



DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n1p84-90>

## Atributos químicos da solução e do solo após aplicação de resíduo da extração de celulose

Thais M. S. Maciel<sup>1</sup>, Marlene C. Alves<sup>2</sup> & Flavia C. Silva<sup>3</sup>

### Palavras-chave:

Latossolo  
cinzas  
dregs/grits  
potássio  
sódio

### RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar, em casa de vegetação e usando colunas de solo e ciclos de umedecimento, o efeito da aplicação de resíduos da extração de celulose sobre a composição química do solo e da solução extraída de dois Latossolos Vermelhos. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. Os tratamentos utilizados foram: T1 - Sem adição de calcário e resíduo (testemunha); T2 - 1,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico; T3 - 1,2 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits; T4 - 0,8 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal; T5 - 2,4 t ha<sup>-1</sup> de cinza; T6 - 1,8 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal + cinza na proporção 1:3:6; T7 - 1,0 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3. A avaliação da composição química da solução extraída de cada solo estudado, foi realizada durante quatro meses de incubação e análises químicas do solo, após este período. Os resultados foram analisados efetuando-se a análise de variância e o teste de Tukey para as comparações de média no nível de 0,05 de probabilidade. Dentre os tratamentos aplicados o 1,2 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits pode não ser adequado para utilização no solo visto que transferiu maior concentração de Na<sup>+</sup> para a solução do solo em relação ao recomendado pela literatura enquanto o tratamento 2,4 t ha<sup>-1</sup> de cinza pode ser utilizado como fonte de K ao solo.

### Key words:

Oxisol  
ashes  
dregs/grits  
potassium  
sodium

## Chemical attributes of the solution and soil after application of residue of cellulose extraction

### ABSTRACT

The purpose of the study was to evaluate, under greenhouse conditions, using soil columns and cycles of wetting, the effect of residues from the extraction of cellulose on the chemical composition of the soil solution and on the two Red Oxisols. The experimental design was completely randomized. The treatments were: T1 - without the addition of lime and residue (control), T2 - 1.0 t ha<sup>-1</sup> of limestone, T3 - 1.2 t ha<sup>-1</sup> dregs/grits, T4 - 0.8 t ha<sup>-1</sup> of lime mud; T5 - 2.4 t ha<sup>-1</sup> ash, T6 - 1.8 t ha<sup>-1</sup> dregs/grits + lime mud + ash in the ratio 1:3:6, T7 - 1.0 t ha<sup>-1</sup> dregs/grits + lime mud in the ratio 1:3. Evaluation was performed of the chemical composition of the solution extracted from each soil during four months of incubation and also chemical analysis of soil thereafter. The results were analysed by performing analysis of variance and Tukey test for comparison of means at 0.05 probability level. Among the applied treatments, 1.2 t ha<sup>-1</sup> dregs/grits is not found suitable for use in soil because of larger concentration of Na<sup>+</sup> transferred to the soil solution than recommended in the literature and the 2.4 t ha<sup>-1</sup> ash treatment can be used as a source of K to the soil.

## INTRODUÇÃO

Com a produção de papel e celulose, as indústrias do setor florestal têm gerado diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos e efluentes, os quais se têm constituído em preocupação ambiental e econômica significativa (Altesor et al., 2008). Para cada 100 t de celulose produzida são gerados em torno de 48 t de resíduos nas fábricas de papel e celulose (Arruda et al., 2011). Para converter a madeira em polpa celulósica, existem diferentes processos na indústria, sendo o principal o químico, normalmente chamado processo Kraft. A partir do processo Kraft são gerados, como resíduos, a lama de cal, dregs/grits e as cinzas. A opção por aterro industrial para a disposição final desses resíduos é indesejável, em função dos altos custos para sua implantação e manutenção além da exigência de cuidados especiais no manuseio tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (Bellote et al., 1998; Maeda et al., 2011).

Neste contexto têm surgido diversos trabalhos de investigação no sentido de buscar soluções alternativas para sua utilização na produção de papel e celulose que permitam seu aproveitamento e a diminuição do impacto ambiental (Arruda, 2012). Portanto, esses resíduos gerados por indústrias de papel e celulose têm sido utilizados no solo, em alguns estudos na área agrícola.

Os benefícios da aplicação de resíduos da extração de celulose em ecossistemas florestais podem ser classificados em três categorias: melhoria do solo; aumento na produtividade de madeira e benefícios secundários devido à resposta do sub-bosque, que frequentemente é mais vigoroso nos seis meses seguintes à aplicação (Harrison et al., 2003).

Medeiros (2008) verificou, estudando a aplicação superficial de resíduo de celulose em um Cambissolo Húmico, aumento do pH, dos teores de sódio, da soma e da saturação por bases trocáveis, além de redução dos níveis de alumínio. Este autor afirma que os problemas potenciais do uso agrícola desses resíduos são decorrentes sobretudo da elevada concentração de Na e da elevada relação  $CaMg^{-1}$  do resíduo, em que o primeiro ocasiona dispersão do solo com prejuízos à sua estrutura e o segundo é passível de favorecer distúrbios fisiológicos às plantas.

Avaliando em laboratório os efeitos da aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em solos florestais, Costa et al. (2009) verificaram aumento no pH, diminuição no alumínio trocável, diminuição da acidez potencial, aumento nos níveis de cálcio e magnésio, aumento nas camadas iniciais para o fósforo e aumento na saturação por bases, sem alteração do teor de sódio e matéria orgânica do solo.

O uso de doses de carbonato de cálcio, cinza, lama de cal e lodo celulósico em atributos químicos de um Neossolo Regolítico provocou aumento do pH e dos teores de Ca,

Mg e P à medida em que as doses estudadas em todos os tratamentos também aumentaram. As cinzas contribuíram para o aumento de K, Ca, Mg e P porém a razão Ca/Mg foi elevada pela aplicação de lama de cal e lodo celulósico a valores que podem ser prejudiciais ao solo (Maeda & Bognola, 2013).

Verifica-se, com base nessas premissas, que o uso de resíduos da extração de celulose em áreas agrícolas pode favorecer o desenvolvimento das culturas, reduzir a quantidade de adubos inorgânicos e trazer benefícios ao ambiente; contudo, apresentam restrições em seu uso, relacionadas principalmente com a alteração na qualidade do solo sendo necessários estudos mais aprofundados.

Mediante a preocupação com o impacto ambiental que esses resíduos podem causar, o objetivo da pesquisa foi avaliar, em casa de vegetação e usando colunas de solo e ciclos de umedecimento, o efeito da aplicação de resíduos da extração de celulose nos atributos químicos do solo e da solução extraída de dois Latossolos Vermelhos, um de textura franco-arenosa e outro de textura franco-argilo-arenosa.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em casa de vegetação localizada no município de Ilha Solteira, SP. A área se encontra entre as coordenadas geográficas de 51° 20' de longitude oeste de Greenwich e 20° 25' de latitude sul, a 380 m de altitude, apresentando médias anuais de: precipitação pluvial, 1.370 mm; temperatura, 23,5 °C e umidade relativa do ar, entre 70 e 80%.

Foram estudados dois solos: Latossolo Vermelho, textura franco-arenosa, coletados no município de Três Lagoas (MS) e Latossolo Vermelho, textura franco-argilo-arenosa, coletado em Selvíria (MS).

A caracterização dos solos com análises químicas foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001) (Tabela 1) e a granulometria do solo pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997) (Tabela 2).

Foram montadas, para incubar o solo, colunas de PVC com 0,50 m de altura e 0,20 m de diâmetro interno. Na parte inferior foram fixadas por um "cap", com abertura igual ao diâmetro do tubo e sobre esses colocados discos de manta geotêxtil do tipo Bidim (utilizada em sistemas de drenagem) para não haver perda de solo. As colunas foram preenchidas com solo até 0,40 m de altura. Tentando obter uniformidade

Tabela 2. Caracterizações granulométricas dos solos estudados (janeiro/2012), coletados na camada de 0-0,20 m

Solo	Argila	Silte	Areia total
	(g kg <sup>-1</sup> )		
LV, textura franco-arenosa	112	89	798
LV, textura franco-argilo-arenosa	306	74	620

LV - Latossolo vermelho

Tabela 1. Caracterizações químicas dos solos (janeiro/2012) coletados na camada de 0-0,20 m

P <sub>resina</sub> (mg dm <sup>-3</sup> )	MO (g dm <sup>-3</sup> )	pH CaCl <sub>2</sub>	K	Ca	Mg	H + Al (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	SB	CTC	Na	V (%)	m
Latossolo Vermelho (LV), textura franco-arenosa - Três Lagoas, MS											
4	12	4,0	1,1	4	4	28	9,1	37,1	0,1	25	47
Latossolo Vermelho (LV), textura franco-argilo-arenosa - Selvíria, MS											
4	18	4,3	1,2	2	4	38	7,2	45,2	0,1	16	53

na confecção evitando estratificação das partículas e camadas de compactação diferentes, o solo foi cuidadosamente acondicionado com um funil acoplado a um tubo de PVC, com diâmetro menor que a coluna. Inicialmente, o solo foi colocado com a ajuda de uma caneca no funil até que preenchesse o tubo PVC e o funil. Uma vez cheio, foi levantado suavemente com vista à passagem do solo para a coluna. Para o melhor acondicionamento do solo bateu-se na coluna durante e ao término, com um martelo de borracha visando ao melhor acondicionamento do solo.

A densidade do solo foi simulada de acordo com os resultados de sua caracterização. Para o Latossolo textura franco-arenosa foi  $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$  e para Latossolo de textura franco-argilo-arenosa foi de  $1,2 \text{ kg dm}^{-3}$ . Para realizar a extração da solução do solo foram instalados, em cada coluna, extratores de solução de cápsula porosa a 0,10 m de altura do solo (Souza et al., 2012), na profundidade de 0,10 m na coluna. Após o preenchimento das colunas com solo os resíduos de celulose foram acondicionados em sulco, no solo das colunas.

O experimento foi realizado seguindo o delineamento inteiramente casualizado com sete tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos utilizados foram:  $T_1$  – sem adição de calcário e resíduos (testemunha);  $T_2$  –  $1,0 \text{ t ha}^{-1}$  de calcário calcítico;  $T_3$  –  $1,2 \text{ t ha}^{-1}$  de dregs/grits;  $T_4$  –  $0,8 \text{ t ha}^{-1}$  de lama de cal;  $T_5$  –  $2,4 \text{ t ha}^{-1}$  de cinzas;  $T_6$  –  $1,8 \text{ t ha}^{-1}$  de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3:6;  $T_7$  –  $1,0 \text{ t ha}^{-1}$  de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3.

Os resíduos de celulose foram cedidos pela empresa FIBRIA, localizada em Três Lagoas (MS) e sua caracterização química realizada antes da instalação do experimento (Tabela 3). A caracterização do resíduo foi realizada pelo Laboratório de fertilizantes e corretivos da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Campus de Botucatu (UNESP), localizada no município de Botucatu, SP; as doses estudadas nos tratamentos, recomendadas pela empresa FIBRIA, foram definidas em função da fertilidade do solo e da necessidade da cultura do eucalipto levando-se em consideração a forma de aplicação dos resíduos em sulco.

O experimento foi realizado no período de 120 dias (16-12-2012 a 14-04-2013). As colunas de solo foram submetidas a regime de umedecimento para influenciar na atuação do resíduo sobre a agregação do solo. Foram aplicados, com auxílio de regador, 3,4 L de água para saturar o solo em cada coluna; essas colunas permitiram, em virtude de apresentarem a abertura inferior vedada por uma manta de Bidim, a livre saída da água percolada e foram saturadas com água a cada dez dias, totalizando 12 ciclos.

Extrações de solução do solo foram realizadas em dezembro de 2012 (0 e 10 dias), janeiro (20 e 30 dias), fevereiro (40, 50 e 60 dias), março (70, 80 e 90 dias) e abril (100, 110 e 120 dias) de 2013, durante a incubação do solo, no total de 13 coletas. As extrações foram iniciadas 12 h após uma saturação tendo-

se aplicado, nos extratores, um vácuo, com auxílio de seringa de 60 mL.

Realizaram-se quatro análises laboratoriais das soluções extraídas, sendo: 1ª) análise composta da solução de 0, 10, 20 e 30 dias; 2ª) análise com soluções coletadas aos 40, 50 e 60 dias, 3ª) análise com soluções de 70, 80 e 90 dias e 4ª) análise com soluções coletadas aos 100, 110 e 120 dias após o período de incubação. Na solução do solo extraído, foram determinados diretamente em laboratório, sem filtragem ou digestão, a condutividade elétrica (CE), o teor de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Sódio (Na) conforme Raij et al. (2001).

Após 120 dias de incubação do solo as colunas foram desmontadas. Para a coleta de amostras deformadas os solos das colunas foram retirados e após secá-lo ao ar, o solo foi coletado e homogeneizado dentro de um saco para posterior peneiramento e realização das análises químicas.

De acordo com a metodologia descrita por Raij et al. (2001) foram avaliados, nas amostras de solo, os teores de fósforo, potássio, magnésio e cálcio, pelo método de extração com resina trocadora de íons, além de determinado, ainda, sódio trocável por fotometria. O teor de matéria orgânica foi determinado pelo método colorimétrico, o pH em cloreto de cálcio e a acidez potencial (H + Al) a pH 7,0. Calcularam-se as somas de bases ( $SB = Ca + Mg + K$ ), a capacidade de troca catiônica ( $CTC = SB + (H + Al)$ ) e a saturação por bases ( $V\% = (100 \times SB) / CTC$ ).

Os dados foram analisados efetuando-se a análise de variância e o teste de Tukey para as comparações de média no nível de 0,05 de probabilidade. O teste de Tukey é considerado rigoroso e apresenta controle da taxa de erros do tipo I (atribuir significância quando ela realmente não existir) nas comparações entre as médias. Embora este estudo apresente grande número de tratamentos, o que poderia favorecer erros do tipo II (atribuir equivalência quando realmente houver uma diferença significativa) na comparação as variáveis analisadas não apresentaram coeficiente de variação maior que 30%. Com isto foi possível avaliar os dados com 0,05 de probabilidade (Oliveira, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste F, coeficiente de variação (CV) e os valores médios para os atributos químicos do Latossolo Vermelho, textura franco-argilo-arenosa e textura franco-arenosa, são apresentados nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Para o solo de textura franco-argilo-arenosa (Tabela 4) verificou-se diferença significativa entre os tratamentos, somente para teores de MO e K; já para o solo de textura franco-arenosa (Tabela 5) esta diferença foi significativa para os atributos MO, pH, Ca, Na e Al. Verificou-se que, após a incubação com resíduos da extração de celulose, a composição química do solo foi, em geral, alterada com o aumento ou

Tabela 3. Caracterização química dos resíduos da extração de celulose utilizados nos tratamentos

Resíduo	N	P	K	Ca	Mg	S	Umidade	MO	C <sub>total</sub>	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	pH	C/N
	% na matéria seca									mg kg <sup>-1</sup> de matéria seca							
Lama cal	0,35	1,66	0,22	34,20	0,71	0,11	0,28	24,00	13,30	8.200	15	17	785	1.475	230	9,0	38/1
Dregs/grits	0,22	0,56	0,11	22,10	1,36	0,70	2,90	30,00	16,70	36.100	64	485	4.775	16.425	975	10,6	76/1
Cinzas	0,11	1,07	0,56	12,40	1,12	1,17	0,50	10,00	5,60	3.420	148	56	10.950	5.525	307	11,1	51/1

Tabela 4. Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os atributos químicos do Latossolo Vermelho, textura franco-argilo-arenosa, Selvíria, MS

Tratamentos	P-resina (mg dm <sup>-3</sup> )	MO (g dm <sup>3</sup> )	pH CaCl <sub>2</sub>	K	Ca	Mg	Na	H + Al	Al	CTC	V (%)
T1	4	18 b	4,5	0,5 b	6	5	0,50	34	7	45,0	24
T2	4	18 b	4,5	0,4 c	7	4	0,48	33	8	44,4	25
T3	7	20 a	4,4	0,4 c	5	5	0,55	34	7	44,2	22
T4	5	19 ab	4,6	0,4 c	7	4	0,48	33	7	43,9	26
T5	6	19 ab	4,6	0,6 a	7	4	0,50	34	6	46,5	24
T6	6	18 b	4,6	0,5 b	8	5	0,48	34	6	46,3	28
T7	6	19 ab	4,7	0,5 b	8	5	0,53	32	6	45,8	29
f	1,21 <sup>ns</sup>	2,65*	1,87 <sup>ns</sup>	9,27*	1,21 <sup>ns</sup>	1,77 <sup>ns</sup>	1,61 <sup>ns</sup>	0,34 <sup>ns</sup>	1,15 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>ns</sup>	1,55 <sup>ns</sup>
CV (%)	15	4	3	9	28	15	9	9	21	5	18
DMS (5%)	4,69	1,72	0,34	0,10	4,32	1,49	0,11	7,21	3,386	5,53	10,68

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. Dados transformados ( $\sqrt{x+0,5}$ ) para teores de P-resina; T<sub>1</sub> – Sem adição de calcário e resíduo (testemunha); T<sub>2</sub> – 1,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico; T<sub>3</sub> – 1,2 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits; T<sub>4</sub> – 0,8 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal; T<sub>5</sub> – 2,4 t ha<sup>-1</sup> de cinzas; T<sub>6</sub> – 1,8 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal + cinzas na proporção 1:3:6; T<sub>7</sub> – 1,0 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3

Tabela 5. Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os atributos químicos do Latossolo Vermelho, textura franco-arenosa, Três Lagoas, MS

Tratamentos	P-resina (mg dm <sup>-3</sup> )	MO (g dm <sup>3</sup> )	pH CaCl <sub>2</sub>	K	Ca	Mg	Na	H + Al	Al	CTC	V (%)
T1	3	13 ab	4,6 c	0,4	5 b	3	0,43 b	18	4 a	26,4	30
T2	3	13 ab	5,0 a	0,5	10 a	4	0,50 b	17	1 c	31,5	44
T3	3	14 a	4,7 bc	0,5	6 ab	4	0,63 a	20	3 ab	30,1	34
T4	4	13 ab	4,9 ab	0,5	7 ab	4	0,50 b	18	2 bc	29,0	38
T5	4	13 ab	4,5 c	0,5	7 ab	6	0,43 b	20	3 ab	33,1	38
T6	3	13 ab	4,7 bc	0,6	6 ab	3	0,45 b	19	3 ab	28,3	35
T7	4	12 b	4,7 bc	0,5	6 ab	4	0,50 b	18	2 bc	27,8	35
F	1,77 <sup>ns</sup>	2,89*	6,98*	2,45 <sup>ns</sup>	2,86*	1,20 <sup>ns</sup>	7,05*	1,32 <sup>ns</sup>	3,49*	1,82 <sup>ns</sup>	1,69 <sup>ns</sup>
CV (%)	19	5	3	13	14	16	11	8	16	12	19
DMS (5%)	1,14	1,53	0,30	0,25	4,80	4,21	0,12	3,60	2,00	7,97	15,98

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. Dados transformados ( $\sqrt{x+0,5}$ ) para teores de Ca, Mg, Al e CTC; T<sub>1</sub> – Sem adição de calcário e resíduo (testemunha); T<sub>2</sub> – 1,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico; T<sub>3</sub> – 1,2 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits; T<sub>4</sub> – 0,8 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal; T<sub>5</sub> – 2,4 t ha<sup>-1</sup> de cinzas; T<sub>6</sub> – 1,8 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal + cinzas na proporção 1:3:6; T<sub>7</sub> – 1,0 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3

diminuição dos atributos em função dos tratamentos e tipos de solo.

Analisando os dados de MO (Tabelas 4 e 5) verificou-se aumento provocado pelo tratamento T3, em ambos os Latossolos. Este resultado foi obtido devido, provavelmente, ao maior teor de MO que os dregs/grits apresentam na sua matéria seca quando comparados aos outros resíduos (Tabela 3). Além de alto teor de C orgânico este resíduo também possui alta razão C/N. Resultados semelhantes foram encontrados por Costa et al. (2007) que verificaram aumento no teor de MO e melhoria na estrutura do solo, utilizando resíduo da indústria de papel e celulose como fertilizante em área sob cultivo de feijão e milho. Referido incremento de MO aumentou a capacidade de retenção de água do solo, a formação de agregados estáveis e diminuiu a lixiviação de nutrientes minerais por fornecer cargas negativas ao solo mas esses mesmos autores observaram aumento na produção de feijão e redução no milho.

Por ter razão C/N muito alta, este resíduo pode imobilizar o nitrogênio e dificultar a ação de microrganismos favorecendo, assim, deficiência nutricional às plantas de milho diminuindo, conseqüentemente, sua produção; desta forma, o uso de resíduo de celulose em solos com plantas leguminosas seria boa alternativa haja vista que as raízes dessas plantas utilizam mecanismo da fixação biológica de nitrogênio não dependendo apenas do N fornecido pelo solo.

Para o solo de textura franco-arenosa (Tabela 5) o pH e o Al no tratamento T2, no qual se aplicou 1,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário

calcítico apresentaram maior e menor valor, respectivamente, em comparação a todos os outros tratamentos, exceto aquele em que se utilizou 0,8 t ha<sup>-1</sup> de lama cal (para o pH).

Verificou-se, na Tabela 5, quando se aplicou 1,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico que o teor de Ca no solo foi significativamente maior que os outros tratamentos em razão, provavelmente, do alto teor de Ca nesse tipo de calcário. Resultados semelhantes foram obtidos por Balbinot Júnior et al. (2006) e Maeda & Bognola (2013) em estudo conduzido para avaliar o efeito do lodo na reciclagem de papel. Este comportamento ocorre em virtude da composição química dos resíduos de celulose como, por exemplo, a lama de cal que, embora presente, em sua composição, alto teor de Ca, o calcário calcítico (cerca de 40% de CaO) pode contribuir mais neste aumento por ter concentração maior deste elemento. Diferentemente, Medeiros et al. (2009) verificaram, utilizando doses mais altas de resíduos nos tratamentos, um aumento de Ca mais intenso pelo resíduo de celulose em relação ao calcário.

O resíduo da extração de celulose utilizado no estudo apresenta concentração elevada de Na em sua composição, sendo o dregs/grits com maior teor deste elemento (Tabela 3). Embora o tratamento T3 (1,2 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits) forneça MO ao solo, ele pode também aumentar os teores de Na, como foi verificado no Latossolo de textura franco-arenosa, tanto na análise química do solo (Tabela 5) como na análise da composição da solução do solo (Tabela 6). Este aumento de Na proveniente da aplicação de dregs/grits ao solo também foi

Tabela 6. Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os teores de K e Na ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ) e condutividade elétrica-CE ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) nas soluções extraídas dos Latossolos nos tratamentos e diferentes épocas de avaliação

Tratamentos	K				Na				CE			
					Avaliações							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
	<b>(<math>\text{mmol}_c \text{L}^{-1}</math>)</b>								<b>(<math>\mu\text{s cm}^{-1}</math>)</b>			
	Latossolo Vermelho (LV), textura franco-argilo-arenosa, Selvíria, MS											
T1	0,33 AB	0 B	0 B	0,46 aA	1,33 A	1,33 A	1,35 A	0,86 abB	396 abA	268 abB	220 C	132 C
T2	0,33 A	0 A	0 A	0,27 bcA	1,33 A	1,33 A	1,35 A	0,70 bcB	413 abA	293 abB	282 C	128 C
T3	0 A	0 A	0 A	0,30 bcA	1,33 B	1,66 A	1,35 B	0,96 aC	434 aA	339 aB	200 C	148 C
T4	0 A	0 A	0 A	0,23 cA	1,33 A	1,33 A	1,35 A	0,63 bcB	395 abA	237 abB	180 C	87 C
T5	0 B	0 B	0 B	0,40 abA	1,33 A	1,33 A	1,35 A	0,76 bcB	492 aA	199 bB	206 B	104 B
T6	0 A	0 A	0 A	0,30 bcA	1,33 A	1,33 A	1,35 A	0,80 abcB	415 abA	314 abB	274 C	137 C
T7	0 A	0 A	0 A	0,30 bcA	1,33 A	1,33 A	1,35 A	0,80 abcB	275 bA	244 abA	250 B	122 B
F trat	0,78 <sup>ns</sup>	-	-	7,62*	-	1,00 <sup>ns</sup>	-	7,04*	3,50*	3,33*	1,85 <sup>ns</sup>	1,95
CV %	24	0	0	18	0	18	0	10	22	19	26	24
	Latossolo Vermelho (LV), textura franco-arenosa, Três Lagoas, MS											
T1	1,33A	1,33 A	0,33 B	0,76 aB	2,32 A	1,66 bAB	1,66 bAB	0,99 bB	519 A	355 AB	380 B	232 B
T2	1,33A	1,33 A	0,33 B	0,83 aAB	2,32 A	1,66 bAB	1,66 bAB	1,33 abB	693 A	293 AB	386 B	233 AB
T3	1,33A	1,33 A	0 C	0,73 abA	2,32 B	2,66 aA	2,66 aA	1,52 abC	492 A	546 AB	598 B	194 B
T4	1,33A	1,33 A	0 C	0,76 aB	1,33 A	1,33 bA	1,33 bA	1,19 abA	397 A	270 AB	288 B	201 B
T5	1,66A	1,33 A	0 C	0,70 aB	1,33 A	1,33 bA	1,33 bA	1,02 bA	430 A	286 AB	282 B	165 B
T6	1,33A	1,33 A	0 C	0,70 aB	1,99 A	1,33 bAB	1,33 bAB	1,16 bB	504 A	281 C	318 B	151 C
T7	0,99A	0,99 A	0 B	0,43 bB	1,33 A	1,33 bA	1,33 bA	1,03 bA	431 A	270 AB	230 B	160 B
F trat	1,23 <sup>ns</sup>	1,00 <sup>ns</sup>	0,78 <sup>ns</sup>	6,62 *	3,60 <sup>ns</sup>	7,10*	7,10*	5,34*	0,81 <sup>ns</sup>	0,84 <sup>ns</sup>	2,49 <sup>ns</sup>	3,03 <sup>ns</sup>
CV %	26	20	24	14	28	23	23	14	19	16	13	20

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. Dados transformados ( $\sqrt{x+0,5}$ ) para teores de K e CE; T<sub>1</sub> – Sem adição de calcário e resíduo (testemunha); T<sub>2</sub> – 1,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico; T<sub>3</sub> – 1,2 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits; T<sub>4</sub> – 0,8 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal; T<sub>5</sub> – 2,4 t ha<sup>-1</sup> de cinzas; T<sub>6</sub> – 1,8 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal + cinzas na proporção 1:3:6; T<sub>7</sub> – 1,0 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3; 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> - períodos de coleta de soluções 0-30, 40-60, 70-90 e 100-120 dias, respectivamente

verificado em pesquisa realizada por Branco et al. (2013) em um Cambissolo e Neossolo Quartzarênico.

Em solos ácidos, como os Latossolos estudados nesta pesquisa, Raij (2011) menciona que os teores de Na em solução podem variar entre 0,4 a 2,0  $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$  e de acordo com McIntyre (1979) quanto ao valor ideal a partir da análise química do solo, a concentração de Na deve estar abaixo de 5% da CTC. Com base na literatura citada e apesar do T3 ter apresentado, em sua composição química, concentrações de Na inferiores a 5% da CTC, este não é adequado para utilização pois forneceu, à solução do solo, teores mais altos de Na que o recomendado por Raij (2011).

A substituição isomórfica (permanentes) ou por dissociação de radicais (variáveis) pela interação do cátion  $\text{Na}^{+2}$  com as cargas elétricas na superfície das partículas ocasiona dispersão das partículas coloidais do solo (Azevedo & Bonumá, 2004). Considerando os resultados obtidos no presente estudo, o tratamento T3 poderia, se utilizado no solo, ocasionar sua dispersão.

Nas Tabelas 6 e 7 constam o teste F, o coeficiente de variação (CV) e os valores médios para os teores de K, Na, Ca e Mg ( $\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$ ) além de condutividade elétrica-CE ( $\mu\text{s cm}^{-1}$ ) nas soluções extraídas dos Latossolos nos tratamentos e diferentes épocas de avaliação.

Na análise de fertilidade do solo o Mg não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos mas na composição da solução do solo ocorreram diferenças significativas em ambos os Latossolos (Tabela 7). No Latossolo de textura franco-argilo-arenosa, os valores mais altos foram para T5 e T6; entretanto, no Latossolo de textura franco-arenosa o tratamento T2 apresentou uma contribuição maior para o aumento deste elemento ao solo, embora tenha razão Ca/Mg alta. Porém Costa et al. (2009) verificaram, avaliando

em laboratório os efeitos da aplicação de resíduos de fábrica de papel reciclado em solos florestais nos atributos químicos de dois tipos de solo (Neossolo e Cambissolo) aumento nos níveis de Ca e Mg. Neste estudo somente o Mg apresentou comportamento semelhante ao trabalho desenvolvido por esses pesquisadores.

Quanto ao K (Tabela 4) todos os tratamentos apresentaram teores menores quando comparados ao teor de K determinado no solo antes do início do experimento, o que demonstra a capacidade de perda do íon por lixiviação. O potássio se movimenta verticalmente pela água de drenagem quando presente na solução do solo. Assim, este elemento pode ser transportado para profundidades maiores que as ocupadas por raízes no perfil do solo (Oliveira & Villas-Bôas, 2008; Raij, 2011).

A lixiviação do potássio pode ser confirmada pelas análises das soluções do solo (Tabela 6) retiradas e analisadas em 4 épocas durante os 120 dias do experimento. Os teores de K na solução do solo diferiram significativamente entre os tratamentos mas apenas quando foram coletadas soluções no período 100-120 dias (Tabela 6) para os dois solos estudados.

Observou-se ainda, para o solo de textura franco-argilo-arenosa, que os teores de K na solução aumentaram do 1º para o 4º período de coleta; já para o solo de textura franco-arenosa esses teores diminuíram com o passar do tempo, para todos os tratamentos estudados. Os cátions trocáveis apresentam uma energia de retenção aos coloides do solo, seguindo uma série liotrópica, que considera a carga e o tamanho do íon hidratado. Nesta série o potássio ocupa o quinto lugar pois ele apresenta apenas uma carga de valência ( $\text{K}^+$ ) (Duarte et al., 2013). O comportamento do potássio na solução do solo de textura franco-arenosa é justificado pela sua baixa adsorção aos coloides do solo pois em solos que apresentam melhor

Tabela 7. Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os teores de Ca e Mg ( $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$ ) nas soluções extraídas dos Latossolos nos tratamentos e diferentes épocas de avaliação

Tratamentos	Ca				Mg			
	Avaliações							
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
(mmol <sub>e</sub> L <sup>-1</sup> )								
Latossolo Vermelho (LV), textura franco-argilo-arenosa, Selvíria, MS								
T1	3,89 A	1,24 B	5,44 A	0,75 B	0,54 abB	0,19 c C	1,92 a A	0,44 a BC
T2	4,08 B	1,86 C	8,02 A	1,01 C	0,57 a B	0,21 c C	1,96 a A	0,27 ab BC
T3	3,47 AB	2,06 BC	4,54 A	1,04 C	0,58 a B	0,25 abc C	1,23 bA	0,30 ab BC
T4	3,62 A	2,66 AB	4,08 A	0,75 B	0,54 abB	0,28 bc C	1,13 bA	0,16 b BC
T5	4,74 A	1,33 B	4,18 A	0,66 B	0,59 a B	0,23 bc C	1,39 abA	0,24 b C
T6	4,14 AB	2,41 BC	6,07 A	0,80 C	0,58 a B	0,54 a BC	1,71 abA	0,27 ab C
T7	3,05 B	2,14 AB	6,07 A	0,84 C	0,41 bB	0,43 ab B	1,63 abA	0,24 b B
F	1,07 <sup>ns</sup>	1,25 <sup>ns</sup>	2,69 <sup>ns</sup>	1,82 <sup>ns</sup>	3,71*	5,15*	6,44*	4,58*
CV (%)	11	15	13	25	12	29	16	28
Latossolo Vermelho (LV), textura franco-arenosa, Três Lagoas, MS								
T1	6,67 A	5,78 A	4,89 AB	0,60 B	0,57 C	1,11 ab B	1,66 ab A	0,55 a C
T2	6,91 A	6,76 A	6,61 A	0,55 B	0,59 C	1,51 a B	2,43 a A	0,52 ab C
T3	4,26 A	4,22 A	4,18 A	0,30 A	0,57 BC	0,98 ab AB	1,40 ab A	0,39 ab C
T4	4,79 A	4,07 A	3,36 A	0,39 A	0,57 BC	1,07 ab AB	1,57 ab A	0,53 ab C
T5	7,39 A	5,52 A	3,66 AB	0,29 B	0,56 BC	1,00 ab AB	1,44 ab A	0,37 ab C
T6	5,72 A	5,32 A	4,91 A	0,24 B	0,60 BC	1,11 ab AB	1,63 ab A	0,33 ab C
T7	4,94 A	3,89 AB	2,84 AB	0,33 B	0,56 A	0,67 b A	0,78 b A	0,29 b A
F	0,44 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>	1,09 <sup>ns</sup>	3,10 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>	4,52*	4,34*	3,97*
CV (%)	24	20	22	9	9	22	30	25

Médias seguidas de letras minúsculas iguais na coluna e maiúsculas na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade. Dados transformados ( $\sqrt{x+0,5}$ ) para teores de Ca; T<sub>1</sub> – Sem adição de calcário e resíduo (testemunha); T<sub>2</sub> – 1,0 t ha<sup>-1</sup> de calcário calcítico; T<sub>3</sub> – 1,2 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits; T<sub>4</sub> – 0,8 t ha<sup>-1</sup> de lama de cal; T<sub>5</sub> – 2,4 t ha<sup>-1</sup> de cinza; T<sub>6</sub> – 1,8 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal + cinza na proporção 1:3:6; T<sub>7</sub> – 1,0 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits + lama de cal na proporção 1:3; 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> e 4<sup>a</sup> – períodos de coletas de soluções 0-30, 40-60, 70-90 e 100-120 dias, respectivamente

drenagem, como os arenosos e com menor CTC, a lixiviação de íons pode ser maior (Raij, 2011).

No solo de textura franco-argilo-arenosa (Tabela 4) o tratamento que foi aplicado com 2,4 t ha<sup>-1</sup> de cinzas apresentou maior concentração de K em relação aos tratamentos em que foram aplicados os demais resíduos de celulose. Esses dados corroboram com Maeda & Bognola (2013) que consideram as cinzas mais efetivas como fontes de K.

Um dos fatores que influenciam nas perdas de potássio por lixiviação é a fonte de potássio utilizada (Duarte et al., 2013). Além da maior concentração de K com relação aos outros resíduos, as cinzas possuem alta razão C/N, o que influencia positivamente na lenta decomposição da MO, reduzindo a perda do K por lixiviação. Outro benefício das cinzas, citado por Nolasco et al. (2000) é sua utilização na fertilização de cobertura devido à sua composição química e à lenta solubilização dos macro e micronutrientes que podem favorecer o desenvolvimento das plantas.

Para o Na (Tabela 6) os tratamentos diferiram entre si quando as soluções foram coletadas no período 100-120 dias para o solo de textura franco-argilo-arenosa e nos períodos 40-60, 70-90 e 100-120 dias para o solo de textura franco-arenosa. O íon Na<sup>+</sup>, na série liotrópica, ocupa a sexta posição, com menor capacidade de adsorção aos colóides do solo (Matos et al., 2014). Portanto, no solo mais argiloso que, em geral, apresenta menor drenagem em relação ao arenoso, este íon pode ter sido lixiviado mais lentamente e ter apresentado diferenças significativas só no final do período de incubação.

O entendimento da distribuição da água e soluto no solo é de suma importância para prevenir o desequilíbrio de nutrientes na planta e no próprio solo evitando, assim, possível contaminação no lençol freático e desestruturação do solo (Gubiani et al., 2013). Com o auxílio dos extratores de

solução por cápsulas porosas é possível monitorar esses solutos e manter a salinidade em nível desejado (Dias et al., 2005). Partindo deste conceito, a CE também foi monitorada (Tabela 6). O Latossolo de textura franco-arenosa, não apresentou resultados significativos. Mesmo assim, no Latossolo de textura franco-argilo-arenosa os maiores valores foram, no geral, do tratamento T3, comportamento semelhante ao do teor de Na nas análises realizadas.

Avaliando as soluções extraídas observou-se que, ao longo das quatro análises realizadas, os valores mais altos de concentração de íons foram na terceira avaliação e os mais baixos na quarta avaliação, em geral para todos os elementos. Realizando a saturação do solo a cada dez dias e observando a diminuição brusca dos teores dos elementos na última avaliação da composição da solução do solo, é possível que os íons tenham sido lixiviados pelo excesso de água nas colunas, ao longo das avaliações.

Entre as épocas de avaliação foram observados, em geral, maiores valores na terceira avaliação para Ca e Mg e na primeira avaliação para CE. O deslocamento do Ca<sup>2+</sup> no perfil pode estar relacionado à movimentação física de partículas finas do corretivo (Amaral et al., 2004) e à formação de pares iônicos com ânions, que carregam este elemento no perfil, como já constatado em estudos envolvendo calagem superficial (Kaminski et al., 2005; Medeiros et al., 2009).

## CONCLUSÕES

1. Os resíduos da celulose elevaram a composição química não apenas dos dois solos mas também da solução, sobretudo em Na e K, durante e após o período de incubação.
2. O tratamento 2,4 t ha<sup>-1</sup> de cinza pode ser utilizado como fonte de K.

3. Com os dados obtidos neste trabalho pode-se afirmar que em doses adequadas a utilização do resíduo da celulose como fornecedor de nutrientes pode ser uma alternativa viável. Assim, é passível se reduzir a quantidade de fertilizantes e melhorar o desenvolvimento das culturas destinando adequadamente os resíduos industriais sem prejuízos ao solo, com exceção do resíduo dregs/grits, na quantidade em que foi estudado (1,2 t ha<sup>-1</sup> de dregs/grits).

### AGRADECIMENTOS

À FAPESP, pelo apoio financeiro.

### LITERATURA CITADA

- Amaral, A. S.; Anghinoni, I.; Hinrichs, R.; Bertol, I. Movimentação de partículas de calcário no perfil de um Cambissolo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.359-367, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832004000200014>
- Altesor, A.; Eguren, G.; Mazzeo, N.; Panario, D.; Rodriguez, C. La industria de la celulosa y sus efectos: certezas e incertidumbres. *Ecologia Austral*, v.18, p.291-303, 2008.
- Arruda, O. G. Uso do resíduo da extração de celulose e o impacto em solo de cerrado cultivado com eucalipto e espécie arbórea nativa. UNESP: Ilha Solteira, 2012. 101p. Dissertação Mestrado
- Arruda, O. G.; Tarsitano, M. A. A.; Alves, M. C.; Giacomio, R. G. Comparação de custos de implantação de eucalipto com resíduo celulósico em substituição ao fertilizante mineral. *Revista Ceres*, v.58, p.576-583, 2011.
- Azevedo, A. C.; Bonumá, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.34, p.609-617, 2004.
- Balbinot Júnior, A. A.; Toerres, A. N. L.; Fonseca, J. A. da; Teixeira, J. R.; Nesi, C. N. Alteração em características químicas de um solo ácido pela aplicação de calcário e resíduo de reciclagem de papel. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.5, p.16-25, 2006.
- Bellote, A. F. J.; Silva, H. D. Ferreira, C. A.; Andrade, G. C.; Resíduos da indústria da celulose em plantios florestais. *Boletim de Pesquisa Florestal*, v.37, p.99-106, 1998.
- Branco, S. B.; Silveira, C. B.; Campos, M. L.; Gatiboni, L. C.; Miquelluti, D. J. Atributos químicos do solo e lixiviação de compostos fenólicos após adição de resíduo sólido alcalino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.543-550, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000500012>
- Costa, A. S. de V.; Rufini, J. C. F.; Silva, M. B.; Galvão, E. R.; Ribeiro J. M. O. Efeito do resíduo de celulose e esterco no solo sobre o desenvolvimento do (*Zea mays*) e feijão (*Phaseolus vulgaris*). *Revista Ceres*, v.54, p.339-344, 2007.
- Costa, E. R. O.; Rizzi, N. E.; Silva, H. D.; Maeda, S.; Lavaroni, O. J. Alterações químicas do solo após aplicação de biossólidos de estação de tratamento de efluentes de fábrica de papel reciclado. *Floresta*, v.39, p.1-10, 2009.
- Dias, N. da S.; Duarte, S. N.; Gheyi, H. R. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, p.496-504, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000400009>
- Duarte, I. N.; Pereira, H. S.; Korndoifer, G. H. Lixiviação de potássio proveniente do termopotássio. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v.43, p.195-200, 2013.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPSO, 1997. 212p.
- Gubiani, P. V.; Reichert, J. M.; Reinert, D. J. Indicadores hídrico-mecânicos de compactação do solo e crescimento de plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.1-10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832013000100001>
- Harrisson, R. B.; Guerrini, I. A.; Henry, C. L.; Cole, D. W. Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestal (IPEF), n.198, 2003. 21p. Circular Técnica
- Kaminski, J.; Santos, D. R.; Gatiboni, L. C.; Brunetto, G.; Silva, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um Argissolo sob pastagem natural. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.573-580, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832005000400010>
- Maeda, S.; Bognola, I. A. Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.33, p.168-177, 2013. <http://dx.doi.org/10.4336/2013.pfb.33.74.417>
- Maeda, S.; Silva, H. D.; Costa, E. R. O.; Bognola, I. Aplicação de lodo celulósico em plantio de pinus. Colombo: Embrapa Florestas. 2011. 6p. Comunicado Técnico
- Matos, A. T.; Almeida Neto, O. B.; Matos, M. P. Saturação do complexo de troca de solos oxidícos com sódio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.501-506, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662014000500006>
- McIntyre, D.S. Exchangeable sodium, subplasticity and hydraulic conductivity of some Australian soils. *Australian Journal Soil Research*, v.17, p.115-120, 1979.
- Medeiros, J. C. Resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na correção da acidez de um Cambissolo Húmico Álico. UESC: Lages, 2008. 79p. Dissertação Mestrado
- Medeiros, J. C.; Albuquerque, J. A.; Mafra, A. L.; Batistella, F.; Grah, J. Calagem superficial com resíduo alcalino da indústria de papel e celulose em um solo altamente tamponado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.33, p.1657-1665, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832009000600014>
- Nolasco, A. M.; Guerrini, I. A.; Benedetti, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fonte de nutrientes e condicionadores de solos florestais. In: Gonçalves, J. L. M.; Benedetti, V. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF. 2000. p.385-414.
- Oliveira, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.5, p.777-788, 2008.
- Oliveira, M. V. A. M.; Villas-Bôas, R. L. Uniformidade de distribuição do potássio e nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.95-103, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162008000100010>
- Souza, T. R.; Villas-Bôas, R. L.; Quaggio, J. A.; Salomão, L. C.; Foratto, L. C. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.47, p.846-854, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600016>
- Rajj, B. van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.
- Rajj, B. van; Andrade, J. C.; Cantarella, H.; Quaggio, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade do solo. Campinas: IAC, 2001. 285p.