar em função de dois espaçamentos. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 2, p. 247-268, 1987.

FRANCO, H. C. J.; CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P. C. O.; VITTI, A. C.; OTTO, R.; FARONI, C. E.; SARTORI, R. H. & TRIVELIN, M. O. Acúmulo de nutrientes pela canaplanta. **STAB Açúcar, Álcool Subprodutos**, Piracicaba, v. 26, n. 1, p. 47-51, 2008.

FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 641-648, 2008.

FREITAS, I. C. **Atributos de um Neossolo Quartzarênico da pré-amazônia sob agroecossistema de produção familiar**. 2013. 83 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2013.

GLOEDEN, E.; CUNHA, R.C.A.; FRACCAROLI, M.J.B.; CLEARY, R.W. The behavior of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. **Water Science Technology**, London, v. 24, n. 11, p. 147-157, 1991.

GOMES, M. A. F.; SPADOTTO, C. A. Subsídio à avaliação de risco ambiental de agrotóxicos em solos agrícolas brasileiros. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2004. 5 p. (Comunicado Técnico, 11).

GOVES, G.; VANDAELE, K.; DESMET, P.; CAVALCANTI, A. C.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 45, n. 1, p. 469-478, 1994.

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

KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JÚNIOR, W.; CARVALHO FILHO, A. Cerrados: solos, aptidão e potencialidade agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO E

CONSERVAÇÃO DO SOLO NO CERRADO, 1990, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1992. p. 1-31.

KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, L. A., 2005. O potássio na cultura da cana-de-açúcar. In: Yamada, T.; Roberts, T.L. (Eds.), **Potássio na agricultura brasileira**. ESALQ/USP, Piracicaba, p. 469-490.

LANA, R. M. Q.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; KORNDORFER, G. H.; MACIEL JUNIOR, V. A. Parcelamento da adubação potássica na cana-planta. **STAB Açúcar, Álcool Subprodutos**, Piracicaba, v. 23, n. 1, p. 28-31, 2004.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.

MALAVOLTA, E. **Potássio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. Piracicaba, Potafos, 1982. (Boletim Técnico, 4)

MALAVOLTA, E. Importância da adubação na qualidade dos produtos: função dos nutrientes na planta. In: SÁ, M. E.; BUZZETI, S. **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p. 19-44.

MELO, G. W. B. **Mineralogia, cinética e disponibilidade de potássio em solos intemperizados do Rio Grande do Sul**. 1998. 154 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Ciência do Solo) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.

MEURER, E. J.; ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 1, p. 375-382, 1993.

MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. Poluentes do solo e do ambiente. In: Meurer, E. J. (ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, v. 1 p. 151-168, 2000.

MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. M.; LOVATO, T.; FERNANDES, F. F.; DEBARBA, L. Manejo de solos e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: CURI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVAREZ, V. eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248.

MOURA, M. V. P. S.; FARIAS, C. H. A.; AZEVEDO, C. A. V.; NETO, J. D.; AZEVEDO, H. M.; PORDEUS, R. V. Doses de adubação nitrogenada e potássica em cobertura na cultura da cana-de-açúcar, primeira soca, com e sem irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 753-760, 2005.

NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Dinâmica de liberação de potássio dos solos da região sul do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 15, n. 1, p. 43-47, 1991.

NEVES, L. S. das; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de Potássio em Solos Decorrente da Adição de Doses de Cloreto de Potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 25-32. 2009.

OLIVEIRA, V.; LUDWICK, A. E.; BEATTY, M. T. Potassium removed from some southern brazilian soils by exhaustive cropping and chemical extractions methods. **Soil Science Society of America**, New York, v. 35, n. 1, p. 763-767, 1971.

OLIVEIRA, L. F.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; RUIZ, H. A.; LIMA, L. A. Transporte de solutos no solo e no escoamento superficial: I - desenvolvimento do modelo e simulação do movimento de água e escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 63-69, 2000.

OLIVEIRA, J. R. A.; MENDES, I. C.; VIVALDI, L. Carbono da biomassa microbiana em solos de cerrado sob vegetação nativa e sob cultivo: avaliação dos métodos fumigação-incubação e fumigação-extração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 863-871, 2001.

OLIVEIRA JUNIOR, A. C.; SILVA, C. A.; CURI, N.; GUILHERME, L. R. G.; RANGEL, O. J. P. Indicadores químicos de qualidade da matéria orgânica de solo da sub-bacia do rio das mortes sob manejo diferenciais de cafeeiro. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1733-1737, 2008.

ORLANDO FILHO, J.; BOARETTO, A. E.; GLÓRIA, N. A. Adubação potássica em cana-de-açúcar: I – Efeitos na produtividade agrícola, qualidade da matéria-prima e longevidade. **STAB Açúcar, Alcool Subprodutos**, Piracicaba, v. 12, n. 1, p. 22-26, 1993.

OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n. 1, p.1137-1145, 2010.

PRADO, H. **Pedologia fácil: Aplicações na agricultura**. Piracicaba, 2008. 145 p.

REATTO, A.; CORREIA, J. R.; SPERA, S. T. Solos do bioma cerrado: aspectos pedológicos. p. 47-86. In: Sano, S.M. & S.P. Almeida (eds.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, Embrapa Cerrados. 1998.

RESCK, D. V. S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999. **Resumos...** Brasília, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J. Residual and anual potassic fertilization for soybeans. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Netherlands, v. 59, n. 1, p. 143-149, 2001.

ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, 2006.

ROSSETTO, R., SPIRONELLO, A., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A. Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com doses de Potássio. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.

ROVEDDER, A. P. M.; ELTZ, F. L. F. Revegetação com plantas de cobertura em solos arenizados sob erosão eólica no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 315-321, 2008.

SANTOS, H. G.; ALMEIDA, J. A.; OLIVEIRA, J. B.; LUMBRERAS, J. F.; ANJOS, L. H. C.; COELHO, M. R.; JACOMINE, P. K.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, V. A. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2013. 353 p.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SOLOS ARENOSOS – SBSA. Disponível em: <http://www.unoeste.br/site/destaques/outros_destaque/SBSA2014.aspx>. Acesso em: 27 mar. 2014.

SCHULTZ, N.; LIMA, E.; PEREIRA, M. G.; ZONTA, E. Efeito residual da adubação na cana-planta e da adubação nitrogenada e potássica na cana-soca colhidas com e sem a queima da palhada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 811-820, 2010.

SILVA, D. N.; MEURER, E.; KAMPF, N.; BORKET, C. M. Mineralogia e formas de potássio em dois Latossolos do Estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 433-439, 1995.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SILVA, D. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; OLIVEIRA, A. H.; SOUZA, F. S.; MARTINS, S. G.; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e florestas nativa. **Revista de Estudos Ambientais** (online), Blumenau, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. 2005. **Areias Quartzosas / Neossolo Quartzarênico**. Disponível em: <www.embrapa.com.br>. Acesso em: 12 jun. 2015.

SPARKS, D. L.; HUANG, P. M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 201-276.

SPERA, S. T.; REATTO, A.; MARTINS, E. S.; CORREIA, J. R.; CUNHA, T. J. F. **Solos areno-quartzosos no Cerrado: características, problemas e limitações ao uso.** Planaltina: Embrapa Cerrados. 1999. 48p.

STEINER, F. **Formas de potássio em solos do Estado do Paraná e sua disponibilidade para as plantas em cultivos sucessivos.** 2010. 87 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Marechal Cândido Rondon, 2010.

VAN RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285 p.

VEDUIN, J. V. R. **Estimativa da disponibilidade de potássio em solo arenoso.** 1994. 43 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1994.

VILLANI, E. M. A.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; FONTES, L. E. F.; NEVES, J. C. L. Difusão de fósforo em solos com diferentes texturas e níveis de umidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 17, n. 1, p. 343-347, 1993.

WEBER, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; BARELA, J. D. Recuperação da produtividade de soqueiras de cana-de-açúcar com adubação NPK. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, n. 1, p. 73-77, 2001.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 2297-2305, 2008.

WOHLENBERG, E. V.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 891-900, 2004.

ZUO, X.; ZHAO, H.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.; WANG, S.; DRAKE, S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. **Soil & Tillage Research**, v. 99, n. 1, p. 202-212, 2008.

3 MOVIMENTAÇÃO DE POTÁSSIO EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB CANA-DE-AÇÚCAR E CERRADO: UMA AVALIAÇÃO BIANUAL EM MINEIROS – GO

RESUMO

Nos solos da região tropical os teores naturais de potássio normalmente são baixos tornando-se necessária a complementação deste nutriente com fertilizantes para assim melhorar a produtividade agrícola. Porém, a aplicação contínua deste nutriente pode exceder a capacidade de adsorção do solo fazendo com este seja lixiviado, ficando desta forma indisponível para as plantas. Objetivou-se neste trabalho avaliar a movimentação de potássio em Neossolo Quartzarênico cultivado com a cana-de-açúcar ou sob vegetação de Cerrado. O estudo foi realizado na Fazenda Araucária situada no município de Mineiros – GO. Como tratamento foram consideradas duas faixas paralelas de um Neossolo Quartzarênico dispostas ao longo da vertente, sendo uma com vegetação nativa de Cerrado e outra com cultivo de cana-de-açúcar. Em cada uma das faixas foi estabelecido um transecto com dez pontos de amostragem, espaçados de 30 m entre si, onde repetiu-se a coleta de amostras em cada ponto. Amostras compostas foram coletadas nas duas áreas estudadas nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 100-120 e 160-180 cm. Após a coleta, as amostras foram ensacadas e devidamente identificadas, sendo então encaminhadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Solos – RJ para análise. As coletas ocorreram em novembro de 2011 e 2012, período que significa início da estação chuvosa na região de estudo e abril de 2012 e 2013, período correspondente ao final da estação chuvosa, totalizando dois anos de avaliação. Em laboratório, as amostras foram submetidas à análise da capacidade de troca catiônica, pH e matéria orgânica, além de potássio. O íon potássio teve comportamento distinto para o solo cultivado com cana-de-açúcar em relação ao solo sob Cerrado. A matéria orgânica, o pH e a capacidade de troca catiônica pouco influenciaram na retenção do K^+ no Neossolo Quartzarênico, e verificou-se acréscimo do nutriente em camadas superiores a 100 cm de profundidade, tornando-se esse um resultado preocupante tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental.

Palavras-chave: contaminação, águas subterrâneas, solos frágeis, adubação potássica.

ABSTRACT

In tropical soils the natural levels of potassium are usually low which means fertilizer supplements are also necessary if agricultural productivity is to be improved. However, the continued application of potassium could exceed the adsorption capacity of the soil and lead to leaching and consequently be unavailable for the plants. The aim of this study was to evaluate the potassium movement in Quartz-sand Neosols cultivated with sugarcane or under

Cerrado vegetation. It was conducted in the Araucária farm in the municipality of Mineiros, Goiás. Two parallel stretches of a Quartz-sand Neosols along a slope were studied, one with native Cerrado vegetation and the other with sugarcane cultivation. In each stretch a transect with ten sampling points, 30 m apart, was set up and samples were collected at each point. Composite samples were collected in the two areas studied at depths of 0-20, 20-40, 40-60, 100-120 and 160-180 cm. After collection, the samples were bagged and appropriately identified, and then forwarded for analysis to the Embrapa Soils Laboratory in Rio de Janeiro. The collections took place in November 2011 and 2012, at the beginning of the rainy season in the region under study and in April 2012 and 2013, at the end of the rainy season yielding a two-year evaluation period. In the laboratory, the samples were analyzed for cation exchange capacity, pH and organic matter, as well as for potassium. The potassium ion behaved differently in the soil cultivated with sugarcane and that under Cerrado vegetation. Organic matter, pH and cation exchange capacity barely influenced K^+ retention in Quartz-sand Neosols. An increase in the nutrient was seen in layers of over 100 cm in depth, a disturbing result from both the economic as environmental points of view.

Key words: contamination, groundwater, fragile soils, potassium fertilization.

3.1 INTRODUÇÃO

Os solos da região dos Cerrados estão sendo incorporados aos sistemas de produção da cultura da cana-de-açúcar e estas mudanças deverão influenciar em vários níveis a qualidade e a sustentabilidade dos recursos naturais, principalmente o solo e a água. Um destes solos é o Neossolo Quartzarênico (RQ) que, segundo Zuo et al. (2008), são conhecidos por serem ecologicamente frágeis, por apresentarem, dentre outras características, baixa capacidade de retenção de água e nutrientes para as plantas, além de elevada erodibilidade.

Sem a adoção de técnicas de manejo adequadas neste tipo de solo pode ocorrer o risco de contaminação do lençol freático por nutrientes, além da diminuição da disponibilidade destes para as plantas. Por serem em grande parte solos mais arenosos, os RQs se não forem bem manejados tendem a sofrer perdas significativas em seus atributos, sejam eles físicos, químicos ou biológicos, diminuindo assim a qualidade e capacidade produtiva. Sabe-se que o cultivo contínuo e o preparo do solo para o plantio podem provocar diversas alterações nas propriedades físicas (Cerri et al., 1991) e químicas do solo (Goves et al., 1994).

Para Alvarez et al. (1991) a alta necessidade de nutrientes da cultura da cana-de-açúcar decorrente da elevada produção de biomassa por área e da remoção de grande parte dessa massa vegetal no processo da colheita tem levado a uma revisão periódica das adubações, com alterações para mais, à medida que se esgota a fertilidade natural dos solos ou que se impõe a necessidade ou a conveniência do aproveitamento de áreas de baixa fertilidade natural.

De acordo com Anda (2008) a cultura da cana-de-açúcar consome aproximadamente 13% do total de fertilizantes utilizados anualmente no Brasil com um total de 2,9 Mt, inferior somente ao consumido pelas culturas de soja (7,4 Mt) e milho (4,4 Mt). O principal fertilizante com potássio (K^+) utilizado no Brasil é o KCl que contém aproximadamente 60% de K_2O (Otto et al., 2010).

Nos solos da região tropical, os teores naturais de potássio normalmente são baixos tornando necessária a complementação deste nutriente com fertilizantes para assim possibilitar melhor produtividade. Para Franco et al. (2007) o K^+ é o nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar, sendo então de extrema importância o correto manejo deste nutriente para se ter boa produtividade na colheita.

Porém, além da absorção pelas plantas, parte do K^+ pode ser perdido para camadas inferiores do solo pela movimentação vertical do íon. Trabalhos de Rosolem & Nakagawa (2001), Ernani et al. (2007), Silva et al. (2007), Werle et al. (2008) e Neves et al. (2009) mostram que o K^+ adicionado via adubação potássica pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose do nutriente aplicada e da textura do solo.

Como visto, diversos trabalhos foram realizados mostrando a movimentação do K^+ para camadas inferiores do solo. Porém, pouco se conhece sobre o comportamento do potássio em Neossolos Quartzarênicos sob cultivo da cana-de-açúcar. Por isso, foi objetivo desta pesquisa avaliar a lixiviação de potássio em Neossolo Quartzarênico cultivado com a cana-de-açúcar em comparação com o mesmo solo sob vegetação natural de Cerrado.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em área da Fazenda Araucária pertencente a Empresa BrasilAgro, que se situa na porção sudoeste do município de Mineiros, Estado de Goiás, nas coordenadas $17^{\circ}47'31.15''$ S e $53^{\circ}00'10.04''$ O (Figura 3.1.a), A área foi selecionada, entre

outros, devido à grande expansão do cultivo da cana-de-açúcar na região do sudoeste Goiano. O clima, segundo classificação de Köppen, é caracterizado como Clima Tropical Chuvoso (Aw), com seis meses de período chuvoso (novembro a abril) e seis meses sem quantidades expressivas de precipitação (maio a outubro). No período de novembro de 2011 a abril de 2012 a precipitação ocorrida foi de 1.266 mm. Já entre os meses de novembro de 2012 e abril de 2013 a quantidade de precipitação foi de 1.705 mm.

Como tratamento foram consideradas duas faixas paralelas de um Neossolo Quartzarênico dispostas ao longo da vertente, sendo uma com vegetação nativa de Cerrado (RQ Cerrado, testemunha) e outra com cultivo de cana-de-açúcar (RQ Lavoura), conforme Figura 3.1.b. Em cada uma das faixas foi estabelecido um transecto com dez pontos de amostragem, espaçados de 30 m entre si, onde repetiu-se a coleta de amostras compostas em cada um desses pontos.

No RQ Lavoura a cana-de-açúcar foi plantada em março de 2008 com adubação inicial de 500 kg do formulado NPK 05-05-05. Os cortes realizados até o final desta pesquisa foram em agosto de 2010, maio de 2011 e agosto de 2012, com produtividades de 160, 140 e 110 t ha⁻¹, respectivamente. As adubações ocorreram após cada corte, ou seja, em setembro de 2010, julho de 2011 e outubro de 2012, com o formulado NPK 18-00-27 nas quantidades de 700, 570 e 480 kg, respectivamente.



Figura 3.1. (a) Localização do município de Mineiros; (b) Localização da área de estudo. T1: Tratamento 1 (Neossolo Quartzarênico com o cultivo da cana-de-açúcar); T2: Tratamento 2 (Neossolo Quartzarênico sem lavoura ou com cobertura vegetal de Cerrado)

Amostras compostas foram coletadas nas duas áreas estudadas com trado holandês nas profundidades de 0-20, 20-40, 40-60, 100-120 e 160-180 cm. As coletas ocorreram em novembro de 2011 e 2012, período que significa início da estação chuvosa na

região de estudo e, em abril de 2012 e 2013, período correspondente ao final da estação chuvosa, totalizando dois anos de avaliação. Após a coleta, as amostras foram ensacadas e devidamente identificadas sendo então encaminhadas ao Laboratório de Solos da Embrapa Solos – RJ para análise.

O íon potássio foi extraído em laboratório das amostras de solo provenientes com solução Mehlich-1 com relação solo:extrator 1:5 e sua concentração foi determinada por ICP-OES para ambos os procedimentos metodológicos. Matéria orgânica (MO) foi determinada via oxidação com dicromato de potássio em meio sulfúrico e leitura por titulação. Também foram determinados os teores de areia total, silte e argila total (pelo método da pipeta), a capacidade de troca catiônica (CTC) e o pH em água (com medição do pH eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido de 1:2,5). Todas as determinações seguiram os procedimentos descritos por Embrapa (1997). Após determinação dos valores foi realizada a análise dos dados e teste t ($\alpha = 0,05$) para comparar as médias. Também foi realizada correlação de Pearson entre potássio com matéria orgânica ($K^+ \times MO$), pH ($K^+ \times pH$) e capacidade de troca catiônica ($K^+ \times CTC$) para os dois usos de solo (RQ Lavoura e RQ Cerrado), que encontram-se no Apêndice A.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes aos teores médios de potássio em cada camada de solo estudada para os dois tipos de uso do solo (RQ Lavoura e RQ Cerrado) são apresentados na Tabela 3.1.

Observa-se que os teores de potássio diminuíram em profundidade independentemente do uso do solo e do período de amostragem. Fesch et al. (1998) e Padilla et al. (1999) ponderam que quanto maior a disponibilidade de água no solo associada a precipitação natural ou irrigação, mais rápido será o movimento de nutrientes no perfil do solo. No caso da área de estudo, chuvas intensas são comuns durante o ano, as quais facilitariam o transporte de potássio para as camadas inferiores do solo ou ainda sua perda por escoamento superficial.

Ao final das chuvas (abril de 2012 e abril de 2013) nota-se redução dos teores de potássio nas camadas superiores de 0-20 e 20-140 cm para o RQ Lavoura em relação ao período anterior (novembro de 2011 e novembro de 2012). Em contrapartida, nota-se também o aumento dos teores de potássio para as camadas inferiores do solo (40-60, 100-

120 e 160-180 cm) em comparação do final das chuvas (abril) com o final do período seco (novembro), de acordo com a Tabela 3.1. Este fato indica a movimentação vertical do nutriente estudado, independente da extração ocorrida pela cultura estudada. Já para o RQ Cerrado não é encontrada a mesma tendência.

Tabela 3.1. Média dos teores de potássio (mg dm^{-3}) em quatro épocas de estudo sob dois usos diferentes: Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar e sob Cerrado

Camada (cm)	Nov /11 ¹	Abr /12	Nov/12	Abr/13
	RQ Lavoura ³			
0-20	31,0 a ²	10,4 c	24,1 b	11,6 c
20-40	16,2 a	10,4 b	10,4 b	9,2 b
40-60	7,2 a	10,4 a	7,6 a	9,2 a
100-120	2,8 b	4,8 ab	3,2 b	6,8 a
160-180	0,8 a	2,8 a	3,2 a	3,8 a
RQ Cerrado				
0-20	17,8 b	23,6 a	20,0 ab	17,1 b
20-40	11,6 a	13,5 a	11,6 a	10,4 a
40-60	8,4 a	7,2 ab	9,2 a	5,2 b
100-120	2,8 a	4,0 a	4,0 a	1,2 b
160-180	3,6 a	3,2 a	4,0 a	0,0 b

¹ Épocas de amostragem: novembro de 2011, abril de 2012, novembro de 2012 e abril de 2013; ² Letras iguais na horizontal significam que não houve diferença significativa pelo teste t à 5%; ³ RQ Lavoura: Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar, RQ Cerrado: Neossolo Quartzarênico sob Cerrado.

Na camada 0-20 cm do RQ Lavoura nota-se que houve diferença significativa entre as épocas de amostragem em que maiores teores de potássio foram encontrados para novembro de 2011 ($31,0 \text{ mg dm}^{-3}$) seguido de novembro de 2012 ($24,1 \text{ mg dm}^{-3}$) (Tabela 3.1). Os valores observados em abril de 2012 ($10,4 \text{ mg dm}^{-3}$) e 2013 ($11,6 \text{ mg dm}^{-3}$) não diferiram entre si, porém diferem dos demais tratamentos. Portanto, os resultados encontrados mostram que a adubação ocorrida antes de cada amostragem de novembro teve influência significativa nos resultados.

A redução considerável de potássio para a camada 0-20 cm do RQ Lavoura nas épocas após o período chuvoso (abril) pode ser devido ao consumo do nutriente pela cultura da cana-de-açúcar ou devido a movimentação de potássio para camadas inferiores do solo por efeito de sua interação com as águas da chuva. Segundo Resende et al. (2006) o potássio na forma de KCl (fonte de potássio utilizada na adubação da fazenda estudada) possui solubilidade de 58%, o que, aliado à precipitação ocorrida na época do estudo (1.266 mm

entre novembro de 2011 e abril de 2012, e 1.705 mm entre novembro de 2012 e abril de 2013), pode ter contribuído para a perda de K^+ na camada superior do solo por lixiviação. Na adubação, o KCl é depositado na superfície do solo o que favorece o acúmulo nas camadas superficiais, conforme verificado nesse estudo.

Além da adubação, a palhada deixada sobre o solo após o corte da cana-de-açúcar pode ter diversas funções no solo, como protegê-lo contra o impacto da chuva, além de melhorar suas propriedades físicas e químicas. Para o potássio, por este ser muito móvel e não estar ligado a compostos estruturais da planta (Rosseto & Dias, 2005), o nutriente passa rapidamente da palhada para o solo e pode ser fornecido para a cultura. Como as quantidades de K^+ na palhada são altas, Demattê (2004) calcula que pode-se reduzir o K^+ do fertilizante na base de 40 kg de K_2O para cada 10 toneladas de palha presente.

As concentrações de potássio (0-20 cm) nos dez pontos amostrados do RQ Lavoura para as quatro épocas estudadas podem ser vistas na Figura 3.2. Nota-se que nas épocas logo após a adubação ocorrem maiores teores de K^+ no solo (novembro de 2011 e novembro de 2012), valor este que é reduzido após o período chuvoso (abril de 2012 e abril de 2013).

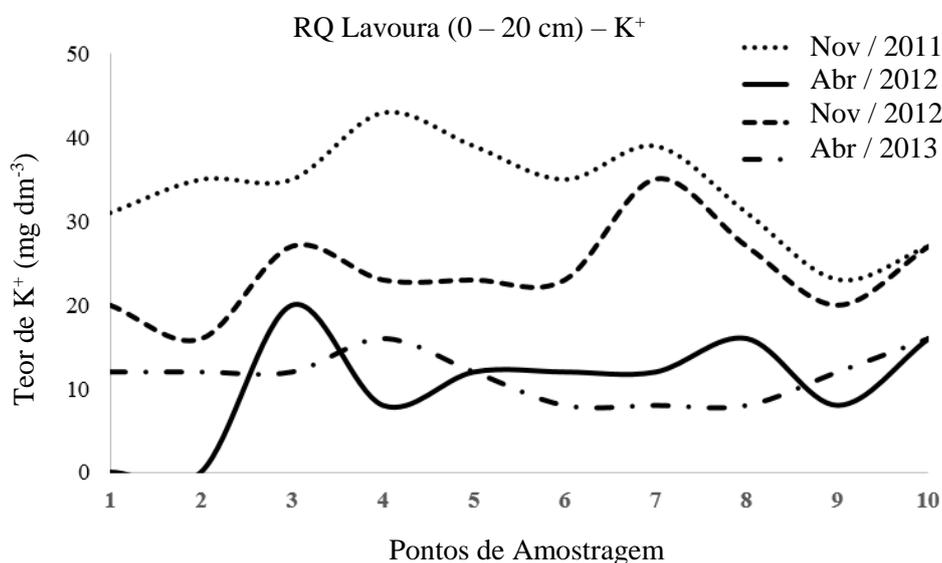


Figura 3.2. Teores de potássio na camada 0-20 cm de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar em quatro épocas de amostragem

Para a camada 20-40 do RQ Lavoura apenas a primeira época amostrada (novembro de 2011) mostrou-se diferente estatisticamente das demais (Tabela 3.1). Portanto, caso tenha havido movimento vertical de potássio no perfil do solo durante o

período amostrado este não foi suficiente para alterar significativamente os teores deste nutriente nesta camada do solo.

Ao contrário das camadas 0-20 e 20-40 cm, nas camadas 40-60, 100-120 e 160-180 cm verificou-se aumento nos teores de potássio após o período chuvoso no RQ Lavoura, mesmo este resultado não sendo estatisticamente significativo. O fato de ter ocorrido incremento de potássio em camadas inferiores do solo após cada época chuvosa (abril) em relação ao período seco (novembro) é preocupante, devido a possibilidade de movimentação de K^+ para camadas ainda mais inferiores do solo o que pode contribuir para a contaminação das águas subterrâneas (Cunha et al., 1981; Meurer et al., 2000; Oliveira et al., 2000; Lyra et al., 2003; Silva et al., 2007).

Para a camada de 0-20 cm do RQ Cerrado (Figura 3.3) não foi observada a mesma tendência do RQ Lavoura, ou seja, não ocorreram grandes diferenças nos teores de potássio entre as épocas de amostragem (Tabela 3.1). A pequena variação no teor de potássio no RQ Cerrado para a camada superior estudada em todos os períodos de amostragem pode ser explicada pela incorporação de potássio ao solo por meio da decomposição de substratos orgânicos associados a flora do Cerrado ou ainda pela simples lavagem de K^+ desses vegetais. Nesse caso, a ciclagem de potássio na interface solo-planta é fortemente controlada pela vegetação natural. Sugere-se que parte do potássio incorporado ao solo durante o período chuvoso pode ser proveniente de folhas que caem sobre o solo durante o período seco (abril a setembro) e são decompostas e incorporadas ao solo na forma de matéria orgânica ou ser proveniente das estruturas celulares de plantas vivas por processo de lavagem pela chuva durante o período chuvoso. Esse processo rápido de ciclagem de substratos orgânicos é característico de ambientes tropicais, podendo ser até 10 vezes mais rápido do que em regiões temperadas (Lal & Logan, 1995), e seria responsável pela manutenção do teor de potássio na camada 0-20 cm do solo sob Cerrado independentemente do período amostrado.

Na camada 20-40 cm não houve diferença significativa para nenhuma das épocas amostradas no RQ Cerrado (Tabela 3.1). As camadas 100-120 e 160-180 cm do RQ Cerrado tiveram grande redução dos teores de potássio na última época amostrada (abril de 2013), diferindo significativamente das demais épocas amostradas. Aparentemente esse decréscimo nos teores de K^+ pode estar associado a um aumento na lixiviação do nutriente promovido pela maior pluviosidade ocorrida no período chuvoso entre os anos de 2012 e 2013 (1.705 mm) em relação ao mesmo período entre os anos de 2011 e 2012 (1.266 mm).

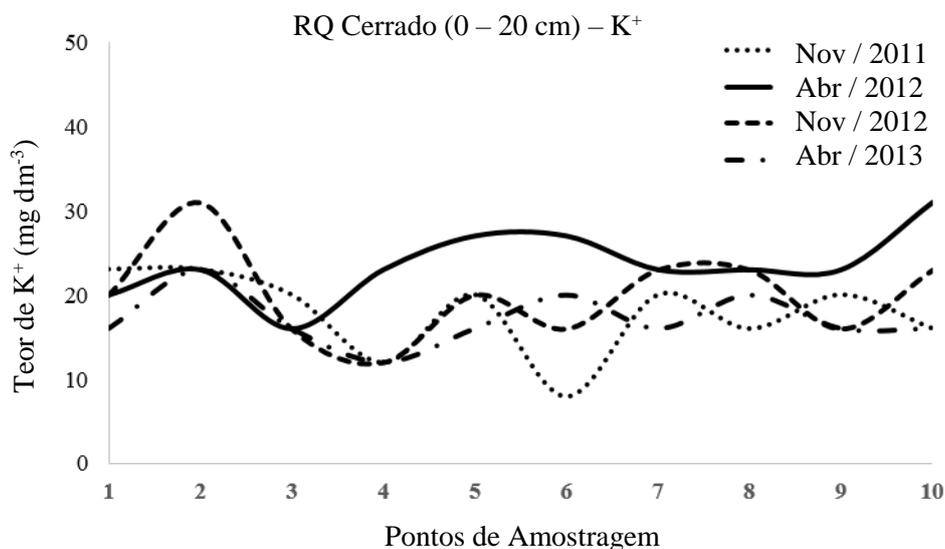


Figura 3.3. Teores de potássio na camada 0-20 cm de um Neossolo Quartzarênico sob Cerrado em quatro épocas de amostragem

Os valores médios da matéria orgânica (MO), pH e capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos estudados são dispostos nas Tabelas 3.2, 3.3 e 3.4, respectivamente. De acordo com Chivenge et al. (2007), o teor de matéria orgânica no solo é um dos atributos que melhor representa a qualidade do solo e que pode ser diretamente alterado pelas práticas de manejo. Para Caetano et al. (2013) a avaliação da MO deve ter como referência os solos em condições não perturbadas, ou seja, sob vegetação natural, já que no curto prazo nesses solos não ocorrem grandes variações no seu conteúdo de MO.

Observou-se que o teor de matéria orgânica na lavoura de cana-de-açúcar (RQ Lavoura) foi maior do que no solo sob Cerrado (RQ Cerrado) em todas as épocas avaliadas (Tabela 3.2).

Caetano et al. (2013) encontraram valores parecidos ao desta pesquisa ao avaliarem a MO de um Neossolo Quartzarênico sob Cerrado e sob culturas de milho e soja. Segundo Frazão et al. (2010), a incorporação de resíduos vegetais após a colheita e a aplicação de corretivos e fertilizantes são fatores que mantêm ou incrementam a matéria orgânica no solo. Este fato é importante principalmente para os Neossolos Quartzarênicos tendo em vista a grande deficiência em MO apresentados por estes. No RQ Lavoura a MO pouco diferiu entre as épocas estudadas, fato também ocorrido para o RQ Cerrado. No presente estudo não foi observada qualquer correlação entre a matéria orgânica e o potássio, sejam estas para as profundidades (0-20, 20-40, 40-60, 100-120 e 160-180 cm), épocas de

amostragem (nov/11, abr/12, nov/12 e abr/13) ou ainda para o tipo de uso do solo (RQ Lavoura ou RQ Cerrado).

Tabela 3.2. Matéria orgânica do solo (g Kg^{-1}) nas diferentes épocas amostradas para diferentes profundidades e diferentes usos do Neossolo Quartzarênico (RQ Lavoura e RQ Cerrado)

Época ¹	Profundidade (cm)				
	0 – 20	20 – 40	40 – 60	100 – 120	160 – 180
RQ Lavoura					
Nov/11	10,4 ab ²	6,1 a	5,0 a	3,0 a	2,1 ab
Abr/12	11,7 a	5,8 a	4,3 ab	2,8 a	1,9 bc
Nov/12	9,4 b	6,4 a	4,8 ab	2,9 a	2,3 a
Abr/13	10,1 ab	5,8 a	3,9 b	2,1 a	1,6 c
RQ Cerrado					
Nov/11	5,2 ab	3,0 a	2,5 a	1,5 a	1,0 ab
Abr/12	5,9 a	2,9 a	2,2 ab	1,4 a	0,9 bc
Nov/12	4,7 b	3,2 a	2,4 ab	1,5 a	1,1 a
Abr/13	5,0 ab	2,9 a	1,9 b	1,1 a	0,8 c

¹ Épocas de amostragem: novembro de 2011, abril de 2012, novembro de 2012 e abril de 2013;

² Letras iguais na vertical para mesmos atributos nas diferentes épocas não diferem entre si pelo teste t ($p < 0,05$).

Outro fator muito importante para a retenção de cátions em solos arenosos é a CTC deste. Segundo Araújo et al. (2007) e Campos et al. (2011) com a elevação da matéria orgânica do solo ocorre também o aumento da capacidade de troca catiônica dos solos sendo esta essencial para reter os cátions e aumentar a fertilidade do solo.

Para Frazão et al. (2008) e Carneiro et al. (2009) esse efeito é mais pronunciado nos RQs, onde a predisposição ao processo de lixiviação de cátions e a perda da MO é maior. Porém, como os teores de matéria orgânica tanto no RQ Lavoura quanto no RQ Cerrado foram baixos (Tabela 3.2), naturalmente os valores de CTC também o foram (Tabela 3.3). Portanto, mesmo que sutil, o aumento nos estoques de matéria orgânica do Neossolo sob Cerrado foi suficiente para ocasionar aumento na capacidade de troca de cátions deste solo em relação ao RQ Lavoura, o que segundo Ciotta et al. (2003) pode acarretar em maior quantidade de sítios de adsorção gerando assim teores maiores de K^+ no solo. Assim como para a matéria orgânica, não houve correlação entre capacidade de troca catiônica e o potássio em grande parte das amostras.

Tabela 3.3. Capacidade de troca catiônica (CTC) nas diferentes épocas amostradas para diferentes profundidades e diferentes usos do Neossolo Quartzarênico (RQ Lavoura e RQ Cerrado)

Época ¹	Profundidade (cm)				
	0 – 20	20 – 40	40 – 60	100 – 120	160 – 180
RQ Lavoura					
Nov/11	5,39 b ²	4,47 a	3,70 a	2,48 a	2,23 a
Abr/12	5,90 a	3,66 b	3,04 b	2,18 ab	1,78 b
Nov/12	5,30 b	3,19 bc	2,62 bc	1,73 c	1,33 c
Abr/13	5,70 a	3,91 b	2,48 c	1,89 bc	1,40 c
RQ Cerrado					
Nov/11	5,14 a	3,89 a	3,00 ab	2,14 a	1,89 ab
Abr/12	5,49 a	3,48 a	3,01 ab	2,12 a	1,60 b
Nov/12	5,13 a	3,62 a	3,28 a	2,33 a	1,98 a
Abr/13	5,31 a	3,46 a	2,76 b	2,00 a	1,61b

¹ Épocas de amostragem: novembro de 2011, abril de 2012, novembro de 2012 e abril de 2013;

² Letras iguais na vertical para mesmos atributos nas diferentes épocas não diferem entre si pelo teste t (p<0,05).

Os valores de pH foram no geral maiores para o RQ Lavoura (Tabela 3.4) do que para o RQ Cerrado. Este resultado foi influenciado pela calagem ocorrida no ano de 2008 no solo sob cultivo que teve maior efeito nas camadas superficiais em razão da baixa mobilidade de Ca no perfil do solo.

Tabela 3.4. Valores médios do pH (H₂O) nas diferentes épocas amostradas para diferentes profundidades e diferentes usos do Neossolo Quartzarênico (RQ Lavoura e RQ Cerrado)

Época ¹	Profundidade (cm)				
	0 – 20	20 – 40	40 – 60	100 – 120	160 – 180
RQ Lavoura					
Nov/11	6,3 a ²	5,6 a	5,2 a	4,8 a	5,0 a
Abr/12	6,1 a	5,8 a	5,3 a	4,8 a	4,9 a
Nov/12	6,1 a	5,6 a	5,2 a	4,8 a	5,1 a
Abr/13	6,2 a	6,0 a	5,5 a	5,1 a	5,1 a
RQ Cerrado					
Nov/11	4,5 a	4,4 a	4,5 b	5,2 a	5,3 a
Abr/12	4,6 a	4,8 a	4,7 ab	4,9 bc	4,9 b
Nov/12	4,7 a	4,9 a	4,7 ab	4,8 c	4,9 b
Abr/13	4,6 a	4,8 a	4,9 a	5,1 ab	5,2 a

¹ Épocas de amostragem: novembro de 2011, abril de 2012, novembro de 2012 e abril de 2013;

² Letras iguais na vertical para mesmos atributos nas diferentes épocas não diferem entre si pelo teste t (p<0,05).

Houve retenção de K⁺ em condições distintas de pH, portanto o pH não influenciou a retenção do K⁺ no solo estudado, diferentemente do que é reportado por

Mascarenhas et al. (1988). Tanto o pH (Mascarenhas et al., 1988), quanto a matéria orgânica (Caetano et al., 2013) e a capacidade de troca catiônica (Ciotta et al., 2003) podem influenciar a retenção do potássio no solo. Porém, nenhum dos três atributos apresentou correlação com o teor de potássio no solo, conforme Apêndice A.

A partir dos resultados obtidos a movimentação de potássio no solo deve ser, em parte, evitada a partir do parcelamento das doses aplicadas de potássio na cana-de-açúcar em Neossolo Quartzarênico, principalmente em regiões sujeitas a fortes chuvas, o que ocorre em diversas regiões cultivadas no Brasil, e também no Cerrado

Portanto, o parcelamento das doses aplicadas de potássio na cultura da cana-de-açúcar deve ser indicado para Neossolo Quartzarênico para reduzir as perdas pela lixiviação, principalmente em regiões e épocas sujeitas a fortes chuvas, como é o caso de diversas regiões cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil, ocorrendo também no Cerrado e na área estudada. No entanto, segundo Rossetto & Dias (2005) o parcelamento das doses de potássio na cana-de-açúcar não é uma prática comumente observada pois representa operação adicional, o que dificulta o gerenciamento em grandes áreas e aumento no custo da produção.

3.4 CONCLUSÕES

1. O íon potássio teve comportamento distinto para o solo cultivado com cana-de-açúcar em relação ao solo sob cerrado;

2. A cultura da cana-de-açúcar favorece a diminuição dos teores de potássio na camada arável do Neossolo Quartzarênico indicando a necessidade de reposição contínua deste nutriente por meio do uso de fertilizantes;

3. Em solo sob cerrado as variações nas concentrações de potássio ao longo das épocas parecem ser controladas pelo ciclo natural de alterações na vegetação, onde há um relativo balanço entre o consumo do nutriente durante o período seco e uma adição deste ao solo durante o período chuvoso;

4. A matéria orgânica, o pH e a capacidade de troca catiônica pouco influenciaram na retenção do íon potássio no Neossolo Quartzarênico estudado;

5. Após as épocas de chuva na região de Mineiros houve incremento de potássio nas camadas estudadas a partir de 40 cm da superfície (em relação ao período anterior, novembro) para o Neossolo Quartzarênico sob lavoura, indicando uma possível movimentação do íon estudado para camadas mais profundas do solo.

3.5 REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, R.; WUTKE, A. C. P.; ARRUDA, H. V.; VAN RAIJ, B.; GOMES, A. C.; ZINK, F. Adubação da cana-de-açúcar: XIV. Adubação NPK em Latossolo roxo. **Bragantia**, Campinas, v. 50, n. 2, p. 359-374, 1991
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS – ANDA. **Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes**. São Paulo, 2008.
- ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 1099-1108, 2007.
- CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SILVA, G. P.; SILVA, I. R.; ASSIS, R. L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de Cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 1245-1255, 2013.
- CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. F.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 1681-1689, 2011.
- CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de Cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 147-157, 2009.
- CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar. **Chaiier ORSTOM**. Serie Pedologie, Paris, v. 26, n. 1, p. 37-50, 1991.
- CHIVENGE, P. P.; MURWIRA, H. K.; GILLER, K. E.; MAPFUMO, P.; SIX, J. Long-term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on contrasting soils. **Soil Tillage Research**, New York, v. 94, n. 1, p. 328-337, 2007.
- CIOTTA, M. N.; BAYER, M. C.; FONTOURA, S. M. V.; ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria Orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p. 1161-1164, 2003.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I - physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, New York, v. 19, n. 8, p. 155-165, 1981.

DEMATTE, J. L. I. Recuperação e manutenção da fertilidade do solo. **Visão Agrícola**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 48-59, 2004.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ERNANI, P. R.; BAYER, C. ALMEIDA, J. A.; Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 393-402, 2007.

FESCH, C.; LEHMAN, P.; HADERLEIN, S. B; HINZ, C.; SCHARZENBACH, R. P; FLUHLER, H. Effect of water content on solute transport in a porous medium containing reactive micro-aggregates. **Journal of Contaminant Hydrology**, London, v. 33, n. 1, p. 211-230, 1998.

FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 669-674, 2007.

FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Propriedades químicas de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado Mato-Grossense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 641-648, 2008.

FRAZÃO, L. A.; PICCOLO, M. C.; FEIGL, B. J.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a Sandy Brazilian Cerrado soil under diferente land uses. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, Philadelphia, v. 135, n. 1, p. 161-167, 2010.

GOVES, G.; VANDAELE, K.; DESMET, P.; CAVALCANTI, A. C.;PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 45, n. 1, p. 469-478, 1994.

LAL, R.; LOGAN, T. J. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: Lal, R.; Kimble, J. M.; Levine, E.; Stewart, B. A. (Ed.). **Soil management greenhouse Effect**. Boca Raton: CRC Press, 1995. p. 293-307.

- LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Toposequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.
- MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; MIRANDA, M. A. C. de; PEREIRA, J. C. V. N. A.; BRAGA, N. R. Deficiência de potássio em soja no Estado de São Paulo: melhor entendimento do problema e possíveis soluções. **O Agrônomo**, Campinas, v. 40, n. 1, p. 34-43, 1988.
- MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. Poluentes do solo e do ambiente. In: Meurer, E. J. (ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, v. 1 p. 151-168, 2000.
- NEVES, L. S. das; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de Potássio em Solos Decorrente da Adição de Doses de Cloreto de Potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 25-32, 2009.
- OLIVEIRA, L. F.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; RUIZ, H. A.; LIMA, L. A. Transporte de solutos no solo e no escoamento superficial: I - desenvolvimento do modelo e simulação do movimento de água e escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 63-69, 2000.
- OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 1137-1145, 2010.
- PADILLA, I. Y.; JIM YEH, T. C.; CONKLIN, M. H. The effect of water content on solute transport in unsaturated porous media. **Water Resources Research**, New York, v. 35, n. 1, p. 3303-3313, 1999.
- RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C.; MACHADO, C. T. T.; KINPARA, D. I.; OLIVEIRA FILHO, E.C. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira, **Espaço & Geografia**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 19-42, 2006.
- ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J. Residual and anual potassic fertilization for soybeans. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, London, v. 59, n. 1, p. 143-149, 2001.
- ROSSETO, R.; DIAS, F. L. F. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar: indagações e reflexões**. Encarte do Informações Agrônomicas, n° 110 – junho/2005.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 2297-2305, 2008.

ZUO, X.; ZHAO, H.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.; WANG, S.; DRAKE, S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. **Soil & Tillage Research**, New York, v. 99, n. 1, p. 202-212, 2008.

4 MOVIMENTAÇÃO VERTICAL DO POTÁSSIO EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo verificar a movimentação vertical de potássio em um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar em comparação com o mesmo solo sob Cerrado. O estudo foi realizado em área da Fazenda Araucária, situada na região sudoeste do município de Mineiros – GO, e foi desenvolvido utilizando-se experimentos associados a dois regimes hídricos: natural e controlado. No regime hídrico natural, calhas metálicas retangulares foram confeccionadas com área de 0,5 m². Em campo, três calhas foram instaladas em um Neossolo Quartzarênico sob cultivo com cana-de-açúcar e outras três calhas no mesmo solo sob Cerrado. Amostras de solo testemunhas foram coletadas em novembro de 2013 antes do início do período chuvoso na região. Após coleta inicial foi aplicado sobre o solo o equivalente a 80 kg ha⁻¹ de K⁺ na forma de KCl e aguardou-se todo o período chuvoso, com fim em abril do ano seguinte, para realizar nova coleta. Após isto, amostras de solo foram coletadas no interior das calhas a cada 10 cm até a profundidade de 100 cm com uso de trado holandês. A avaliação da movimentação de potássio sob regime hídrico controlado foi realizada em novembro de 2013 e as áreas avaliadas foram as mesmas do regime hídrico natural. Para esse estudo foram utilizados anéis concêntricos para delimitação da área e para garantir fluxo vertical da água aplicada. Aplicou-se no interior do anel interno o equivalente a 600 mm de água. Após 24 horas aplicou-se a mesma quantidade de K⁺ do regime natural e água equivalente a 600 mm de chuva acumulada. Após 48 horas procedeu-se a amostragem do solo a cada 10 cm até a profundidade de 100 cm com uso de trado holandês. As amostras de solo coletadas em campo foram encaminhadas para avaliação quanto aos teores de areia total, silte, argila total, K, pH e matéria orgânica. A movimentação de potássio ocorreu de forma rápida no regime hídrico controlado quando houve enriquecimento das camadas inferiores com o nutriente estudado para os dois tipos de uso após 72 horas de experimento. Houve movimento significativo dos teores de potássio para camadas inferiores em regime hídrico natural após precipitação acumulada de 1.638 mm, tanto no solo sob lavoura quanto no solo sob Cerrado. Recomenda-se para o Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar o parcelamento da adubação potássica, visto que grandes quantidades de K⁺ na adubação influenciam na perda deste por meio da solução do solo.

Palavras-chave: lixiviação, solos frágeis, adubação potássica.

ABSTRACT

This study set out to verify the vertical movement of potassium in Quartz-sand Neosols cultivated with sugarcane when compared with the same soil under Cerrado vegetation. It was conducted in an area of the Araucária farm, in the southwest region of the municipality of Mineiros, Goiás, and involved experiments using two water regimes: natural and controlled. In the natural water regime, rectangular metal troughs measuring 0.5 m² were made. In the field, three were installed in Quartz-sand Neosols under sugarcane cultivation and another three in the same soil under Cerrado vegetation. Witness soil samples were collected in November 2013 before the onset of the rainy season in the region. After this initial collection the equivalent of 80 kg ha⁻¹ of K⁺ in the form of KCl was applied to the soil and left for the full wet season until the end of April of the following year when a new collection was made. After that, soil samples were collected from the troughs at each level of 10 cm to a depth of 100 cm using a Dutch auger. The analysis of the potassium movement under the controlled water regime took place in November 2013 and the areas assessed were the same as those for the natural water regime. For this study concentric rings were used to delimit the area and ensure a vertical flow of the water applied. The equivalent of 600 mm of water was applied within the internal ring. After 24 hours the same amount of K⁺ as used in the natural regime was applied as was water equivalent to 600 mm of accumulated rain. After 48 hours, soil sampling was carried out with a Dutch auger at every 10 cm to a depth of 100 cm. Soil samples collected in the field were sent for analysis in terms of total sand, silt, total clay, K⁺, pH and organic matter. Potassium movement occurred rapidly in the controlled water regime leading to enrichment of the lower layers for the two types of management after 72 hours of experiment. There was a significant movement of potassium content to lower levels in the natural water regime after an accumulated rainfall of 1638 mm, both in the cultivated soil and in that under Cerrado vegetation. For Quartz-sand Neosols under sugarcane cultivation, potassium should be applied in smaller quantities, since large amounts of K⁺ in the fertilizer lead to a loss of potassium through soil solution.

Key words: leaching, fragile soils, potassium fertilization.

4.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos grandes áreas do Cerrado têm sido utilizadas para o cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.), fato este intensificado devido principalmente ao aumento do consumo do etanol. Deste modo, a expansão do setor sucroalcooleiro torna-se inevitável, trazendo, além dos impactos positivos à economia do país, os impactos negativos, principalmente ambientais. Como parte desta degradação ambiental ocorrem as transformações de áreas antes cultivadas por pastagem ou vegetadas por mata nativa do Cerrado por áreas cultivadas. Neste processo, o solo sofre mudanças muitas vezes irreversíveis.

Sabe-se que o cultivo contínuo e o preparo do solo para o plantio podem provocar diversas alterações nas propriedades físicas e químicas do solo (Cerri et al., 1991;

Goves et al., 1994), ainda mais em solos considerados frágeis. Os Neossolos Quartzarênicos (RQ), muito encontrados no Cerrado, são solos ecologicamente frágeis por apresentarem baixa capacidade de retenção de água e nutrientes para as plantas, além de elevada erodibilidade (Zuo et al., 2008).

No Estado de Goiás, este tipo de solo está sendo utilizado para o plantio de cana. De acordo com Souza et al. (2006) os RQ são originados de depósitos arenosos, apresentando textura areia ou areia franca ao longo de pelo menos 2 metros de profundidade, com quantidade de argila menor que 15%. Com isto, naturalmente apresentam baixa capacidade de agregação de partículas, alta lixiviação de nutrientes e rápida decomposição de matéria orgânica (Correia et al., 2004). Nestes solos ainda não se sabe os efeitos que o manejo da cultura da cana pode provocar na movimentação do potássio ao longo do perfil do solo.

Sabe-se, porém, que adubações potássicas utilizadas para o cultivo da cana-de-açúcar podem exceder a capacidade de adsorção do K^+ pelos solos e plantas, tornando-o potencial fonte poluidora de solos e águas (Cunha et al., 1981; Gloeden et al., 1991; Meurer et al., 2000; Lyra et al., 2003; Silva et al., 2007).

A movimentação de íons no solo pode afetar a disponibilidade dos nutrientes aos vegetais e as perdas por lixiviação. No solo, os íons se movem em direção às raízes por difusão, devido à existência de um gradiente de concentração, e por fluxo de massa, em decorrência de um gradiente hídrico (Barber, 1962). De acordo com Neves et al. (2009) independente do mecanismo de movimentação (fluxo de massa ou difusão) a água no solo é o atributo que controla a mobilidade de K^+ no solo. Portanto, a quantidade de água que entra no solo pode ser determinante para a lixiviação ou não do potássio presente neste.

Com base no exposto, foi objetivo desta pesquisa verificar a movimentação vertical de potássio sob um regime hídrico natural e sob regime hídrico controlado em um Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar em comparação com um Neossolo Quartzarênico sob cerrado.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado em um Neossolo Quartzarênico localizado em área da Fazenda Araucária situada na região sudoeste do município de Mineiros, Estado de Goiás. O clima segundo classificação de Köppen é caracterizado como Clima Tropical Chuvoso

(Aw), com seis meses de período chuvoso (novembro a abril) e seis meses sem quantidades expressivas de precipitação (maio a outubro).

Para a realização do estudo de movimentação de potássio sob regime hídrico natural, calhas metálicas foram confeccionadas com área de 0,5 m². Três calhas foram instaladas em um Neossolo Quartzarênico sob influência do cultivo da cana-de-açúcar por pelo menos sete anos (RQ Lavoura) (Figura 4.1.a) e também em um Neossolo Quartzarênico sob Cerrado (RQ Cerrado) (Figura 4.1.b).



Figura 4.1. Implantação das calhas para verificação da movimentação do potássio em Neossolo Quartzarênico: (a) sob cultivo de cana-de-açúcar; (b) sob Cerrado. Mineiros – GO (2013)

Amostras de solo foram coletadas em novembro de 2013 próximo à área em que foram instaladas as calhas para servirem como testemunha. As calhas, com altura de 25 cm, foram enterradas 5 cm dentro do solo a fim de evitar-se possível carreamento de água e nutrientes de fora para dentro das mesmas por escoamento superficial em caso de chuvas com grande volume de água, comuns no período compreendido pelo estudo. Após isto foi aplicado o equivalente a 80 kg ha⁻¹ de K⁺ (sob a forma de KCl) na parte interior de cada uma das seis calhas. Esperou-se então o fim do período chuvoso para nova coleta do solo. No período que compreendeu o experimento a precipitação próxima ao local de estudo foi de 1.638 mm, conforme dados coletados na estação pluviométrica da Fazenda Araucária. Em abril de 2014 retornou-se à área e procedeu-se novamente à coleta de amostras compostas (3 pontos) apenas dentro das calhas. As amostras foram coletadas a cada 10 cm até a profundidade de 100 cm. Durante a realização do experimento não houve outro tipo de adubação na área.

A avaliação da movimentação de potássio sob regime hídrico controlado foi realizada em novembro de 2013 e as áreas avaliadas foram as mesmas do regime natural, ou seja, RQ Lavoura (Figura 4.2.a) e RQ Cerrado (Figura 4.2.b). Para este estudo foram utilizados três conjuntos de anéis concêntricos em cada área estudada.



Figura 4.2. Anéis concêntricos implantados para avaliação da movimentação de potássio sob regime hídrico controlado: (a) Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar; (b) Neossolo Quartzarênico sob Cerrado. Mineiros – GO (2013)

Inicialmente coletou-se amostras do solo próximo à área de implantação dos anéis para servirem como testemunha (K_{rest}). Logo após, a área interna de cada anel foi saturada com um volume aplicado de 600 mm de água. Manteve-se igual nível de água no anel externo. Esperou-se 24 horas para ocorrer a drenagem e equilíbrio da água no solo e a seguir aplicou-se o equivalente a 80 kg ha^{-1} de K^+ (sob a forma de KCl) na parte interior do anel interno de cada um dos anéis. Outro volume correspondente a 600 mm de água foi aplicado no interior do anel interno. Após 48 horas procedeu-se a coleta do solo (com trado holandês) na parte interna do anel interno (K_{int}), na parte externa do anel interno (K_{ext}) e na parte externa do anel externo (K_{fora}). A Figura 4.3 mostra os pontos de amostragem no experimento sob regime hídrico controlado.

Amostras de solo foram coletadas a cada 10 cm até a profundidade de 100 cm. Após a coleta as amostras de solo foram encaminhadas para análise. Em laboratório, o potássio foi extraído com solução Mehlich-1 com relação solo:extrator 1:5 e determinado por espectrometria de absorção atômica. Além deste, o solo também foi quantificado quanto ao teor de areia total, silte, argila total, matéria orgânica e pH, segundo Embrapa (1997),

conforme apresentado na Tabela 4.1. Os dados foram submetidos a uma análise descritiva efetuando-se o teste t ($\alpha = 0,05$) para as médias com análise de contraste.



Figura 4.3. Amostragem de solo nas camadas estudadas sob regime hídrico controlado. (1) amostra testemunha (K_{test}); 2) amostra na parte interna do anel interno (K_{int}); 3) amostra na parte externa do anel interno (K_{ext}) e; 4) amostra fora do anel externo (K_{fora}). Mineiros – GO (2013)

Tabela 4.1. Teores de areia, silte, argila (g Kg^{-1}), matéria orgânica (MO, em g Kg^{-1}) e pH para Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob Cerrado (RQ Cerrado), Mineiros (2013)

Camadas (cm)	Areia	Silte	Argila	MO ¹	pH	Areia	Silte	Argila	MO	pH
	g Kg^{-1}			g Kg^{-1}	--	g Kg^{-1}			g Kg^{-1}	--
	RQ Lavoura					RQ Cerrado				
0-10	898	22	80	21,0	5,7	902	38	60	16,0	4,7
10-20	900	20	80	19,0	5,5	918	22	60	15,0	4,7
20-30	892	28	80	15,0	5,4	908	32	60	12,0	4,5
30-40	892	28	80	10,0	5,4	922	18	60	9,0	4,3
40-50	892	28	80	9,0	5,0	912	28	60	9,0	4,3
50-60	882	28	90	8,0	5,0	912	28	60	8,0	4,2
60-70	882	28	90	7,0	4,9	912	28	60	8,0	4,3
70-80	870	30	100	7,0	4,8	900	20	80	8,0	4,3
80-90	860	20	120	6,0	4,7	890	10	100	8,0	4,4
90-100	860	20	120	6,0	4,7	890	10	100	7,0	4,4

¹ MO: Matéria orgânica

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de potássio no experimento com regime hídrico natural (calhas) durante o período de novembro de 2013 a abril de 2014 para RQ Lavoura e RQ Cerrado, são apresentados na Tabela 4.2.

Comparando os valores das concentrações de K^+ antes da aplicação do nutriente no solo (novembro de 2013) e após a aplicação do nutriente e término do período chuvoso (abril de 2014), notou-se no RQ Lavoura um incremento no teor do nutriente em todas as camadas de solo (Tabela 4.2), o que interferiu (com exceção às camadas 20-30, 50-60 e 80-90 cm) na significância estatística destes. Semelhantemente, após a aplicação do potássio percebeu-se no RQ Cerrado incremento em todas as camadas gerando nestas também diferenças significativas entre o K^+ antes e depois do período chuvoso.

Mesmo que na camada 80-90 cm do RQ Lavoura não fora encontrada diferença estatística (Tabela 4.2), houve aumento considerável em profundidade do elemento estudado nos dois tipos de uso (RQ Lavoura e RQ Cerrado). O fato de ocorrer incremento de potássio nas camadas inferiores do solo torna-se então um resultado preocupante tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental visto que o potássio aplicado pela adubação está sendo movimentado para camadas mais profundas gerando assim maiores gastos na adubação e potencial para contaminação da água subterrânea.

Tabela 4.2. Valores médios do íon potássio ($mg\ dm^{-3}$) encontrados antes (novembro de 2013) e após o período de chuvas (abril de 2014) para Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob vegetação de cerrado (RQ Cerrado), Mineiros, GO

Camadas (cm)	RQ Lavoura		RQ Cerrado	
	Nov/2013	Abr/2014	Nov/2013	Abr/2014
0-10	40,7	51,0 ^{* 1}	19,3	38,7 [*]
10-20	24,7	31,3 [*]	14,7	26,0 [*]
20-30	20,0	26,0 ^{ns}	12,0	21,3 [*]
30-40	13,3	19,3 [*]	10,7	19,3 [*]
40-50	12,0	16,0 [*]	9,3	14,7 [*]
50-60	9,3	13,3 ^{ns}	8,0	13,3 [*]
60-70	8,0	13,3 [*]	8,0	12,0 [*]
70-80	6,7	10,7 [*]	5,3	12,0 [*]
80-90	5,3	9,3 ^{ns}	4,0	10,7 [*]
90-100	4,0	8,0 [*]	4,0	9,3 [*]

¹ *: significativo à 5% pelo teste t; ^{ns}: não significativo à 5% pelo teste t. Teste t aplicado para valores médios obtidos em nov/2013 e abril/2014 dentro de cada tipo de uso do solo.

Ao comparar-se os diferentes tipos de uso do solo (Lavoura e Cerrado) com o mesmo tipo de solo, nota-se que a tendência foi parecida quando ocorreram maiores teores de K^+ em todas as camadas após a aplicação do K^+ no solo tanto do RQ Lavoura quanto do RQ Cerrado (Figura 4.4). Este resultado já era esperado e pode ser explicado pela pequena diferença entre atributos como argila e matéria orgânica (Tabela 4.1) que apresentaram valores parecidos ao longo do perfil amostrado. Além disso, diversos autores encontraram em seus trabalhos resultados semelhantes (Orlando Filho et al., 1983; Silva et al., 2001; Werle et al., 2008). Em profundidade, independentemente do tipo de uso do solo, ocorreram reduções gradativas nos teores de potássio, incluindo-se as testemunhas (novembro de 2013), conforme a Figura 4.4, o que indica que parte do K^+ foi retido nas camadas superiores do solo.

Em solos tropicais, e nestes estão incluídos os Neossolos Quartzarênicos, ocorrem baixos teores naturais de matéria orgânica que aliado à alta pluviosidade e temperaturas elevadas aumentam sua degradação (Silva et al., 2007). Segundo Chivenge et al. (2007), o teor de matéria orgânica do solo é o atributo que melhor representa a qualidade deste e que pode ser alterado com as práticas de manejo. Com a elevação da M.O. ocorre o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos (Araújo et al., 2007; Campos et al., 2011), o que para alguns solos do Cerrado com pequenas quantidades de argila (Tabela 4.1), como o Neossolo Quartzarênico, é essencial para reter os cátions e aumentar a fertilidade do solo.

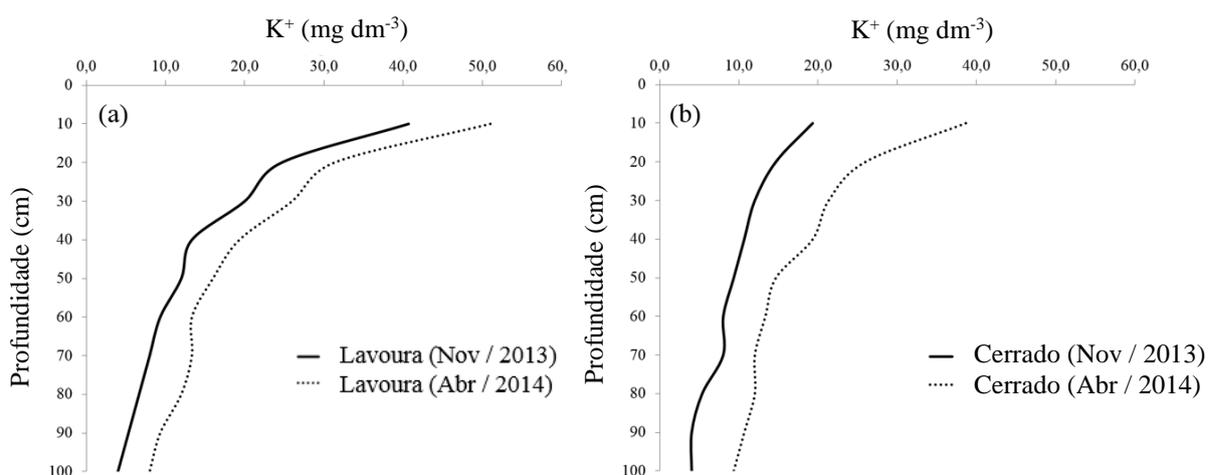


Figura 4.4. Teor de potássio em profundidade: (a) Neossolo Quartzarênico sob cultivo; (b) Neossolo Quartzarênico sob Cerrado

Portanto, mesmo que sutil, o aumento nos estoques de matéria orgânica no Neossolo sob cultivo da cana-de-açúcar (Tabela 4.1) comparado à condição sob cerrado, pode ter sido suficiente para gerar maior quantidade de sítios de adsorção proporcionando assim teores maiores deste nutriente no RQ Lavoura.

Avaliando os teores de potássio em novembro de 2013 (testemunha) e após a época de chuvas (abril de 2014) para os dois tipos de uso, nota-se que ocorrem no RQ Lavoura maiores teores de K^+ (Tabela 4.3), fato este explicado pelo efeito residual da adubação potássica que ocorre para o cultivo da cana-de-açúcar. Porém, estatisticamente encontraram-se valores superiores para o RQ Lavoura em novembro de 2013 apenas para as camadas superiores do solo (0 até 50 cm).

Como os valores antes da aplicação do K^+ no RQ Lavoura foram também superiores aos de RQ Cerrado (valores testemunhas), já era esperado teores maiores deste nutriente no solo sob cultivo. Considerando que a solução que se movimenta verticalmente no solo é uma mistura entre a solução de solo e a água adicionada, a quantidade de K^+ lixiviado é, segundo Ernani et al. (2003), proporcional à concentração inicial do nutriente na solução no solo, o que foi observado neste trabalho.

Tabela 4.3. Valores médios do íon potássio ($mg\ dm^{-3}$) encontrados em novembro de 2013 e após o período de chuvas (abril de 2014) na região de Mineiros – GO, para Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob Cerrado (RQ Cerrado)

Camadas (cm)	Nov/2013		Abr/2014	
	Lavoura	Cerrado	Lavoura	Cerrado
0-10	40,7	19,3 *	51,0	38,7 *
10-20	24,7	14,7 *	31,3	26,0 *
20-30	20,0	12,0 *	26,0	21,3 ns
30-40	13,3	10,7 ns	19,3	19,3 ns
40-50	12,0	9,3 *	16,0	14,7 ns
50-60	9,3	8,0 ns	13,3	13,3 ns
60-70	8,0	8,0 ns	13,3	12,0 ns
70-80	6,7	5,3 ns	12,0	12,0 ns
80-90	5,3	4,0 ns	9,3	10,7 ns
90-100	4,0	4,0 ns	8,0	9,3 ns

¹ *: significativo à 5% pelo teste t; ns: não significativo à 5% pelo teste t. Teste t aplicado para mesma época, ou seja, comparação entre nov/2013 para RQ Lavoura e RQ Cerrado e comparação entre abr/2014 para RQ Lavoura e RQ Cerrado.

Já após o período chuvoso a diferença estatística diminuiu, sendo encontrada diferenças apenas para a camada que compreende 0 até 20 cm (Tabela 4.3). Conforme mostra a Figura 4.5, em abril de 2014 encontrou-se mudança no teor de K^+ para os perfis de RQ

Lavoura e RQ Cerrado em que maiores teores de K^+ estavam neste último para camadas inferiores a 70 cm, levando inclusive a diferença significativa na camada 70-80 cm. Porém o solo nos dois tipos de uso seguiu mesma tendência antes e após época chuvosa.

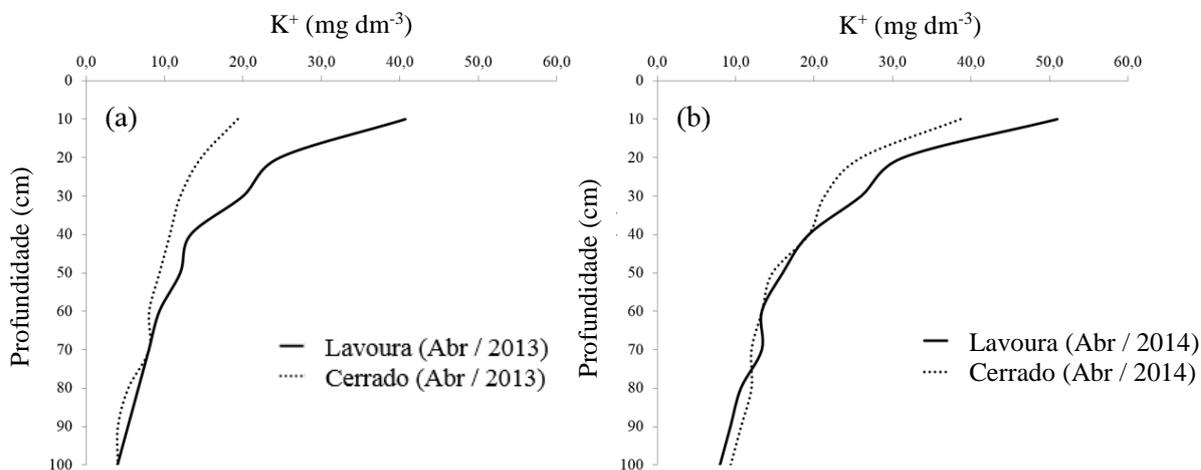


Figura 4.5. Teores de potássio em profundidade: (a) comparação RQ Lavoura e RQ Cerrado em novembro de 2013; (b) comparação entre RQ Lavoura e RQ Cerrado em abril de 2014

Os valores médios para os teores de potássio, pH e matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar e sob Cerrado em experimento com regime hídrico controlado (utilizando anéis concêntricos), são apresentados na Tabela 4.4. RQ Lavoura e RQ Cerrado apresentaram tendências parecidas neste tipo de regime hídrico em que o potássio migrou para camadas inferiores (Tabela 4.4). Parte do potássio migrou lateralmente visto que não houve diferença significativa para K_{int} e K_{ext} nas camadas 10-20, 40-50 e 60-70 cm (RQ Lavoura) e para camadas 20-30, 40-50 e 90-100 cm para o RQ Cerrado. Porém, mesmo assim, a mobilidade vertical do nutriente foi maior que a mobilidade lateral devido ao efeito adicional promovido pelo fluxo de massa decorrente da percolação de água em obediência à força gravitacional (Ernani et al., 2007).

Assim como no experimento com regime hídrico natural, no experimento com regime hídrico controlado valores maiores para a matéria orgânica no RQ Lavoura podem explicar maiores teores de K^+ nas camadas superficiais. A mobilidade do potássio, assim como a de outros cátions, diminui com o aumento da densidade de cargas negativas nos colóides do solo (Ernani et al., 2007) e, conseqüentemente, diminui a lixiviação do potássio (Duarte et al., 2013) por promover maior retenção deste nutriente nos colóides do solo. Portanto, em solos onde a quantidade de argilas é extremamente baixa, caso deste estudo

(Tabela 4.1), o aumento da quantidade de cargas negativas que podem promover a adsorção do potássio é dependente do teor de matéria orgânica no solo. Logo, as camadas do solo com teores maiores que 1% (Tabela 4.4) apresentaram maiores teores de potássio retido.

Tabela 4.4. Valores médios para íon potássio, pH e matéria orgânica em Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob vegetação de Cerrado (RQ Cerrado), Mineiros, GO

Camadas (cm)	K _{int}	K _{ext}	K _{fora}	K _{test} ¹	pH	MO
	mg dm ⁻³				--	g Kg ⁻¹
Neossolo Quartzarênico (RQ) Lavoura						
0-10	51,0 a	36,0 b	37,3 b	39,3 b	5,3	18,0
10-20	41,3 a	32,0 ab	29,7 b	30,7 b	5,2	16,0
20-30	33,7 a	25,3 b	17,3 c	17,3 bc	5,2	14,0
30-40	28,0 a	21,3 b	16,0 b	14,7 b	5,4	10,0
40-50	22,0 a	15,3 ab	11,3 b	10,7 b	5,4	7,0
50-60	16,0 a	13,3 b	11,3 bc	8,0 c	5,2	7,0
60-70	14,7 a	13,3 a	9,3 bc	8,0 c	5,0	5,0
70-80	12,0 a	9,3 b	8,0 b	8,0 b	4,9	5,0
80-90	12,0 a	9,3 b	6,7 b	5,3 b	4,7	5,0
90-100	12,0 a	8,0 b	4,0 c	4,0 c	4,7	5,0
Neossolo Quartzarênico (RQ) Cerrado						
0-10	40,0 a	22,7 b	22,7 b	20,7 b	4,73	14,0
10-20	29,3 a	17,3 b	17,3 bc	16,0 c	4,87	12,0
20-30	24,0 a	18,0 ab	13,3 b	13,3 b	4,70	12,0
30-40	22,7 a	16,0 b	10,7 c	12,0 c	4,43	9,0
40-50	17,3 a	14,7 ac	9,3 b	10,7 c	4,67	6,0
50-60	16,0 a	12,0 b	8,0 c	8,0 c	4,70	4,0
60-70	13,3 a	8,0 bd	6,7 c	6,7 cd	4,73	3,0
70-80	13,3 a	8,0 b	6,7 c	4,0 c	4,73	3,0
80-90	10,7 a	8,0 b	4,0 c	4,0 c	4,93	4,0
90-100	8,0 a	8,0 a	4,0 b	4,0 b	4,97	4,0

¹ K_{test}: valores médios do íon potássio antes do início do experimento (testemunha); K_{fora}: valores médios do íon potássio coletados na parte externa do anel externo; K_{ext}: valores médios do íon potássio coletados na parte externa do anel interno; K_{int}: valores médios do íon potássio coletados na parte interna do anel interno; MO: Matéria Orgânica. Análise estatística das médias do íon potássio pelo teste “t” e análise de contraste (5%), letras iguais na horizontal significam que não houve diferença significativa.

Segundo Mascarenhas et al. (1988), o pH pode determinar a disponibilidade do potássio no solo em que teores mais baixos de K⁺ no solo se associam a menores valores de pH. Também Quaggio (2000) afirma que em solos onde o pH é menor ocorre aumento na lixiviação. O solo sob cultivo da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) sofreu calagem no ano de 2008, explicando valores de pH acima do RQ Cerrado (Tabela 4.4). Porém, mesmo com as diferenças de pH para os dois usos, não se encontrou relação direta entre os valores de pH e a retenção de K⁺ no solo estudado. Mesmo em condições de pH inferiores a 5,0 ocorreu

retenção do nutriente no solo, como em camadas de 80-90 e 90-100 cm (RQ Lavoura) e em todas as camadas de RQ Cerrado.

Na parte externa do anel externo (K_{fora}) do RQ Lavoura e Cerrado não foi observada diferença significativa em nenhuma das camadas quando se compara os valores de potássio antes da aplicação de K^+ e da drenagem controlada (K_{test}) com os valores das amostras após o término do experimento. A comparação entre K_{fora} e K_{ext} mostrou diferença apenas para as camadas de 20-30 e 90-100 cm (RQ Lavoura) e 40-50 cm (RQ Cerrado) o que indica que o fluxo lateral da solução enriquecida em K^+ foi negligente durante o experimento.

Os valores médios de potássio para o regime hídrico controlado (K_{int}) e para regime hídrico natural (K_{calhas}) são dispostos na Tabela 4.5.

Tabela 4.5. Valores médios do íon potássio (mg dm^{-3}) encontrados no experimento em regime hídrico controlado (K_{int}) e natural (K_{calhas}) para Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob vegetação de Cerrado (RQ Cerrado), Mineiros, GO

Camadas (cm)	RQ Lavoura		RQ Cerrado	
	K_{int}^1	K_{calhas}^2	K_{int}	K_{calhas}
0-10	51,0 a ³	51,0 a	40,0 a	38,7 a
10-20	41,3 a	31,3 b	29,3 a	26,0 a
20-30	33,7 a	26,0 a	24,0 a	21,3 a
30-40	28,0 a	19,3 b	22,7 a	19,3 a
40-50	22,0 a	16,0 a	17,3 a	14,7 a
50-60	16,0 a	13,3 a	16,0 a	13,3 a
60-70	14,7 a	13,3 a	13,3 a	12,0 a
70-80	12,0 a	12,0 a	13,3 a	12,0 a
80-90	12,0 a	9,3 a	10,7 a	10,7 a
90-100	12,0 a	8,0 b	8,0 a	9,3 a

¹ K_{int} : valores médios do íon potássio (mg dm^{-3}) coletados na parte interna do anel interno; ² K_{calhas} : valores médios do íon potássio (mg dm^{-3}) encontrados em experimento de regime hídrico natural; ³ Análise estatística das médias do íon potássio pelo teste “t” e análise de contraste (5%), letras iguais na horizontal para cada uso do solo (RQ Lavoura e RQ Cerrado) significam que não houve diferença significativa.

Na comparação entre os dois regimes hídricos nota-se que para o RQ Lavoura apenas houve diferença significativa para as profundidades 10-20, 30-40 e 90-100 cm. Já para o RQ Cerrado não se encontrou diferença significativa entre os dois regimes hídricos testados, o que indica que de certa forma a movimentação do potássio em solos sem ação antrópica (vegetação de Cerrado) pode ser estudada em experimentos de campo com drenagem controlada, independente do regime pluviométrico natural.

4.4 CONCLUSÕES

1. A movimentação de potássio ocorre de forma rápida no regime hídrico controlado quando houve, em 48 horas de aplicação de KCl, o enriquecimento das camadas inferiores com o nutriente estudado para os dois tipos de uso do solo;

2. Houve movimento significativo dos teores de potássio para camadas inferiores em regime hídrico natural após precipitação de 1.638 mm, tanto no RQ Lavoura quanto no RQ Cerrado;

3. Recomenda-se para o Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar, o parcelamento da adubação potássica, visto que grandes quantidades de K^+ na adubação influenciam em sua perda, para camadas inferiores, por meio da solução do solo;

4. Não foi encontrada relação direta entre os valores de pH e a retenção de potássio no solo, onde mesmo em valores de pH inferiores a 5,0 ocorreu retenção do nutriente no solo.

4.5 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n .1, p. 1099-1108, 2007.

BARBER, S. A. A diffusion and mass-flow concept of soil nutriente availability. **Soil Science**, v. 93, p. 39-42, 1962.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. F.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n .1, p. 1681-1689, 2011.

CERRI, C. C.; FELLER, C.; CHAUVEL, A. Evolução das principais propriedades de um latossolo vermelho escuro após desmatamento e cultivo por 12 e 50 anos com cana-de-açúcar. **Chaiier ORSTOM**. Serie Pedologie, Paris, v. 26, n. 1, p. 37-50, 1991.

CHIVENGE, P. P.; MURWIRA, H. K.; GILLER, K. E.; MAPFUMO, P.; SIX, J. Long-term impact of reduced tillage and residue management on soil carbon stabilization: Implications for conservation agriculture on contrasting soils. **Soil Tillage Research**, New York, v. 94, n. 1, p. 328-337, 2007.

CORREIA, J. R.; REATTO, A.; SPERA, S. T. Solo e suas relações com o uso e o manejo. In: Sousa, D. M. G. de; Lobato, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, p. 29-61. 2004.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I - physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, New York, v. 19, n. 8, p.155-165, 1981.

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDORFER, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 195-200, 2013.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ERNANI, P. R.; MANTOVANI, A.; SCHEIDT, F. R.; NESI, C. Mobilidade de nutrientes em solos ácidos decorrentes da aplicação de cloreto de potássio e calcário. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, Ribeirão Preto, 2003. **Anais...** Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. CD-ROM.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 393-402, 2007.

GLOEDEN, E.; CUNHA, R. C. A.; FRACCAROLI, M. J. B.; CLEARY, R. W. The behaviour of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. **Water Science Technology**, New York, v. 24, n. 11, p. 147-157, 1991.

GOVES, G.; VANDAELE, K.; DESMET, P.; CAVALCANTI, A. C.;PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. The role of tillage in soil redistribution on hillslopes. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 45, n. 1, p. 469-478, 1994.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.

MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; MIRANDA, M. A. C. de; PEREIRA, J. C. V. N. A.; BRAGA, N. R. Deficiência de potássio em soja no Estado de São Paulo: melhor entendimento do problema e possíveis soluções. **O Agrônomo**, Campinas, v. 40, n. 1, p. 34-43, 1988.

MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. Poluentes do solo e do ambiente. In: Meurer, E. J. (ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, v. 1, n. 1, p. 151-168, 2000.

NEVES, L. S. das; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de Potássio em Solos Decorrente da Adição de Doses de Cloreto de Potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 25-32. 2009.

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, G. M. A.; LEME, E. J. A. Utilização agrícola dos resíduos da agroindústria canavieira. In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba: IAA/Planalsucar, 1983. p.227-64.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem e solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico de Campinas, 2000. 111p.

SILVA, M. A. G.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; FERNANDES, H. G.; GRANJA, F. A.; SCIVITTARO, W. B. Efeito do nitrogênio e potássio na nutrição do pimentão cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 913-922, 2001.

SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SOUZA, E. D. de; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B.; SILVA, C. A.; BUZETTI, S. Alterações nas frações do carbono em um neossoloquartzarênico submetido a diferentes sistemas de uso do solo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá. v. 28, n. 3, p. 305-311, 2006.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 2297-2305, 2008.

ZUO, X.; ZHAO, H.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; GUO, Y.; WANG, S.; DRAKE, S. Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. **Soil & Tillage Research**, New York, v. 99, n. 1, p. 202-212, 2008.

5 MOVIMENTAÇÃO DO ÍON POTÁSSIO EM NEOSSOLO QUARTZARÊNICO: EXPERIMENTO EM COLUNAS

RESUMO

Em solos arenosos da região dos Cerrados grandes áreas de pastagens ou cultivadas com soja e milho estão cedendo lugar à cultura da cana-de-açúcar. As alterações causadas por estas mudanças poderão afetar a qualidade dos solos e ambiental da região. Objetivou-se neste trabalho quantificar a movimentação do potássio em Neossolo Quartzarênico sob uso com cana-de-açúcar e vegetação de Cerrado, através de experimento realizado em colunas em condições de laboratório. Amostras de Neossolo Quartzarênico foram coletadas na região de Mineiros – GO e trazidas para o Laboratório de Hidráulica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás onde o experimento com colunas foi realizado em triplicata para cada tipo de uso. Cada coluna possuía 100 cm de altura e foi seccionada em anéis de 10 cm de altura por 7,5 cm de diâmetro. Após acomodação do solo, cada coluna recebeu acima da camada superficial 105 mg de K^+ na forma de KCl. Durante dez dias seguidos foi aplicada água deionizada em cada coluna, representando ao final uma precipitação de 600 mm. O efluente lixiviado foi coletado periodicamente e encaminhado para análise do teor de potássio. Ao final dos dez dias as colunas foram desmontadas e o solo foi coletado em cada anel e encaminhado para análise de teores de potássio, matéria orgânica e pH. As médias dos valores de potássio foram submetidas a análise descritiva e teste t ($\alpha = 0,05$). O tipo de uso do solo influencia a perda de K^+ no efluente; entretanto, o pH e o tipo de uso não influencia na retenção de K^+ no solo. Conclui-se que em Neossolo Quartzarênico pode haver significativa perda de K^+ no efluente após aplicação de potássio no solo. O aumento do teor de matéria orgânica acima de 1% pode influenciar positivamente a retenção de K^+ neste tipo de solo.

Palavras-chave: adubação potássica, movimentação vertical, solos frágeis.

ABSTRACT

In sandy soils of the Cerrado region, large tracts of pasture and land planted with soybean and corn are giving way to the cultivation of sugarcane. The alterations brought about by these changes could affect the quality of the soil and the environment in the region. The aim of this study was to quantify the movement of potassium in Quartz-sand Neosols under sugarcane and Cerrado vegetation, through an experiment with columns under laboratory conditions. Quartz-sand Neosol samples were collected in the region of Mineiros, Goiás, and brought to the Hydraulics Laboratory at the Pontifical Catholic University of Goiás where the experiment with columns was performed in triplicate for each type of soil management. Each 100 cm column was sectioned into rings of 10 cm in height by 7.5 cm in diameter. After soil accommodation, a total of 105 mg of K_2O in the form of KCl was applied to the

surface layer of each column. For the next ten days, deionized water was applied to each column which would represent a precipitation of 600 mm at the end. The leachate effluent was collected periodically and sent for potassium content analysis. After ten days, the columns were dismantled, and the soil in each ring was collected and sent for analysis of potassium, organic matter and pH levels. The mean values of potassium were submitted to descriptive analysis and a t test ($\alpha = 0.05$). The type of management influenced the loss of K^+ in the effluent; however, pH and type of management did not influence K^+ retention in the soil. It was concluded that there could be a significant loss of K^+ in the effluent after applying potassium to the Quartz-sand Neosols. An increase of more than 1% in organic matter content could positively influence K^+ retention in this type of soil.

Key words: fragile soils, potassium fertilization, vertical movement.

5.1 INTRODUÇÃO

Em solos arenosos da região dos Cerrados grandes áreas de pastagens ou cultivadas com soja e milho estão cedendo lugar à cultura da cana-de-açúcar. Estas mudanças deverão influenciar em vários níveis o tipo de adubação do solo, a qualidade e a sustentabilidade dos recursos naturais da região. Assim, o aumento do cultivo da cana-de-açúcar é motivo de preocupação devido a necessidade de avaliação do uso de fertilizantes agrícolas adequados a esse tipo de cultivo e os possíveis impactos que esta cultura pode causar no meio ambiente. Um destes impactos se dá pela aplicação dos fertilizantes que, se não bem utilizados, sofrem lixiviação em maior intensidade, ficando então indisponíveis para as plantas podendo ainda atingir as águas subterrâneas.

O íon potássio (K^+) disponibilizado por meio da degradação da palha ou via adubação potássica pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo a depender da quantidade de chuva, da dose do nutriente aplicado, do teor de matéria orgânica e da textura do solo, o que faz com que o manejo da adubação potássica seja importante do ponto de vista tanto econômico quanto ambiental (Rosolem et al., 2006). Portanto, se o solo não tiver um manejo agrícola adequado, o K^+ pode ser transportado como soluto, ou ainda, movimentar-se através do perfil do solo com a água infiltrada (Silva et al., 2007). Para Oliveira et al. (2000), essa translocação de solutos no solo constitui também o principal veículo de contaminação das águas subterrâneas.

Aplicações contínuas deste nutriente para o cultivo de cana-de-açúcar podem exceder a capacidade de adsorção do K^+ pelos solos e plantas, o que indica baixa eficiência agrônômica devido a onerar a produção, e tornando-o possível potencial fonte poluidora de solos e águas (Cunha et al., 1981; Gloeden et al., 1991; Meurer et al., 2000; Lyra et al., 2003;

Silva et al., 2007). O destino do íon potássio é determinado pela capacidade de troca de íons e de adsorção deste pelas argilas. Assim, o enriquecimento das águas subterrâneas por íon potássio, embora esporádico (Oren et al., 2004), pode ocorrer caso este nutriente não fique retido no solo.

Diversos estudos tratam da movimentação e dinâmica do íon potássio em solos. Neves et al. (2009) avaliaram o gradiente de concentração de K^+ a partir da fertilização de cinco tipos de solos com diferentes doses de cloreto de potássio (KCl) e concluíram que a movimentação vertical do íon se dá de forma rápida. Ernani et al. (2007) avaliaram a movimentação do íon potássio em um Cambissolo Húmico e num Nitossolo Vermelho de acordo com a dose de KCl aplicada, mostrando que o nutriente atingiu bom aprofundamento no perfil do solo, porém sem proporcionar grande lixiviação. Também Werle et al. (2008) estudaram a dinâmica do K^+ no perfil de um Latossolo Vermelho distrófico em função do teor de argila e do teor do nutriente no solo e concluíram que a adubação potássica aumentou as quantidades de K^+ percolado. Ainda Rosolem & Nakagawa (2001) afirmaram que ocorre grande aumento na lixiviação do íon potássio quando se aplicam doses acima de 80 kg ha^{-1} de K_2O em solos de textura média.

Embora trabalhos anteriores tratem do tema lixiviação de íon potássio no solo, pouco se conhece sobre o comportamento deste nutriente em Neossolo Quartzarênico sob cultivo com cana-de-açúcar. O objetivo deste trabalho foi quantificar a lixiviação do íon potássio em Neossolo Quartzarênico cultivado com cana-de-açúcar em comparação do mesmo solo sob vegetação de cerrado através de estudo experimental realizado com colunas em condições laboratoriais.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

A área selecionada para este estudo localiza-se na porção sudoeste do município de Mineiros (GO) nas coordenadas $17^{\circ}47'31.15''$ S e $53^{\circ}00'10.04''$ O, pertencente à Fazenda Araucária- Empresa BrasilAgro. O relevo na área de estudo se caracteriza pela presença de colinas com declividade em torno de 5° e a vegetação local é caracterizada por espécies do Cerrado *strictu sensu*. A precipitação anual média é de 1.840 mm com predomínio de estação chuvosa de novembro a maio e estação seca no restante do ano. Nesta área, amostras de Neossolo Quartzarênico foram coletadas no ano de 2013 em duas áreas sob diferentes tipos de uso: uma com cultivo convencional de cana-de-açúcar por pelo menos

sete anos, e outra em área adjacente à esta, porém com vegetação de Cerrado. A distância entre as duas áreas de coleta foi de aproximadamente 100 m, assim utilizou-se o mesmo regime hídrico natural durante a condução do experimento para ambas as áreas.

Nas duas áreas foram coletadas amostras deformadas de solo a cada 10 cm até a profundidade de 100 cm com o auxílio de trado holandês. Em cada área, as amostras de solo foram coletadas em três pontos próximos uns aos outros formando uma amostra composta. Após a coleta, as amostras foram devidamente identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Hidráulica da PUC-Goiás em Goiânia/GO onde realizou-se o experimento com colunas de solos.

As unidades experimentais foram compostas por colunas (três colunas para cada tipo de uso) montadas com sobreposição de anéis de PVC com 7,5 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Foram construídas colunas com 100 cm de altura composta por dez anéis unidos entre si por uma fita plástica adesiva (Figura 5.1.a). Antes da união dos anéis, uma dobra interna com fita adesiva foi colocada entre a união dos anéis de PVC para evitar o fluxo preferencial nas paredes das colunas. No fundo de cada coluna foram fixadas telas de nylon com malha de 1 mm a fim de se evitar a perda de solo (Figura 5.1.b). Antes do preenchimento das colunas, amostras de solo de cada camada e tipo de uso foram retiradas para caracterização química.

As amostras de solo em todas as camadas foram acomodadas nas colunas de forma a se estabelecer densidade próxima à $1,4 \text{ g cm}^{-3}$, conforme proposto por Caetano (2006). Pela relação massa/volume chegou-se à densidade desejada e sabendo-se a densidade e o volume interno de cada anel obteve-se a massa de solo que deveria ser adicionada. Após montagem, as colunas foram fixadas em suportes de ferro e posteriormente na parede de forma que ficassem acima do nível do chão (Figura 5.1.c). Na parte inferior de cada coluna foi adicionado um funil e abaixo deste um recipiente com capacidade de 500 mL para coleta do efluente lixiviado (Figura 5.1.d). Cada coluna recebeu 105 mg de K_2O na forma de KCl sobre a superfície da camada 0-10 cm. Este valor refere-se ao triplo do utilizado no formulado NPK na área de coleta do solo para o cultivo da cana-de-açúcar, que é de 80 Kg ha^{-1} de K^+ . Após a aplicação do KCl, compressas de gazes da marca Kerlix utilizadas para curativos foram sobrepostas sobre a superfície da camada superior das colunas para evitar um possível selamento superficial do solo quando da simulação da chuva.

Durante dez dias seguidos foi aplicada sobre as colunas uma quantidade diária de água deionizada que simulou uma chuva de 60 mm, com intervalo de 24 horas entre as

aplicações totalizando, ao término do experimento, quantidade correspondente à 600 mm de chuva. Ao término de cada aplicação diária, a parte superior de cada coluna foi fechada com um tampão de PVC com diâmetro de 75 mm (Figura 5.1.e), a fim de se evitar a perda de água por evaporação. O efluente lixiviado foi coletado em recipientes de 500 mL e posteriormente adicionado a provetas para determinação do volume final coletado. Após coleta, as amostras do efluente foram armazenadas em frascos âmbar (Figura 5.1.f), acidificadas com ácido nítrico, e encaminhadas para a determinação da concentração do íon potássio por espectrometria ótica de emissão com plasma de argônio (ICP-OES, APHA, AWWA, WEF, 2005).

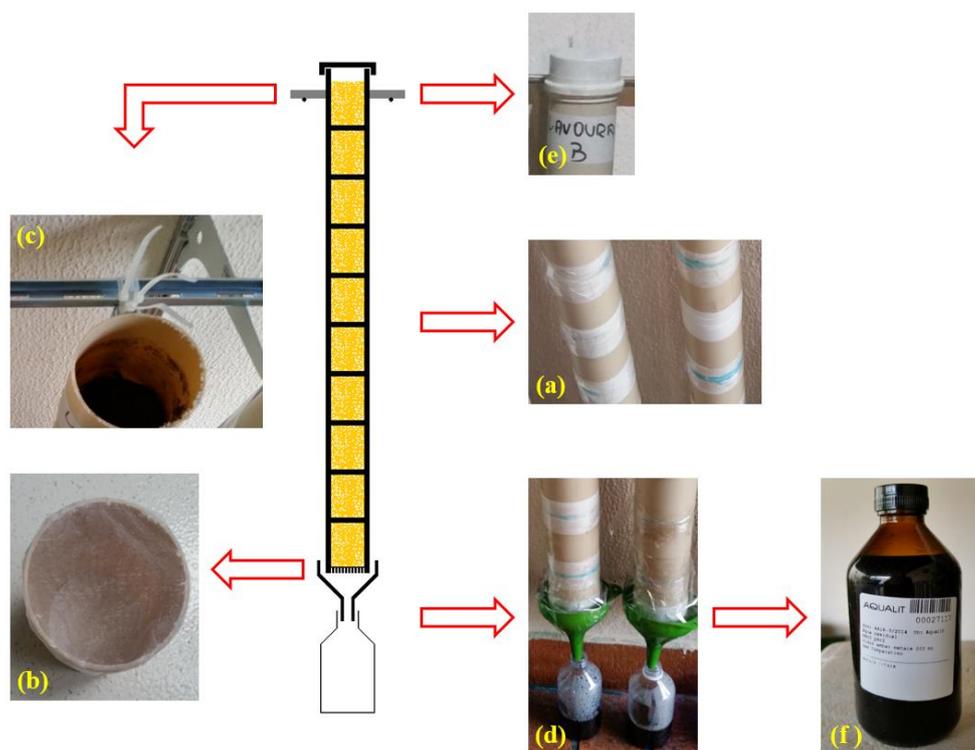


Figura 5.1. Esquema de cada coluna preenchida com Neossolo Quartzarênico: (a) união entre cada anel de 10 cm de altura; (b) tela de poliéster na parte inferior da coluna, para evitar perda de solo; (c) suporte utilizado para suspender as colunas; (d) funil e recipiente com capacidade volumétrica de 500 mL; (e) colunas devidamente fechadas com tampões de PVC com 75 mm de diâmetro; (f) frasco âmbar de 200 mL para armazenagem do efluente coletado de cada coluna

Passados dez dias após aplicação da chuva simulada, cada coluna foi desmontada e separada em dez parcelas com objetivo de obter-se amostras de solo referentes às dez profundidades de coleta: 0-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-80, 80-90 e 90-

100 cm. Em laboratório, o íon potássio foi extraído das amostras de solo com solução Mehlich-1 com relação solo:extrator 1:5 e sua concentração foi determinada por ICP-OES. Matéria orgânica (MO) foi determinada via oxidação com dicromato de potássio em meio sulfúrico e leitura por titulação. Também foram determinados os teores de areia total, silte e argila total (pelo método da pipeta), e o pH em água (com medição do pH eletronicamente por meio de eletrodo combinado imerso em suspensão solo:líquido de 1:2,5). Todas as determinações seguiram os procedimentos descritos por Embrapa (1997). Após determinação dos valores de potássio nas amostras de solo e no efluente, os dados foram submetidos a análise estatística pelo teste t ($\alpha = 0,05$), utilizando-se o *software* Assistat, na versão *free* 7.7.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Potássio no solo

Os valores médios de potássio antes e após a aplicação de KCl, de matéria orgânica (%), pH e a caracterização granulométrica para o Neossolo Quartzarênico sob influência do cultivo da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob Cerrado (RQ Cerrado) são apresentados na Tabela 5.1.

Os teores iniciais maiores de potássio encontrados para o RQ Lavoura (antes da aplicação de K^+ e da simulação de chuva) devem-se principalmente à adubação potássica anterior que ocorreu para o cultivo da cana-de-açúcar (Tabela 5.1). Segundo Otto et al. (2010), em solos com baixa disponibilidade de K^+ , como é o caso do Neossolo Quartzarênico, torna-se necessária a fertilização destes para se atingir uma produtividade sustentável. Também os autores fazem referência ao K^+ como sendo o nutriente mais absorvido pela cana-de-açúcar.

Ao comparar-se o RQ Lavoura antes e após a aplicação do KCl e da simulação da chuva nota-se um incremento de potássio em oito camadas de solo. Em seis camadas este incremento fez com que houvessem diferenças significativas nos teores de K^+ entre as camadas, principalmente nas duas camadas superiores e nas inferiores encontradas a partir de 70 cm de profundidade. Também na comparação do RQ Cerrado antes e após a aplicação do KCl e da simulação de chuva observa-se tendência parecida, com diferença significativa

entre os valores de concentração de K^+ ocorrendo em camada superficial e nas camadas inferiores a 60 cm de profundidade (Figura 5.2.a e Figura 5.2.b).

Tabela 5.1. Valores médios das concentrações do íon potássio antes (testemunha) e após a aplicação do KCl nas colunas de solo, da matéria orgânica (em $g\ Kg^{-1}$), do pH e da granulometria para Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar e sob Cerrado. Goiânia, 2013

Camadas (cm)	K^+ testemunha	K^+ pós aplicação	MO^2 ($g\ Kg^{-1}$)	pH --	Areia Total	Silte ($g\ Kg^{-1}$)	Argila Total
	($mg\ dm^{-3}$)	($mg\ dm^{-3}$)					
Neossolo Quartzarênico (RQ) Lavoura							
0-10	46	62,0 * ¹	15,3	5,77	898	22	80
10-20	38	46,0 *	10,3	5,87	900	20	80
20-30	32	32,0 ^{ns}	7,0	6,00	892	28	80
30-40	24	22,6 ^{ns}	6,3	5,67	892	28	80
40-50	12	21,3*	5,7	5,10	892	28	80
50-60	12	16,0 ^{ns}	6,3	4,70	882	28	90
60-70	12	16,0 ^{ns}	6,3	4,43	882	28	90
70-80	8	13,3 *	5,7	4,27	870	30	100
80-90	8	16,0 *	5,7	4,17	860	20	120
90-100	8	24,0 *	5,0	4,30	860	20	120
Neossolo Quartzarênico (RQ) Cerrado							
0-10	24	47,3 *	11,3	5,10	902	38	60
10-20	20	28,0 ^{ns}	8,0	4,67	918	22	60
20-30	16	16,0 ^{ns}	8,7	4,37	908	32	60
30-40	16	14,7 ^{ns}	7,0	4,23	922	18	60
40-50	12	13,3 ^{ns}	10,7	4,37	912	28	60
50-60	20	10,7 ^{ns}	8,0	4,10	912	28	60
60-70	8	10,7 *	6,3	4,13	912	28	60
70-80	8	16,0 *	5,7	4,10	900	20	80
80-90	8	21,3 *	5,7	4,03	890	10	100
90-100	8	22,7 *	5,0	4,03	890	10	100

¹ Comparação entre K^+ antes da aplicação da chuva *versus* K^+ após simulação das chuvas: * = significativo a 5% no teste t; ns = não significativo a 5% no teste t de Student; ² MO = Matéria Orgânica.

Tanto o RQ Lavoura quanto o RQ Cerrado apresentaram teores elevados de K^+ nas camadas superiores e inferiores do solo mostrando que houve retenção nas camadas superiores e movimentação do nutriente por lixiviação para as camadas inferiores após a simulação das chuvas (Figura 5.2).

Numericamente, com exceção das camadas entre 70 e 90 cm, em todas as camadas os valores de concentrações de K^+ no solo RQ Lavoura foram superiores aos de RQ

Cerrado (Tabela 5.1). Todavia, como os valores antes da aplicação do KCl no RQ Lavoura foram também superiores aos de RQ Cerrado (valores testemunhas) já era esperado teores maiores deste nutriente no solo sob cultivo.

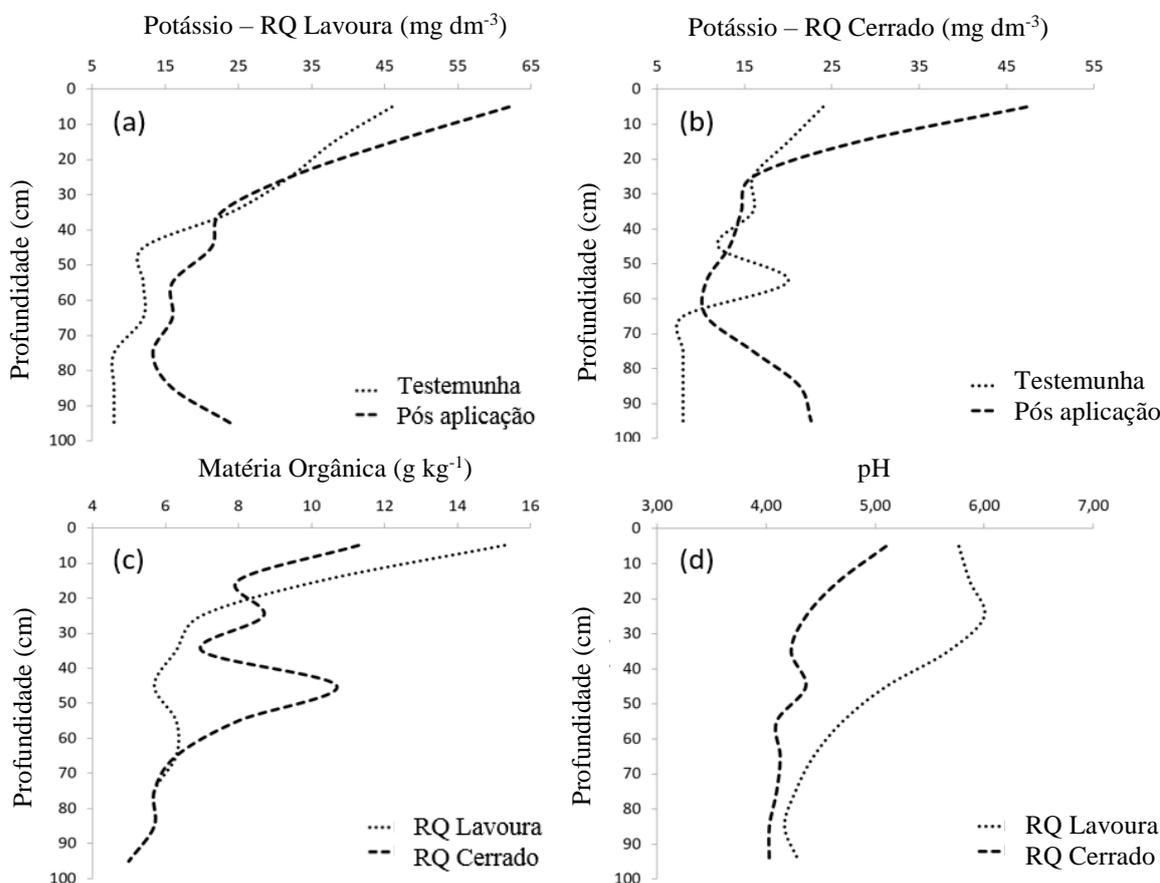


Figura 5.2. Valores médios de K^+ antes e após aplicação de chuva em solo RQ Lavoura (a); em RQ Cerrado (b); percentagem de matéria orgânica em RQ Lavoura e RQ Cerrado (c); pH em RQ Lavoura e RQ Cerrado (d)

Tanto o RQ Lavoura quanto o RQ Cerrado apresentaram teores elevados de K^+ nas camadas superiores e inferiores do solo mostrando que houve retenção nas camadas superiores e movimentação do nutriente por lixiviação para as camadas inferiores após a simulação das chuvas (Figura 5.2).

Numericamente, com exceção das camadas entre 70 e 90 cm, em todas as camadas os valores de concentrações de K^+ no solo RQ Lavoura foram superiores aos de RQ Cerrado (Tabela 5.1). Todavia, como os valores antes da aplicação do KCl no RQ Lavoura foram também superiores aos de RQ Cerrado (valores testemunhas) já era esperado teores maiores deste nutriente no solo sob cultivo.

O incremento de K^+ em profundidade não significa que a adição do nutriente irá aumentar a disponibilidade deste para as plantas indefinidamente, uma vez que o aumento da concentração de potássio na solução do solo é temporário (Ernani et al., 2001). Apesar disso, pode ser importante para algumas espécies pois coincide com o período inicial de crescimento e desenvolvimento das plantas em que estas podem absorver e acumular os nutrientes do solo com maior eficiência (Flora et al., 2007). No entanto, a lixiviação de K^+ que foi identificada para camadas do solo abaixo de 70 cm de profundidade (Tabela 5.1) pode ser um agravante, visto que o nutriente não estará mais tão disponível para a absorção da raiz da cana-de-açúcar podendo ficar livre para ser lixiviado até camadas mais profundas do solo ou mesmo atingir as águas subterrâneas.

Variáveis que podem estar relacionadas com as mudanças nos teores de potássio no solo estudado são o teor de argila, a matéria orgânica (MO) e o pH. O teor de argila é muito baixo nesse solo (Tabela 5.1), portanto não tem influência significativa na retenção do K^+ . Sabe-se que com a elevação do teor de MO ocorre o aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) dos solos (Araújo et al., 2007; Campos et al., 2011) e conseqüentemente maior retenção de K^+ . A função da MO na retenção de K^+ no solo estudado foi importante nas camadas superiores que apresentaram teores de MO acima de 1%, independentemente do tipo de uso do solo (Tabela 5.1). Para as demais camadas do solo não se observou relação direta entre o teor de MO e a retenção de K^+ (Figura 5.2.c).

O pH pode determinar a disponibilidade de diversos nutrientes no solo, inclusive o potássio, posto que teores mais baixos de K^+ no solo se associam a valores de pH menores que 5,0 (Mascarenhas et al., 1988). Também é reportado que baixos valores de pH aumentam a lixiviação de K^+ , até em solos argilosos, normalmente considerados pouco propícios para essa ocorrência (Quaggio, 2000). Entretanto, essa relação entre o pH e a retenção de K^+ não foi observada nesse estudo. Nota-se que em decorrência da calagem ocorrida no ano de 2008 no RQ Lavoura, o solo sob lavoura possui valores de pH acima dos valores encontrados no RQ Cerrado (Figura 5.2.d). Entretanto, mesmo com as diferenças nos valores de pH para os dois tratamentos, não foi encontrada relação direta entre valores de pH e a retenção de K^+ no solo estudado. Potássio foi pouco retido no solo mesmo em condições de pH com valores superiores a 5,0, como no caso das camadas de 20-30 e 30-40 cm de profundidade do RQ Lavoura (Tabela 5.1), e sofreu retenção em camadas do solo com valores de pH inferiores a 5,0, como no caso das camadas inferiores do RQ Lavoura e RQ

Cerrado (Tabela 5.1). Assim, houve retenção de K^+ em condições distintas de pH, portanto o pH não controlou a retenção do K^+ no solo estudado.

5.3.2 Potássio no efluente

Nos primeiros três dias de simulação da chuva não houve produção de efluente para ser coletado. Isso ocorreu pelo fato dos poros, antes preenchidos por ar, estarem sendo preenchidos pela água aplicada até aquela data. A partir do quarto dia até o final da aplicação de chuva simulada houve drenagem da água livre e coleta do efluente. Os valores médios de potássio presentes no efluente são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2. Valores médios do íon potássio (em mg de K^+) presente no efluente das colunas de Neossolo Quartzarênico sob influência da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob Cerrado (RQ Cerrado). Goiânia (2013)

Dia de coleta após primeira drenagem	RQ Cerrado	RQ Lavoura
	mg de K^+	
1	6,77	12,52 ^{*1}
2	7,84	18,28 [*]
3	7,61	11,31 ^{ns}
4	5,11	6,58 ^{ns}
5	4,44	4,68 ^{ns}
6	6,11	4,07 ^{ns}
7	4,73	3,79 [*]
Total lixiviado	42,61	61,23

¹ Comparação na linha entre o valor médio de K^+ nos dias de coleta do efluente; * = significativo a 5% no teste t; ns = não significativo a 5% no teste t de student.

Os valores de K^+ no efluente do RQ Cerrado foram até o quinto dia de simulação de chuva menores que os valores de potássio no RQ Lavoura, porém, apenas nos dois primeiros dias de drenagem do efluente ocorreu diferença significativa entre eles. Também houve diferença significativa no último dia de coleta, entretanto, com teor maior de potássio no RQ Cerrado (Tabela 5.2) contrariando os resultados obtidos nas duas primeiras coletas. Isso indica que a perda de K^+ por lixiviação ocorreu mais rapidamente no RQ Lavoura e foi seguida por um decréscimo nessa perda até o final da aplicação da chuva. Enquanto no RQ Cerrado não houve tendência evidente de variação no teor de K^+ ao longo dos dias de coleta, o que indica que a perda foi contínua durante o experimento. Isso demonstra que o tipo de uso interfere na lixiviação de K^+ ao longo do perfil neste tipo de solo.

Apesar de se tratar do mesmo solo, do mesmo regime hídrico simulado e das mesmas quantidades de K^+ aplicadas nas colunas, o uso do solo nestas duas condições influenciou a diferença encontrada para o total percolado de potássio nos dois tratamentos, com a média de 61,23 mg de K^+ drenados nas colunas com RQ Lavoura (58,3 % da concentração de K^+ aplicada) e 42,61 mg de K^+ (equivalente a 40,6% da concentração de K^+ aplicada) nas colunas preenchidas com RQ Cerrado. Isso indica que ocorreu maior movimentação vertical de K^+ no RQ Lavoura, principalmente no início da lixiviação.

Os resultados apresentados na Figura 5.3 mostram que os teores de K^+ presentes no efluente do RQ Lavoura após significativo aporte de água tenderam a decrescer neste tipo de solo. Este fato é preocupante tanto sob o ponto de vista econômico quanto ambiental, visto que nas áreas estudadas ocorrem altos índices pluviométricos anuais (entre outubro e abril de 2011/2012: 1.511 mm; entre outubro e abril de 2012/2013: 1.867 mm e entre outubro e abril de 2013/2014: 1.833 mm). Assim, a perda maior de K^+ no início das chuvas (após os primeiros meses da estação chuvosa) no RQ Lavoura pode afetar a disponibilidade deste nutriente para as raízes da cana-de-açúcar e dessa forma afetar a produtividade agrícola. Por outro lado, a perda maior no início das chuvas pode favorecer uma mobilidade mais intensa do K^+ no perfil do solo beneficiando o aporte deste nutriente para as águas subterrâneas.

Werle et al. (2008), após testarem solos de textura arenosa e solos de textura argilosa, relatam que o primeiro possibilita maior intensidade de lixiviação do potássio evidenciada pela rápida lavagem do nutriente. Portanto, a maior lixiviação de K^+ encontrada para o RQ Lavoura mostra que o aumento dos teores de K^+ no solo a partir da adubação potássica pode aumentar as perdas do nutriente no perfil do solo, levando, além da lixiviação, à falta de sincronismo entre a disponibilidade de K^+ e a exigência nutricional da planta.

A movimentação do potássio no solo ocorre predominantemente pelo processo de difusão, ou seja, de forma lenta e a curtas distâncias através de filmes de água que circundam as partículas do solo (Malavolta, 1980). No entanto, Miranda et al. (2005) citam que alta parcela desse nutriente pode movimentar-se no solo por fluxo de massa. Os resultados obtidos para o RQ Lavoura indicam uma movimentação rápida de K^+ no perfil do solo possivelmente associada a transporte por fluxo de massa, enquanto a movimentação mais lenta de K^+ identificada no RQ Cerrado pode estar mais associada ao processo de difusão. Assim, os diferentes tipos de uso do Neossolo Quartzarênico podem afetar o transporte de potássio no perfil do solo.

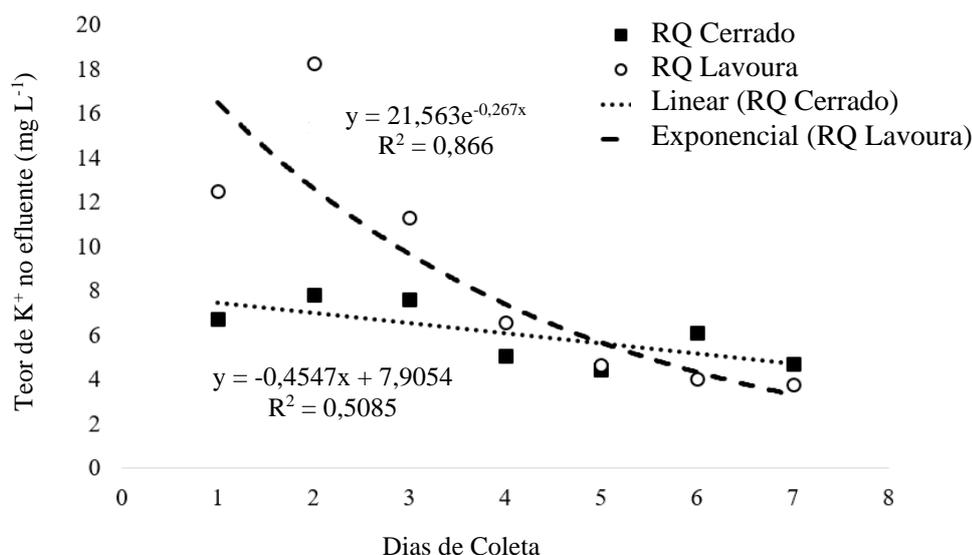


Figura 5.3. Teores do íon potássio lixiviado (mg L^{-1}) em Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob Cerrado (RQ Cerrado) após aplicação de 105 mg de K_2O e 600 mm de chuva simulada. Goiânia (2013)

Observa-se que a perda maior de K^+ ocorreu no RQ Lavoura (Tabela 5.2) e deve estar associada a baixa capacidade de retenção deste nutriente pelo solo, possivelmente associada a menor disponibilidade de sítios com carga negativa que já estavam ocupados por íons tais como Ca, Mg e, mesmo, K^+ provenientes de correções e adubações anteriores. Em concordância, Souza et al. (1979) constataram tendência à exaustão do K^+ trocável do solo em função de cultivos sucessivos com aplicações de 60 kg ha^{-1} de K^+ aplicado na forma de KCl. Rosolem et al. (1984) notaram um acentuado decréscimo nos teores de K^+ trocável do solo no transcorrer de cultivos sucessivos de solo e afirmam ser necessária a utilização de no mínimo 80 kg ha^{-1} de K^+ por ano para manter um teor estável de K^+ trocável no solo. Também Silva et al. (2001) avaliaram a possível movimentação do K^+ após aplicações sucessivas de KCl no cultivo do pimentão e concluíram que o aumento do K^+ no solo reflete diretamente na saturação do nutriente no complexo de troca, deixando assim o nutriente livre para ser lixiviado com a precipitação ou irrigação.

Assim sendo, a aplicação desse nutriente deve ser pensada não apenas pelos aspectos econômicos, mas também ambiental, visto que no Neossolo Quartzarênico, caracterizado por possuir boa drenagem, a movimentação vertical de potássio será rápida em áreas de lavoura de cana-de-açúcar com grande volume de água precipitada. Portanto, sugere-se o parcelamento da adubação potássica, principalmente em épocas com grande volume de precipitação hídrica.

5.4 CONCLUSÕES

1. No geral, a retenção do íon potássio no solo variou com o tipo de uso (Neossolo Quartzarênico sob lavoura e sob Cerrado). Os maiores teores de K^+ encontrados no RQ Lavoura (em comparação com RQ Cerrado) após aplicação do nutriente foram acompanhados dos maiores valores do íon potássio na testemunha do mesmo solo;

2. A concentração residual do íon potássio proveniente das adubações anteriores na cultura da cana-de-açúcar incrementa a concentração de K^+ lixiviado.

3. Em Neossolo Quartzarênico sob cultivo de cana-de-açúcar o parcelamento da adubação potássica é fundamental, uma vez que grandes quantidades de K^+ proveniente da adubação influenciam a perda deste por meio da lixiviação na solução do solo.

4. Neste tipo de solo não há influência do pH na mobilidade do íon potássio, portanto, em Neossolo Quartzarênico pode haver significativa perda de K^+ mesmo que seja feita a correção do pH do solo.

5. A matéria orgânica somente influencia positivamente a retenção de K^+ para teores acima de 10 g Kg^{-1} .

5.5 REFERÊNCIAS

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 21 ed. American Public Health Association, Washington, D.C. 2005.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob Cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 1099-1108, 2007.

CAETANO, J. O. **Caracterização de atributos químicos e físicos de um Neossolo Quartzarênico sob diferentes tempos de cultivo de soja e milho**. Rio Verde, GO: Universidade de Rio Verde. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Universidade de Rio Verde – FESURV, 2006. 94 p. Disponível em: <<http://producaovegetal.fesurv.br/admin/images/pdfs/584566916.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2013.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L. F. C.; MACIEL, G. A.; IWATA, B. F.; NÓBREGA, J. C. A. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 1, p. 1681-1689, 2011.

CUNHA, R. C. A.; COSTA, A. C. S.; MASET FILHO, B.; CASARINI, D. C. P. Effects of irrigation with vinasse and dynamics of its constituents in the soil: I - physical and chemical aspects. **Water Science Technology**, New York, v. 19, n. 8, p. 155-165, 1981.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

ERNANI, P. R.; RIBEIRO, M. F. S.; BAYER, C. Modificações químicas em solos ácidos ocasionados pelo método de aplicação de corretivos de acidez e de gesso agrícola. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 825-831, 2001.

ERNANI, P. R.; BAYER, C. ALMEIDA, J. A.; Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 393-402, 2007.

FLORA, L. P. D; ERNANI, P. R.; CASSOL, P. C. Mobilidade de cátions e correção da acidez de um Cambissolo em função da aplicação superficial de calcário combinado com sais de potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 1591-1598, 2007.

GLOEDEN, E.; CUNHA, R. C. A.; FRACCAROLI, M. J. B.; CLEARY, R. W. The behavior of vinasse constituents in the unsaturated and saturated zones in the Botucatu aquifer recharge area. **Water Science Technology**, New York, v. 24, n. 11, p.147-157, 1991.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 525-532, 2003.

MALAVOLTA, E. **Potássio, magnésio e enxofre nos solos e culturas brasileiras**. E. ed. Piracicaba: Instituto Internacional de Pesquisa da Potassa, 1980. 91 p.

MASCARENHAS, H. A. A.; BULISANI, E. A.; MIRANDA, M. A. C. de; PEREIRA, J. C. V. N. A.; BRAGA, N. R. Deficiência de potássio em soja no Estado de São Paulo: melhor entendimento do problema e possíveis soluções. **O Agrônomo**, Campinas, v. 40, n. 1, p. 34-43, 1988.

MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; SELBACH, P. A. Poluentes do solo e do ambiente. In: Meurer, E. J. (ed.). **Fundamentos de química do solo**. Porto Alegre: Genesis, v. 1, p. 151-168, 2000.

- MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; LIBARDI, P. L.; FOLEGATTI, M. V. Simulação do deslocamento de potássio em colunas verticais de solo não-saturado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 677-685, 2005.
- NEVES, L. S. das; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A. Mobilidade de Potássio em Solos Decorrente da Adição de Doses de Cloreto de Potássio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, n. 1, p. 25-32. 2009.
- OLIVEIRA, L. F.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; RUIZ, H. A.; LIMA, L. A. Transporte de solutos no solo e no escoamento superficial: I - desenvolvimento do modelo e simulação do movimento de água e escoamento superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 63-69, 2000.
- OREN, O.; YECHIELI, Y.; BOEHLKE, J. K.; DODY, A. Contamination of groundwater under cultivated fields in an arid environment, Central Arava Valley, Israel. **Journal of Hydrology**, London, v. 209, n. 3-4, p. 312-328, 2004.
- OTTO, R.; VITTI, G. C.; LUZ, P. H. C. Manejo da adubação potássica na cultura da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, n. 1, p. 1137-1145, 2010.
- QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem e solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 2000. 111p.
- ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J. Residual and anual potassic fertilization for soybeans. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, London, v. 59, n. 1, p. 143-149, 2001.
- ROSOLEM, C. A.; NAKAGAWA, J.; MACHADO, J. R. Adubação potássica da soja em Latossolo Vermelho escuro fase arenosa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 1, p. 1319-1326, 1984.
- ROSOLEM, C. A.; SANTOS, F. P.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 6, p. 1033-1040, 2006.
- SILVA, M. A. G.; BOARETTO, A. E.; FERNANDES, H. G.; BOARETTO, R.; MELO, A. M. T.; SCIVITTARO, W. B. Características químicas de um Latossolo adubado com uréia e cloreto de potássio em ambiente protegido. **Scientia Agrícola**, São Paulo, v. 58, n. 3, p. 561-566, 2001.
- SILVA, M. A. S.; GRIEBELER, N. P.; BORGES, L. C. Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 108-114, 2007.

SOUZA, E. A.; CARNIATO, N. C.; BAUMGARTNER, J. G.; SANTIAGO, G. Efeito do calcário dolomítico do superfosfato simples e do cloreto de potássio na cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.). **Científica**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 199-203, 1979.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 1, p. 2297-2305, 2008.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um momento preocupante tanto econômico quanto ambiental, a realização deste estudo veio para auxiliar a sanar algumas dúvidas sobre o uso de solos considerados frágeis para o cultivo agrícola.

O estudo sobre a movimentação de potássio neste tipo de solo sob condições controladas em colunas mostrou que após a adubação e ocorrência de precipitação poderá ocorrer incremento no aporte de potássio em camadas subsuperficiais que podem não ser acessadas pelo sistema radicular da cana-de-açúcar. A retenção de potássio no solo não variou com o tipo de uso (Neossolo Quartzarênico sob lavoura e sob Cerrado), visto que os maiores teores de K^+ encontrados no RQ Lavoura (em comparação com RQ Cerrado) após aplicação do nutriente eram acompanhados dos maiores valores de potássio na testemunha do mesmo solo, indicando assim o efeito residual da adubação potássica que ocorreu no solo cultivado e que influenciou nos maiores valores de concentração de potássio lixiviado encontrado para as colunas de Neossolo Quartzarênico sob lavoura.

No experimento sob diferentes regimes hídricos não houve grande diferença entre os valores médios de potássio para o regime hídrico natural e para o regime hídrico controlado. Individualmente, a movimentação de potássio ocorreu de forma rápida no regime hídrico controlado quando houve em 72 horas de experimento enriquecimento das camadas inferiores com o nutriente estudado para os dois tipos de uso. Já no regime hídrico natural houve movimento significativo dos teores de potássio para camadas inferiores após precipitação de 1.638 mm, tanto no Neossolo Quartzarênico sob lavoura quanto no Neossolo Quartzarênico sob Cerrado.

Na avaliação bianual da movimentação do potássio, avaliou-se que este possui comportamento distinto para o solo cultivado com cana-de-açúcar e para o solo sob Cerrado, em que no Neossolo Quartzarênico sob cultivo ocorre a diminuição dos teores do nutriente na camada superior do solo devido principalmente à absorção deste pela cultura, indicando assim a necessidade de reposição contínua de potássio por meio de fertilizantes. Já em solo sob Cerrado as variações nas concentrações de potássio ao longo das épocas parecem ser controladas pelo ciclo natural de alterações na vegetação, onde há um relativo balanço entre

o consumo do nutriente durante o período seco e uma adição deste ao solo durante o período chuvoso.

No geral, nos três experimentos, não houve influência do pH na mobilidade de potássio e a matéria orgânica somente influenciou na retenção do íon para valores de MO acima de 1%. Conclui-se que o pH não influencia a movimentação de K^+ em Neossolo Quartzarênico nas condições estudadas e que pode haver significativa perda de K^+ , mesmo que seja feita a correção do pH do solo. Também para a capacidade de troca catiônica não houve correlação com o íon potássio.

Apesar de terem sido realizados três experimentos independentes, os resultados obtidos nestes mostraram perspectivas parecidas, ou seja, há grande probabilidade de ocorrer a movimentação vertical de potássio em Neossolos Quartzarênicos cultivados com cana-de-açúcar, o qual pode ser perdido sob ponto de vista da utilização da cultura e/ou gerar impactos negativos aos mananciais de águas subterrâneas.

Portanto, a utilização de solos considerados frágeis para fins agrícolas, como no cultivo da cana-de-açúcar, deve ser melhor planejada considerando que o uso e o manejo inadequados podem acarretar em movimentação do íon potássio para camadas profundas do solo, fazendo com que este fique indisponível para a cultura utilizada ou ainda chegando às águas subterrâneas juntamente com a água que percola no perfil, mudando assim as características químicas destas.

Por fim, considerando que os solos frágeis como o Neossolo Quartzarênico estudado continuarão sendo utilizados para práticas agrícolas, recomenda-se que novos estudos sejam realizados a fim de verificar a viabilidade econômica e ambiental da utilização destes solos tanto para o cultivo da cana-de-açúcar quanto para o cultivo de outras espécies de plantas.

7 APÊNDICES

Apêndice A. Correlação de Pearson entre potássio e matéria orgânica (K^+ x MO), pH (K^+ x pH) e capacidade de troca catiônica (K^+ x CTC) de um Neossolo Quartzarênico sob cultivo da cana-de-açúcar (RQ Lavoura) e sob vegetação de Cerrado (RQ Cerrado) para uma avaliação bianual ($p < 0,05$)

Época ¹	Atrib. ²	Profundidade (cm)				
		0 – 20	20 – 40	40 – 60	100 – 120	160 – 180
RQ Lavoura						
Nov/11	K^+ x MO	-0,42	0,19	-0,29	0,19	0,19
Abr/12	K^+ x MO	0,33	0,12	0,19	-0,03	0,02
Nov/12	K^+ x MO	0,39	0,05	-0,24	0,03	0,15
Abr/13	K^+ x MO	-0,69	-0,23	0,36	0,01	-0,09
Nov/11	K^+ x pH	-0,24	0,02	0,12	0,39	0,43
Abr/12	K^+ x pH	-0,42	-0,22	0,27	0,58	0,09
Nov/12	K^+ x pH	0,12	0,13	0,37	-0,49	-0,64
Abr/13	K^+ x pH	-0,05	-0,62	-0,16	0,19	-0,22
Nov/11	K^+ x CTC	0,19	0,20	0,32	-0,22	-0,41
Abr/12	K^+ x CTC	0,07	-0,08	-0,26	-0,29	-0,37
Nov/12	K^+ x CTC	0,18	0,12	0,11	0,62	0,86
Abr/13	K^+ x CTC	0,58	0,35	0,20	0,63	-0,49
RQ Cerrado						
Nov/11	K^+ x MO	0,75	0,54	-0,47	0,34	0,28
Abr/12	K^+ x MO	0,50	0,26	0,55	0	0,14
Nov/12	K^+ x MO	-0,15	0	0,39	0	0,13
Abr/13	K^+ x MO	0,66	0,73	0,15	0,19	0
Nov/11	K^+ x pH	0,53	-0,30	0,06	0,09	0,02
Abr/12	K^+ x pH	-0,70	0,04	-0,06	0	-0,12
Nov/12	K^+ x pH	0,19	-0,18	0,13	0	0
Abr/13	K^+ x pH	0,43	0,15	-0,14	0,09	0
Nov/11	K^+ x CTC	0,89	0,61	0,27	0,39	0,25
Abr/12	K^+ x CTC	0,56	0,37	0,79	0	0,13
Nov/12	K^+ x CTC	0,13	0,30	-0,19	0	-0,36
Abr/13	K^+ x CTC	0,58	0,57	0,40	0,48	0

¹ Épocas de amostragem: novembro de 2011, abril de 2012, novembro de 2012 e abril de 2013; ² Atrib: Atributos amostrados: K^+ : potássio ($mg \cdot dm^{-3}$), MO: Matéria Orgânica (%), pH: Potencial Hidrogeniônico e CTC: Capacidade de Troca Catiônica ($cmol_c \cdot dm^{-3}$).