

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO POR RESÍDUOS DO  
BENEFÍCIO DE CAFÉ**

**SAMUEL MENEGATTI ZOCA**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP -  
Câmpus de Botucatu, para obtenção do  
título de Mestre em Agronomia  
(Agricultura)

BOTUCATU - SP

MAIO de 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO POR RESÍDUOS DO  
BENEFÍCIO DE CAFÉ**

**SAMUEL MENEGATTI ZOCA**

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Co-Orientador: Dr. Chad Penn

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP –  
Câmpus de Botucatu, para obtenção do  
título de Mestre em Agronomia  
(Agricultura)

BOTUCATU - SP

MAIO de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Z84a Zoca, Samuel Menegatti, 1985-  
Avaliação da liberação de potássio por resíduos do benefício de café / Samuel Menegatti Zoca. - Botucatu : [s.n.], 2012  
viii, 57 f. : tabs., gráfs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012  
Orientador: Ciro Antonio Rosolem  
Co-orientador: Chad Penn  
Inclui bibliografia

1. Adubos compostos. 2. Beneficiamento de café.  
3. Casca de café. 4. Palha de café. 5. Palha - Utilização.  
6. Resíduos agrícolas. 7. Potássio na agricultura. I. Rosolem, Ciro Antonio. II. Penn, Chad. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO POR RESÍDUOS DO  
BENEFÍCIO DE CAFÉ

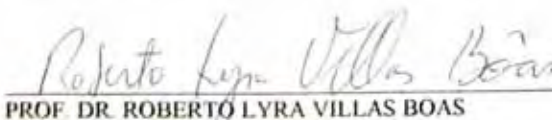
ALUNO: SAMUEL MENEGATTI ZOCA

ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM

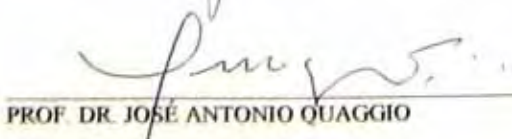
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. CIRO ANTONIO ROSOLEM



PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS



PROF. DR. JOSÉ ANTONIO QUAGGIO

Data da Realização: 04 de maio de 2012.

**DEDICO**

*À Deus, pelo presente da vida e por estar sempre comigo.*

*Aos meus pais, Moisés Zoca e Regina Aparecida Menegatti Zoca, exemplos de vida, amor e dedicação, minha eterna gratidão e respeito.*

**OFEREÇO**

*Aos Agricultores do Brasil. Classe responsável pela vida. Cidadãos responsáveis pela alimentação da população brasileira e mundial. Trabalhadores criticados e até mesmo marginalizados por ambientalistas e indivíduos desprovidos de bom senso e conhecimento de mundo.*

*Pessoas que vivem dentro do trabalho, vivem para produzir, produzem para viver, são apaixonadas pelo que fazem. Homens que acima de tudo são confiantes e determinados, guerreiros que lutam pela vida.*

*Ofereço aqueles que vivem no campo e com humildade proporcionam o luxo e o conforto dos habitantes das grandes capitais. Aqueles que quando acordam tem o privilégio de dizer bom dia à natureza, respirar o ar puro e iniciar sua jornada diária ao som de sabiás e canarinhos.*

*Aqueles que trabalham duramente e não são reconhecidos, aqueles que amam sem serem amados, aqueles que pagam pelo erro dos outros, aqueles que um dia o mundo olhará para traz e dirá: Devemos muito a eles.*

*“Enquanto alguns fazem guerra trazendo fome e tristeza, minha luta é com a terra para não faltar pão na mesa”*

*Chitãozinho e Xororó.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus, sempre presente em minha vida.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA/UNESP-BOTUCATU, por todo o suporte em minha graduação e pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem pela orientação acadêmica, científica e na vida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudo no mestrado.

À CNPq pelas três bolsas de iniciação científica e início de bolsa de mestrado.

Ao Prof. Dr. Chad J. Penn, pelas oportunidades de estágio, coorientação no mestrado e proposta de doutorado.

Por todos os professores que contribuíram para minha formação.

Aos amigos e estagiários Tobarão (Alexandre R. Alves), Coloide (Leontino de Oliveira Neto) e Juçara (Maximila Martins), pela dedicação no desenvolvimento dos trabalhos e pelo companheirismo.

Ao amigo Julio Cesar Bogiani por todos os conselhos, incentivo e parcerias.

À todos os integrantes da República D.N.A. pelo apoio em todos os momentos.

Aos docentes e funcionários do Departamento de Produção Vegetal.

Aos colegas de pós-graduação do Departamento de Produção Vegetal, pelo companheirismo e amizade.

À Thatiane Kievitsbosch, Minha holandezinha, pelo apoio, consideração, companheirismo, paciência, amor e carinho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	X
1. RESUMO .....	1
2.SUMMARY.....	3
3. INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
4.1 Potássio nas plantas.....	7
4.2 Potássios no solo.....	8
4.3 Adubações potássica do cafeeiro.....	9
4.4 Compostos orgânicos.....	10
4.5 Palhas de Café.....	11
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	15
5.1 Experimento com colunas de percolação.....	17
5.2 Experimento com <i>litterbags</i> .....	19
5.3 Análises realizadas.....	20
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
6.1 Características dos resíduos.....	22
6.2 Teores de potássio no solo.....	25
6.3 Solução percolada.....	27
6.4 Resíduos do benefício de café aplicados na superfície das colunas .....	35
6.5 Resíduos do benefício de café nos <i>Litterbags</i> .....	36
7. CONCLUSÕES.....	43
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
9. APENDICE I.....	53

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
Figura 1 - Casca do café cereja, casca do café boia e casca do café natural seco em coco.....	16
Figura 2 - Casca do café compostada por um ano e casca do café enriquecida e compostada por três anos.....	16
Figura 3 - Construção das colunas.....	18
Figura 4 - Colunas e garrafas de coleta da solução percolada.....	18
Figura 5 - Litterbags e colunas instaladas na casa de vegetação.....	19
Figura 6 - Teor de potássio no solo nas camadas A (0-5), B (5-10), C (10-15), D (15-40) cm. .....	26
Figura 7 - Total de K lixiviado pelas colunas durante 40 semanas.....	28
Figura 8 - Acúmulo de K lixiviado analisado na solução percolada ao longo de 40 semanas de amostragem.....	30
Figura 9 - Taxa de acúmulo de K lixiviado analisado na solução percolada ao longo de 40 semanas de amostragem.....	32
Figura 10 - Condutividade elétrica da solução percolada pelas colunas ao longo das semanas de amostragem.....	33
Figura 11 - pH da solução percolada pelas colunas ao longo das semanas.....	34
Figura 12 - Total de potássio liberado pelos tratamentos aplicados em superfície nas colunas, de acordo com as doses, comparado com a testemunha KCl (A); decomposição dos resíduos aplicadas em superfície, porcentagem em relação a massa aplicada inicialmente (B).....	36
Figura 13 - Decomposição (A) e Relação Carbono:Nitrogênio (B) dos resíduos dos litterbags ao longo do tempo.....	37
Figura 14 - Potássio liberado pelos resíduos dos litterbags ao longo do tempo, porcentagem em relação ao teor inicial, analisados pelo método da digestão (A) e pelo método de nutrientes solúveis em água (B).....	38
Figura 15 - pH (A) e Condutividade elétrica (B) dos resíduos dos litterbags ao longo do tempo.....	40



Figura 16 - Teor de nitrogênio total (A), e teor de carbono total (B) avaliados pelo método LECO..... 40

Figura 17 - Fenóis totais representados por equivalente em ácido tânico analisados nos resíduos dos litterbags ao longo do tempo..... 41

**LISTA DE TABELAS****Páginas**

Tabela 1 – Caracterização dos resíduos do benefício de café no início do experimento.....	23
Tabela 2 – Simulação da aplicação de 300 kg ha <sup>-1</sup> de K <sub>2</sub> O com resíduos do benefício de café.....	24
Tabela 3 – Teores iniciais (Tempo 0) e finais (300 dias) de Celulose, Hemicelulose e Lignina nos resíduos adicionadas aos <i>litterbags</i> .....	42
Tabela 4 – Equações das curvas ajustadas para teor de K no solo (figura 6).....	53
Tabela 5 – Equações das curvas ajustadas para total de K lixiviado (figura 7).....	53
Tabela 6 – Equações das curvas ajustadas para K acumulado analisado na solução percolada ao longo de 40 semanas (figura 8).....	54
Tabela 7 – Equações das curvas ajustadas para condutividade elétrica da solução percolada ao longo de 40 semanas de acordo com o tipo de resíduo e quantidade de K <sub>2</sub> O aplicado (Figura 10).....	55
Tabela 8 – Equações das curvas ajustadas para pH da solução percolada ao longo de 40 semanas de acordo com o tipo de resíduo e quantidade de K <sub>2</sub> O aplicado (figura 11).....	56
Tabela 9 – Equações das curvas ajustadas para potássio liberado pelos resíduos dos <i>litterbags</i> ao longo do tempo, porcentagem em relação ao teor inicial, analisados pelo método da (A) digestão e pelo método de (B) nutrientes solúveis em água (figura 14).....	57

## 1. RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, com uma produção estimada em 43,5 milhões de sacas beneficiadas na safra 2011, uma vez que, o processamento do café gera grandes quantidades de resíduos sólidos, e também, esses resíduos podem proporcionar problemas ambientais, torna-se de grande importância o estudo de alternativas de utilização desses materiais, sendo assim, objetivou-se nesse experimento caracterizar cinco tipos de resíduos do benefício de café e avaliar seu valor como fertilizante potássico, estudando a liberação do nutriente.

O experimento foi realizado em colunas com solo, em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agronômicas Botucatu (SP). Foi utilizada a camada superficial (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho distroférico de textura média. Os materiais estudados foram cinco tipos de resíduos do benefício de café, sendo eles, a casca do café cereja despulpado, casca do café “boia” separado no lavador, casca do café “natural” seco em coco sem passagem pelo lavador, casca de café um ano compostada e casca de café enriquecida e compostada por três anos. Os resíduos foram aplicadas sobre o solo das colunas em quatro doses baseadas no teor total de potássio de cada material com testemunhas sem e

com aplicação de fertilizante potássico mineral em quantidade equivalente à 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

O experimento foi conduzido pelo período de 10 meses. A água percolada foi coletada semanalmente e foram analisados pH, condutividade elétrica e K. Ao término do ensaio foram coletadas amostras de solo e analisados os teores de K nas diferentes profundidades do solo das colunas. Paralelamente ao ensaio foram confeccionados sacos de nylon para avaliar as alterações dos cinco tipos de resíduos do benefício de café utilizando o método do *litterbag*. Foram realizadas amostragens dos sacos com resíduos, aos 15, 30, 45, 90, 150, 210 e 300 dias e analisado potássio total, potássio solúvel em água, carbono e nitrogênio total, fenóis totais, pH, condutividade elétrica, celulose, hemicelulose e lignina.

Diferentes preparos dos resíduos do benefício de café resulta em características distintas em relação aos teores de potássio, nitrogênio, carbono, celulose, hemicelulose, lignina, fenóis totais, pH e condutividade elétrica. A liberação de K é alta (acima de 90%), mas independe da constituição ou tipo de resíduo do benefício de café que, assim, poderiam ser utilizados como substituto do fertilizante mineral.

A aplicação de K na forma de resíduos do benefício de café não evita perdas por lixiviação. O resíduo enriquecido e compostado com gesso, a casca do café cereja e a casca do café natural seco em coco proporcionam lixiviação maior que aquela observada com aplicação de fertilizante potássico mineral.

Palavras-chave: Palha de café, casca de café, resíduos, compostagem, potássio.

## **2. SUMMARY**

Brazil is the world's largest coffee producer. The estimated production in 2011 was 2.6 million tons of coffee beans, since the coffee processing generates large amounts of solid waste, and also, these residues can provide environmental problems, the study of coffee processing residues has great social, economic and environmental importance. The aim of the experiment was characterize five types of coffee processing residues and assess its value as a potassium fertilizer, studying the nutrient release.

The experiment was carried out in columns with soil in a greenhouse at Agricultural Sciences College – UNESP - Botucatu – SP. The surface layer (0-20 cm) of a medium texture of an Oxisol was used. Five types of coffee processing residues were studied, which were the coffee cherry husk, the “float” coffee husk, the natural coffee husk, one year composted coffee husk and three years enriched and composted coffee husk. Four rates of residues were applied on the column's considering the total potassium content and two controls with and without mineral potassium were used.

The experiment was conducted for 10 months. The leached was collected every week and pH, K, and EC was analyzed. Soil samples were collected in the end

of the period and K was analyzed in four layers. In parallel were made litterbags to assess the changes of the five types of coffee processing residues during the 10 months. The husks were sampled at 15, 45, 90, 150, 210 and 300 days. The samples were analyzed to total potassium, water soluble potassium, total carbon and total nitrogen, total phenols, pH, electrical conductivity, cellulose, hemicellulose and lignin.

Coffee processing residues have different characteristics in relation to levels of potassium, nitrogen, carbon, cellulose, hemicellulose, lignin, total phenolic, pH and electrical conductivity, depending on their preparation. The release of K is high (above 90%) for all five residues. Independently of the constitution or type of residue the mineral fertilizer can be replaced by coffee processing residue.

The use of coffee processing residues as K source does not prevent losses by leaching. The coffee husk enriched with gypsum, the coffee cherry husk and natural coffee husk provide leaching greater than that observed with application of KCL.

Keywords: Coffee husk, coffee hulls, residues, composting, potassium.

### 3. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, com uma produção estimada em 43,5 milhões de sacas beneficiadas na safra 2011 (CONAB, 2011). O processamento do café gera grandes quantidades de resíduo sólido (casca ou polpa, dependendo do processo). De acordo com Garcia et al.(2004) a palha de café está disponível a cada ano, à razão de cerca de 50% (em peso) da quantidade de café colhida nas propriedades cafeeiras, ou seja, a proporção de palha e grão beneficiados é de 1:1. Mesmo sendo um excelente adubo orgânico, uma parcela da casca de café vem sendo desprezada por agricultores. (BADOCHA et al., 2003; VANDERBERGHE et al., 1999).

O beneficiamento do café é um processo realizado, preferencialmente, pouco tempo antes da comercialização do produto e tem por finalidade separar o grão da polpa e deixá-lo pronto para ser comercializado. Pode ser feito de duas formas, gerando diferentes resíduos (MATIELO, 1991). Na despolpa por via seca, os frutos são secos integralmente e se obtém, como resíduo, a casca, juntamente com a polpa e o pergaminho. Este resíduo geralmente é chamado apenas de casca e constitui, aproximadamente, 50% do fruto seco colhido (BARTHOLO et al., 1989). Quando a despolpa é feita por via úmida, na primeira

etapa retiram-se somente a casca e a polpa, e o resíduo gerado (casca + polpa) recebe o nome de polpa; o grão é colocado para secar, juntamente com o pergaminho. A segunda etapa é a retirada do pergaminho do grão de café, que constitui 12% do fruto seco colhido.

A polpa do café e o pergaminho dos grãos apresentam diferentes concentrações de K e N, ou seja, respectivamente de 3,65% e 0,38% de K, e 1,85% e 0,59% de N (BRUM, 2007). Na polpa foi observada relação C/N de 24:1, enquanto o pergaminho apresentou a relação de 63:1. Castro (1960) observou que 45 kg de polpa seca de café são equivalentes a 4,5 kg do fertilizante inorgânico formulado 14-3-37. Dessa forma, as palhas provenientes do beneficiamento do fruto podem constituir uma fonte considerável de K, que, por meio da ação da água das chuvas, pode proporcionar aumento dos teores do nutriente no solo. Apesar de encontrar-se na literatura muitos trabalhos sobre o potencial de utilização da palha de café como fertilizante, seu valor nutricional depende do preparo pós-colheita do café usado em cada propriedade (GARCIA et al., 2004).

A exigência de K pelo cafeeiro é equivalente à de N, requerendo adubações da ordem de 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (MALAVOLTA, 1986). Considerando que a mobilidade dos nutrientes no perfil do solo pode afetar a sua disponibilidade aos vegetais (KEPKLER; ANGHINONI, 1996), assim como as perdas por lixiviação (CERETTA et al., 2002), o manejo inadequado da adubação potássica pode trazer problemas ambientais e/ou econômicos. O uso de doses relativamente altas de adubo potássico na cultura do café tem potencial para provocar perdas importantes. Assim a substituição de pelo menos parte deste fertilizante pela própria palha de café poderia ser uma ferramenta importante para evitar essas perdas e tornar a adubação mais econômica. No entanto, nenhum dos trabalhos encontrados mostra claramente a taxa de liberação do nutriente potássio pela palha de café.

Objetivou-se nesse experimento caracterizar cinco tipos de resíduos do benefício de café e avaliar seu potencial como fonte potássica através da liberação de potássio, procurando relacionar a capacidade de liberar o nutriente com características do material.



## **4. REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1. Potássio nas plantas**

O K é o segundo nutriente mineral requerido pelas plantas em termos de quantidade (MARSCHNER, 1995). As funções conhecidas do potássio são relacionadas à ativação de cerca de sessenta sistemas enzimáticos envolvidos em diversos processos como a fotossíntese, respiração, metabolismo de carboidratos, translocação e síntese de proteínas e balanço iônico. O potássio equilibra as cargas dos ânions, influenciando sua absorção e transporte. Promove a manutenção do potencial osmótico e da absorção de água pela atuação na abertura estomatal. Uma importante função do K está na fotossíntese por aumentar diretamente o crescimento foliar e o índice de área foliar e, portanto, a assimilação de CO<sub>2</sub>. Quando ocorre deficiência desse nutriente o primeiro sintoma visível é clorose em manchas ou marginal, que, então evolui para necrose, principalmente nos ápices foliares, nas margens e entre nervuras. Como o K pode ser remobilizado para folhas mais jovens, esses sintomas aparecem inicialmente em folhas mais maduras da base da planta. As folhas podem também

curvar-se e secar. Os caules de plantas deficientes em potássio podem ser delgados e fracos, com regiões intermodais anormalmente curtas (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Outros sintomas também podem ser observados na cultura do café com carência de K, tais como, ramos com frutos podem morrer da ponta a base. Aumenta-se a porcentagem de frutos chochos e diminui o tamanho dos grãos. A planta apresenta baixa tolerância a seca e ao frio (MALAVOLTA et al., 1993). O potássio já era considerado o elemento da qualidade em nutrição de plantas por Malavolta (1980).

Pelo fato do potássio não apresentar funções estruturais nas plantas, permanecendo na forma iônica nos tecidos, e também, não estar incorporado às cadeias carbônicas da matéria orgânica, após a colheita ou senescência das plantas ele pode voltar rapidamente ao solo em forma prontamente disponível para as culturas, fazendo da palhada um reservatório expressivo de K no curto prazo no sistema de plantio direto (ROSOLEM et al., 2003).

#### **4.2. Potássio no solo**

Os solos das regiões tropicais em sua maioria caracterizam-se por apresentar baixos teores de nutrientes e matéria orgânica, indicando baixa fertilidade, devido às altas temperaturas e precipitações, constituindo-se em uma das principais limitações para produção agrícola (JORDAN, 1985; VALE JÚNIOR, 2005; BISSANI et al., 2004).

A mobilidade dos nutrientes no perfil do solo pode afetar a disponibilidade aos vegetais (KEPKLER; ANGHINONI, 1996) e as perdas por lixiviação (CERETTA et al., 2002), podendo também, influenciar na escolha das técnicas mais adequadas de fertilização do solo, como épocas, doses e fontes de nutrientes.

Pelo fato do café ser uma cultura perene aumenta-se a necessidade de se conhecer a mobilidade vertical de cada nutriente no solo, uma vez que, ao longo do ciclo, os fertilizantes são aplicados nos centímetros superficiais, sem incorporação posterior.

A disponibilidade de K, assim como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes e da CTC do solo, além da ciclagem do nutriente pelas plantas. Em outras palavras, a disponibilidade depende das formas de K presentes e da quantidade armazenada

em cada uma dessas formas (MCLEAN; WATSON, 1985; NACHTINGALL; VALL, 1991), aspectos que contribuem na movimentação e dinâmica do K no perfil do solo.

Há uma correlação entre o teor de K no solo e a resposta do cafeeiro à aplicação de K. Malavolta (1986) afirma que a faixa adequada de K disponível no solo para cafeeiro é de 2,9 a 3,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Pavan et al. (1986) afirmam que teores de K no solo de 0,6 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> limitam a produção, mas que, as produções máximas foram obtidas em parcelas com teores de 2,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Guimarães (1986) obteve respostas, em anos de alta produção, na faixa tida como adequada entre 2,8 e 3,8 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, e em anos de baixa produção, entre 1,1 e 1,5 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>.

### **4.3. Adubação potássica do cafeeiro**

A adubação é um dos tratos culturais mais importantes no aumento e na manutenção da produtividade do cafeeiro. O custo de fertilizantes contribui, em média, com aproximadamente 30% do custo total da produção em culturas anuais (FAGERIA, 1998). Em época de crise no setor, uma das primeiras áreas em que o agricultor pensa em economizar é na adubação do cafezal. Quando isso não é feito com critérios técnicos e racionalmente, redonda em queda acentuada na produtividade e, conseqüentemente, leva a um aumento, e não redução, no custo de produção. Malavolta (1993) sugere que não se deve adubar com menos K em anos de safra baixa do cafeeiro, pois a redução da demanda de K para produção é compensada com a demanda para poder vegetar.

Como a nutrição do cafeeiro é analisada principalmente sob o ponto de vista da produção, e por ser uma cultura de alta exigência nutricional, a adubação baseada apenas nas quantidades dos nutrientes exportados nos grãos, não constitui uma recomendação muito correta. É preciso levar em consideração também a quantidade dos elementos minerais necessários para a manutenção da planta e para a produção de novos ramos, folhas e raízes (MALAVOLTA et al., 1993). Assim, como a avaliação do estado nutricional de uma planta é determinada pela análise foliar, a análise química de frutos determina a quantidade de nutrientes exportados pela produção. Essa análise tem mostrado que o nitrogênio e o potássio são os dois elementos exigidos pelo cafeeiro em maior proporção na formação dos frutos. Catani et al. (1965), demonstraram que para produzir 2000 kg de café em coco, da cultivar

Mundo Novo, a quantidade de nutrientes remobilizadas pelos frutos do cafeeiro foi de aproximadamente 17,6 kg de nitrogênio; 1,8 kg de fósforo; 22,2 kg de potássio; 2,1 kg de cálcio; 1,4kg de magnésio; e 1,2 kg de enxofre.

Silva et al., (2001) observaram que na safra de alta produção, a produção máxima foi alcançada com 247,7 e 252,3 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, em solo LV e LVA, respectivamente. Essas doses de K foram superiores às determinadas por Viana et al. (1985a, 1985b, 1985c), Jayarama et al. (1994) e Santinato et al. (1996) para atingirem produções máximas na safra de alta produção.

#### **4.4. Compostos orgânicos**

A adubação orgânica com utilização de resíduos gerados na própria unidade rural, ou nas proximidades, é uma prática muito comum na condução de lavouras de pequenos agricultores. Segundo Bayer e Mielniczuk (1999), em solos tropicais e subtropicais altamente intemperizados, a matéria orgânica tem grande importância no fornecimento de nutrientes às culturas, retenção de cátions, complexação de elementos tóxicos e de micronutrientes, estabilidade da estrutura, infiltração e retenção de água, aeração e atividade microbiana, constituindo-se em componente fundamental da sua capacidade produtiva.

Sabe-se que a aplicação de resíduos vegetais ao solo tem efeitos benéficos sobre os nutrientes, sobre as suas condições físicas, sobre a atividade biológica e sobre o desempenho das culturas (KANG et al., 1981; WADE; SANCHEZ, 1983, HULUGALLE et al., 1986). Porém, de acordo com Tian et al. (1995), os efeitos dos resíduos vegetais sobre o solo e as culturas diferem, dependendo de sua decomposição e da taxa de transformação de nutrientes. Os resíduos vegetais, que se decompõem rapidamente, irão disponibilizar uma grande quantidade de nutrientes para as plantas nos estádios iniciais de crescimento, mas podem não ter efeito sobre as condições físicas do solo, enquanto resíduos que se decompõem lentamente terão efeito exatamente oposto.

Vários são os fatores de natureza física, química e biológica que afetam a decomposição da matéria orgânica do solo (ALEXANDER, 1977; KIEHL, 1985; TESTA, 1989). Os principais fatores que afetam a taxa de mineralização dos compostos orgânicos são as condições edafoclimáticas (temperatura, umidade, pH, teores de oxigênio e

de nutrientes no solo) e a qualidade do substrato (fração solúvel, nutrientes, lignina, polifenóis e as relações C/N, lignina/N e lignina + polifenóis/N) (PAUL; CLARK, 1996).

Kiehl (1985), citado por Teixeira (2002) define compostagem como sendo: “um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica” e nesse processo ocorre uma aceleração da decomposição aeróbica dos resíduos orgânicos por populações microbianas, concentração das condições ideais para que os microrganismos decompositores se desenvolvam, (temperatura, umidade, aeração, pH, tipo de compostos orgânicos existentes e tipos de nutrientes disponíveis), pois utilizam essa matéria orgânica como alimento e sua eficiência baseia-se na interdependência e inter-relacionamento desses fatores. O processo é caracterizado por fatores de estabilização e maturação que variam de poucos dias a várias semanas, dependendo do ambiente.

De acordo com Oliveira et al. (2004) a compostagem apresenta-se como alternativa viável para sistemas de produção orgânica, em virtude de sua elevada qualidade nutricional e biológica. A elevação dos teores de matéria orgânica, CTC, fósforo, potássio e cálcio, magnésio, pH e saturação por bases permite obter um elevado grau de fertilidade dos solos no sistema orgânico (PICCOLO et al., 1992).

#### **4.5. Palha de Café**

A quantidade de resíduos gerados no processo de beneficiamento do café ocorre na proporção de 1:1 em relação à produção, ou seja, a cada safra a quantidade de café beneficiado é igual à quantidade de resíduos gerados pelo seu beneficiamento (BRUM, 2007). Sendo assim, na safra 2011 as 43,5 milhões de sacas de café beneficiadas (CONAB, 2011) podem ter gerado aproximadamente 2,6 milhões de toneladas de palha de café. A palha ou o resíduo gerado durante o beneficiamento de café é composto de epicarpo (casca), mesocarpo (polpa ou mucilagem), endocarpo (pergaminho) e película prateada (MATIELLO, 1991).

De acordo com Matiello et al. (2005) o aproveitamento da palha de café, produzida em boa escala na propriedade, é uma boa opção na adubação orgânica, devendo-se observar o tipo da palha. Análises efetuadas em Varginha mostraram que: a casca

do despulpamento foi a mais rica e sua densidade é correspondente a 125 g L<sup>-1</sup>. Em 2º lugar ficou a palha do café seco em coco, pouco menos rica, com densidade equivalente a 200 g L<sup>-1</sup>, e a palha do beneficiamento do café despulpado, o pergaminho, é em média 3 a 10 vezes menos rica (para N e K) e sua densidade equivale a 95 g L<sup>-1</sup>. O mesmo autor analisou e comparou os teores médios de N, P, e K da palha do café em coco (1,5% N, 0,15% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 3,0% K<sub>2</sub>O), da casca do café cereja (3,0% N, 0,15% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 3,9% K<sub>2</sub>O), e do pergaminho dos grãos (0,6% N, 0,06% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,37% K<sub>2</sub>O). Valores similares foram obtidos por Brum (2007).

Estudos vêm sendo realizados com palhas de café ao longo do tempo, com diversas finalidades. Dentre alguns trabalhos com a casca e a polpa, está sua utilização como substrato para crescimento de microrganismos, ração para animais, combustível (gerando aproximadamente 3.500 kcal kg<sup>-1</sup>), adubo orgânico, etc. (BARCELOS et al., 1992; VEGRO; CARVALHO, 1994; GOUVEA et al., 2009).

Sabe-se que o aproveitamento do pergaminho é pouco estudado, devido à sua estrutura e composição química. Ele apresenta altos teores de lignina, silício e baixos teores de nitrogênio e K que limitam sua utilização na alimentação animal e como adubo orgânico (BRAHAN; BRESSANI, 1978; RIBEIRO FILHO et al., 2000).

Ao considerar os teores de nutrientes das palhas de café, o retorno desses materiais à lavoura torna-se de extrema importância, caso contrário há a necessidade de aumentar a dose de fertilizantes minerais. Rena et al., 1986 comentou que a palha contém em torno de 50% dos nutrientes presentes no café em coco, e naquela época o autor recomendava a aplicação da palha em sulcos rasos misturada com a terra tangenciando a copa.

Ao avaliarem o efeito nutricional de vários tipos de palha de café Garcia et al.(2004) concluíram que a palha do café em coco, a palha do café despulpado e o pergaminho do café cereja descascado apresentam boas características para uso como adubo orgânico, porém, o pergaminho apresenta menor densidade e baixo valor nutricional.

Santinato et al. (2008) estudaram a adubação orgânica com palha de café curtida associada com a adubação química N-P-K-S na forma compensada durante a formação da lavoura de café e observaram que os tratamentos com a palha de café nas doses entre 2,5 e 20 t ha<sup>-1</sup> foram superiores ao químico somente. Os tratamentos com palha de café destacaram-se nas doses de 5, 10 e 20 t ha<sup>-1</sup>, com aumentos de 25 a 33% em relação ao químico – com 2,5 t ha<sup>-1</sup> houve um acréscimo produtivo de 15% em relação ao químico.

Barros et al. (1995) realizaram experimento comparando fontes, doses e modos de aplicação de adubos orgânicos no plantio de café como complementos da adubação exclusivamente mineral, avaliando o crescimento seis meses após o plantio. Nos tratamentos com adubos orgânicos, retiraram a fonte mineral de potássio correspondente à 15g de cloreto de potássio. Os resultados apontaram efeito depressivo apenas para a palha de café sem curtir aplicada na cova nas doses de 1,0; 2,0 e 4,0 kg, não tendo a aplicação em cobertura se diferenciado da mineral. Nos outros tratamentos com 1,0; 2,0; 4,0 kg de palha de café curtida, 2 kg de composto e 2 kg de esterco de curral, tanto em cobertura como na cova, não houve diferenças em relação à testemunha, substituindo a fonte mineral de potássio;

A Concentração de nutrientes de sete diferentes compostos orgânicos produzidos com bagaço de cana-de-açúcar, capim napier, palha de café e dejetos de suínos na forma líquida foi avaliada por Sediya et al. (2000) e observou-se que os compostos orgânicos produzidos com palha de café apresentaram valores de K e pH mais elevados que a combinação de bagaço de cana-de-açúcar com outros materiais, sendo a utilização da palha de café como composto orgânico uma prática promissora para a Zona da Mata Mineira.

Moraes (1981) citado por Rena et al. (1986) estudou a produção do cafeeiro de 1933 a 1944 sob diferentes tratamentos, utilizando, esterco, fertilizante mineral e palha de café. Após o longo período de avaliação foram observadas as seguintes médias de produção de café em coco por mil pés: Sem adubo – 5.100 kg, Com esterco – 10.150 kg, Com esterco + NPK – 15.250 kg, Com palha de café – 14.000, com palha de café + NPK – 15.850.

As combinações de 60% NPK + 20 L de palha-de-café e 30% de NPK + 10L de palha-de-café superaram ligeiramente a adubação com NPK em café Conilon no trabalho de Bragança (1985).

Garcia et al. (1983) mostram que a adubação orgânica com palha de café, fornecendo o total de K e suplementada com P e N aumentou em 20% a produção do cafeeiro em relação à adubação exclusivamente mineral. Nas condições do ensaio, 4,0, 2,0 e 1,0 kg cova<sup>-1</sup> de palha de café seca aumentou em 68, 39 e 15% respectivamente, a produção do cafeeiro em relação à adubação exclusivamente mineral.

A utilização de palha de café (aproximadamente 70 t ha<sup>-1</sup>) como cobertura morta na recuperação das lavouras recepadas mostrou-se altamente promissora, aumentando a produtividade em até 90%. Há também influencia positiva dos teores de

nitrogênio, fósforo, potássio e magnésio nas folhas dos cafeeiros que recebem a palha de café como cobertura morta (COSTA, 2003).

Todas as associações da palha de café, com adubação mineral reduzida de forma compensada são iguais entre si e similares à adubação mineral somente, sendo a palha de café uma forma alternativa de fertilizante (Santinato et al. 2007).

Quando houver na propriedade disponibilidade de material orgânico, como palha de café, esse pode ser usado na substituição parcial da adubação química, com efeito benéfico na estruturação e microbiota do solo, resultando em aumento de 20 a 75% na produção, segundo Garcia et al. (1983), Falco et al. (1999) e Colozzi Filho et al. (2000).



## 5. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu (SP), com a realização de 2 experimentos, um em colunas de percolação (Experimento 1) e outro com *litterbags* (Experimento 2).

Foram estudados cinco tipos de resíduos do benefício do café. Sendo eles: casca do café cereja despulpado (CC), casca do café “boia” separada no lavador (CB), casca do café “natural” seco em coco sem passagem pelo lavador (SC), casca de café um ano compostada (C1) e casca de café enriquecida e compostada por três anos (C3).

O café cereja consiste no fruto maduro, porém, com alto teor de umidade. O Café boia é o café que depois de maduro foi seco no próprio pé de café, ou no solo próximo a planta. No preparo pós-colheita por via úmida o café que já estava seco no campo flutua na água, então chamado de “Boia”. O café natural seco em coco consiste na presença de frutos maduros (cerejas), frutos secos (boia) e frutos ainda verdes, os quais são levados ao secador artificial ou ao terreiro para serem secos sem previa separação.

A casca do café cereja, casca do café boia, casca de café compostada por um ano e a casca de café enriquecida e compostada por três anos foram coletadas em uma

fazenda cafeeira no município de Piraju-SP e a casca do café natural seco em coco foi coletada no município de Torrinha-SP.

A casca do café enriquecida e compostada por três anos foi compostada na própria fazenda, a céu aberto. No enriquecimento foi utilizado gesso agrícola, cama de frango e superfosfato simples, no entanto, não foi possível determinar as quantidades adicionadas.

A casca do café compostada por um ano consiste na mistura dos resíduos sólidos provenientes do benefício do café na propriedade e a compostagem desses materiais, a céu aberto, por um ano, na própria fazenda. Os resíduos utilizados para a mistura foram casca do café verde, casca do café cereja, casca do café boia e o pergaminho, em proporções não informadas.



**Figura 1.** Casca do café cereja, casca do café boia e casca do café natural seco em coco.



**Figura 2.** Casca do café compostada por um ano e casca do café enriquecida e compostada por três anos.

Cinco amostras de cada tipo de resíduo foram secas em estufa de circulação forçada até atingir massa constante. Assim, determinou-se o teor de umidade de cada material. Posteriormente esses materiais foram moídos em moinho Willey com peneira de 20 mesh e analisados.

Antes da aplicação dos resíduos nas colunas e nos litterbags os cinco tipos de resíduos foram secos ao ar e no momento da aplicação o teor de umidade foi de  $10 \pm 2$  %.

Para a instalação do experimento foi utilizado solo proveniente da camada arável (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho distroférico de textura média (EMBRAPA, 1999), cuja saturação por bases foi corrigida. O solo foi colocado em betoneira e misturado com calcário dolomítico PRNT 92% por 3 minutos. Após a adição do corretivo o solo foi acondicionado em sacos plásticos e a umidade foi ajustada para aproximadamente 80% da capacidade de retenção. Os sacos foram cobertos para minimizar a perda de água.

Após o período de incubação as características do solo foram: pH (CaCl<sub>2</sub>) = 5,3; M.O. = 21 g kg<sup>-1</sup>; P<sub>resina</sub> = 7,2 mg dm<sup>-3</sup>; H+Al = 40 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K = 1,2 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 20,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 18,4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB = 40,1 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC = 80 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; V% = 50.

### **5.1. Experimento com colunas de percolação:**

As colunas foram construídas utilizando-se tubos de PVC de 0,10 m de diâmetro e 0,40 m de profundidade, porém, os tubos foram seccionados a cada 0,05 m, e os anéis foram sobrepostos, unidos uns aos outros por fita plástica adesiva. Foi feita uma dobra interna de fita em cada anel, para evitar a drenagem preferencial das paredes. No fundo das colunas foi colocado areia fina, lã de vidro e foram fixadas telas de nylon com malha 0,16 cm<sup>2</sup> para evitar perdas de terra.

Antes da aplicação dos tratamentos, as colunas receberam água em excesso e foram deixadas a drenar por 24 horas. A seguir os tratamentos foram aplicados em superfície, e também, foi colocado um papel de filtro de diâmetro idêntico ao das colunas na superfície do solo, com o intuito de evitar a formação de buracos no solo no momento das regas. As colunas foram regadas semanalmente, com água deionizada, na quantidade equivalente a lâmina de 30 mm e a solução percolada foi coletada e analisada. O pH, condutividade elétrica e potássio foram analisados semanalmente.



**Figura 3.** Construção das colunas



**Figura 4.** Colunas e garrafas de coleta da solução percolada

Os tratamentos consistiram na aplicação, em superfície, de 4 doses de resíduo correspondentes a doses de K de 75, 150, 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, mais duas testemunhas, sem K mineral e com 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O na forma de KCl. O cálculo da quantidade de resíduo a ser aplicada foi realizado através da utilização do teor total de K dos resíduos analisados pelo método da digestão (MALAVOLTA et al., 1997).

O experimento foi conduzido pelo período de 10 meses e ao término do ensaio foram coletados os resíduos do benefício de café remanescentes na superfície e avaliou-se a degradação dos materiais e o teor de K. O solo também foi amostrado e analisado

o teor de K nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15 a 0,40 m (Rajj et al., 2001). A liberação de potássio pelos resíduos do benefício de café foi calculada através da subtração do teor total de K final do teor total de K inicial.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 (tipos de resíduos) x 4 (doses de K) + 1 testemunha (300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O mineral) + 1 testemunha (sem aplicação de nutrientes), com quatro repetições. Ao final das análises previstas no projeto foram realizadas análises de regressão e ajustaram-se equações significativas até 5% de probabilidade pelo teste F.

## 5.2. Experimento com *litterbags*:

O experimento 2 consistiu na confecção de sacos de *nylon* preenchidos com cinco tipos de resíduo do benefício de café, que receberam regas semanais com o equivalente à 30 mm de chuva e foram amostrados aos 15, 30, 45, 90, 150, 210 e 300 dias após a instalação. Os *litterbags* foram confeccionados com telas de nylon de malha de 0,16 cm<sup>2</sup> com as dimensões de 0,18 x 0,12 m. Em cada *litterbag* foi colocado 50 g de resíduo do beneficiamento de café, sendo eles previamente secos ao ar. Após o preparo dos *litterbags*, eles foram dispostos sobre caixas, com solo, com dimensões de 2,40 x 0,50 x 0,15 m cada uma.



**Figura 5.** Litterbags e colunas instaladas na casa de vegetação

Os resíduos que preencheram os sacos de *nylon* foram submetidos às mesmas análises utilizadas para a caracterização inicial dos resíduos.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5 (tipos de resíduos) x 8 (períodos de avaliação) com quatro repetições. Ao final das análises previstas no projeto foram realizadas análises de regressão e ajustaram-se equações significativas até 5% de probabilidade pelo teste F.

### 5.3. Análises realizadas

Os resíduos do benefício de café foram secos em estufa, com circulação de ar forçada, até massa constante antes da realização das análises. A caracterização dos resíduos do benefício do café foi realizada através das análises de potássio total (MALAVOLTA et al., 1997); potássio solúvel em água (adaptado de Kleinman et al., 2007), carbono e nitrogênio totais (Analisador LECO CHN 2000, LECO Corporation, St. Joseph, Michigan), fenóis totais (SINGLETON; ROSSI, 1965), pH, condutividade elétrica, celulose, hemicelulose e lignina (VAN SOEST; WINE, 1967).

A análise de potássio solúvel foi realizada a partir da adaptação do método de Kleinman et al. (2007). Foi tomado 0,5 g de resíduo do benefício do café seco e colocado em 10 mL de água deionizada. A solução foi agitada por uma hora, centrifugada a 2.000 RPM por 5 minutos, filtrada e o K foi determinado por Inductively Coupled Plasma (ICP).

As análises de Carbono e Nitrogênio Total foram realizadas a partir da pesagem de 0,145 g de resíduo acondicionado em cápsulas de estanho e submetidas ao analisador elementar LECO.

Os fenóis totais foram analisados pelo método colorimétrico Folin-Ciocalteu (FC) citado por Singleton e Rossi, 1965. Esse método baseia-se na redução química dos reagentes, óxidos de tungstênio e molibdênio. O extrato foi produzido a partir da pesagem de 0,4 g de resíduo do benefício de café, adição de 10 mL de água deionizada, agitação por 2 horas, centrifugação por 5 minutos a 2.000 RPM. A curva de calibração para fenóis totais foi produzida com a utilização do ácido tânico nas concentrações de 1 a 15 mg L<sup>-1</sup>. A curva de calibração e as amostras foram lidas em espectrofotômetro.

Para realizar as leituras de pH e condutividade elétrica nos resíduos, foi pesado 0,5 g de resíduo do beneficiamento de café e adicionado 20 mL de água deionizada.

As leituras de pH, condutividade elétrica e K na solução percolada foram realizadas diretamente na solução, sendo diluída com água deionizada quando necessário.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Características dos resíduos do benefício de café**

Os cinco tipos de resíduos tinham diferentes teores de K total (Tabela 1), o que é um resultado dos diferentes manejos pós-colheita. Os menores valores observados nos tratamentos compostados podem ser devido à lixiviação do K durante o processo de compostagem (EL-FADEL et al., 2002).

Os valores de K solúvel em água para Casca do café cereja despulpado (CC), Casca do café natural seco em coco (SC), Casca do café boia (CB) e Casca do café 1 ano compostada (C1) variaram de 32,2 à 45,5% dos valores de K Total. Porém, para a Casca do café enriquecida e compostada por 3 anos (C3) o K solúvel correspondeu a 91,8%. Esses resultados indicam maior disponibilidade de K no tratamento compostado por três anos. A menor relação C:N e o menor teor de fenóis em relação aos demais materiais pode ter proporcionado maior teor de K solúvel em relação ao K total para o tratamento enriquecido e compostado.



A casca enriquecida e compostada apresentou maior teor de lignina, um polissacarídeo de difícil degradação, que nesse caso, permaneceu em alta concentração no material durante os três anos de compostagem, enquanto a celulose e hemicelulose foram degradadas. Apesar desse tratamento apresentar o menor teor de carbono, o carbono presente é em grande parte proveniente da lignina, então, pode ser considerado carbono de maior estabilidade (KIEHL, 1998).

Os maiores teores de condutividade elétrica nos resíduos casca do café cereja e enriquecida e compostada não podem ser relacionados apenas ao potássio, pois o teor desse nutriente foi o menor no tratamento compostado, sendo então a alta condutividade elétrica devida à presença de nitrogênio e outros íons não analisados.

A variação de pH em compostos orgânicos ocorre devido a ação de microrganismos e eliminação de CO<sub>2</sub>, então, no resíduo compostado por um ano o maior valor de pH em relação aos tratamentos sem compostagem já era esperado (Bidone e Povinelli, 1999). Contudo, o tratamento compostado e enriquecido, ao longo do processo de decomposição, pode ter apresentado aumento de pH e posterior redução ao longo dos três anos de compostagem (Tabela 1).

**Tabela 1.** Caracterização dos resíduos do benefício de café no início do experimento

	CC <sup>2</sup>	SC <sup>3</sup>	C3 <sup>4</sup>	CB <sup>5</sup>	C1 <sup>6</sup>
K total (g kg <sup>-1</sup> )	38,9 a <sup>7</sup>	23,0 c	6,1 e	34,7 b	17,8 d
K soluvel (g kg <sup>-1</sup> )	17,7 a	7,4 c	5,6 d	10,9 b	7,4 c
N (g kg <sup>-1</sup> )	26,7 a	14,8 bc	12,0 c	15,6 b	17,5 b
C (g kg <sup>-1</sup> )	427,0 a	447,0 a	150,0 b	447,0 a	400,0 a
Relação C:N	16,0 c	30,0 a	13,0 c	29,0 a	23,0 b
Lignina (g kg <sup>-1</sup> )	20,9 b	21,0 b	31,3 a	20,7 b	30,5 a
Celulose (g kg <sup>-1</sup> )	25,9 d	33,5 c	10,9 e	41,5 a	35,8 b
Hemicelulose (g kg <sup>-1</sup> )	3,8 d	10,8 b	-	15,7 a	7,6 c
pH	5,7 c	5,9 c	6,7 b	7,2 b	8,2 a
CE (μS cm <sup>-2</sup> )	1612,0 a	1156 b	1586,0 a	858,0 c	621,0 d
Fenóis Totais (g kg <sup>-1</sup> )	23,5 a	14,5 b	4,4 c	14,9 b	15,2 b
MMS <sup>1</sup> (% da MO)	20,0 c	96,0 a	85,0 b	92 a	93 a

1: Massa de matéria seca

2: Casca do café cereja descascado (CC)

3: Casca do café natural seco em coco (SC)

4: Casca do café enriquecida e compostada por 3 anos (C3)

5: Casca do café boia (CB)

6: Casca do café compostada por 1 ano (C1)

7: Letras diferentes nas linhas apresentam diferença significativa (p<0,05) pelo teste T

O menor valor de fenóis apresentado pelo resíduo compostado e enriquecido pode ser devido à degradação e a lixiviação (EL-FADEL et al., 2002). Os fenóis são compostos voláteis, que com aumento da temperatura, ao longo do processo de compostagem podem ser degradados. O efluente gerado pela pilha de composto também pode carrear os fenóis presentes nos resíduos.

A casca do café cereja apresentou o maior valor de fenóis, pois, esse material é a casca do fruto colhido maduro, enquanto os outros tratamentos contém casca de café já seco no campo ou de café ainda verde, os quais apresentam menores concentrações de fenóis (ROSSETTI, 2007).

A massa de matéria seca da casca do café cereja foi a menor (Tabela 1). Os outros tratamentos são constituídos de casca de café colhido seco ou café seco antes do beneficiamento, enquanto o café cereja é descascado antes do processo de secagem. A massa de matéria seca de apenas 20% pode aumentar o custo de transporte e distribuição da casca do café cereja na lavoura, por ser necessário aplicar uma quantidade maior de casca para obter a mesma quantidade de potássio que outros resíduos do benefício de café podem fornecer (Tabela 2).

**Tabela 2.** Simulação da aplicação de 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O resíduos do benefício de café

	CC <sup>3</sup>	SC <sup>4</sup>	C3 <sup>5</sup>	CB <sup>6</sup>	C1 <sup>7</sup>
MMS <sup>1</sup> Resíduo aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	6.402	10.826	40.816	7.177	13.992
MMO <sup>2</sup> Resíduo aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )	32.010	11.227	48.019	7.801	15.045
K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	300	300	300	300	300
N Total (kg ha <sup>-1</sup> )	170	160	490	112	245
C Total (kg ha <sup>-1</sup> )	2.734	4.839	6.122	3.208	5.597
Fenóis Totais (kg ha <sup>-1</sup> )	150	157	180	107	213
Lignina (kg ha <sup>-1</sup> )	134	227	1.278	149	427

1. MMS: Massa de matéria seca

2. MMO: Massa de matéria original

3: Casca do café cereja descascado (CC)

4: Casca do café natural seco em coco (SC)

5: Casca do café enriquecida e compostada por 3 anos (C3)

6: Casca do café boia (CB)

7: Casca do café compostada por 1 ano (C1)

Se a aplicação de resíduo do benefício de café na lavoura for baseada no teor de K, de acordo com a simulação da Tabela 2, os tratamentos compostados, tanto por

um ano como enriquecida proporcionariam maior aporte de carbono no solo, porém, o tratamento enriquecido acrescentaria ao sistema de 3,0 a 9,5 vezes mais lignina do que os demais, e devido à lignina ser um material de decomposição mais difícil, o carbono permaneceria no solo por mais tempo que nos outros tratamentos.

A quantidade de nitrogênio total aplicada seria maior com o resíduo compostado e enriquecido, enquanto o menor valor seria observado para a casca do café boia. Por apresentar relação C:N de 13 o resíduo compostado e enriquecido poderia liberar rapidamente o nitrogênio (KIEHL, 1985). Assim, se aplicadas doses altas desse resíduo, poderia ocorrer morte de mudas de café por excesso de nitrogênio e perdas por lixiviação desse nutriente.

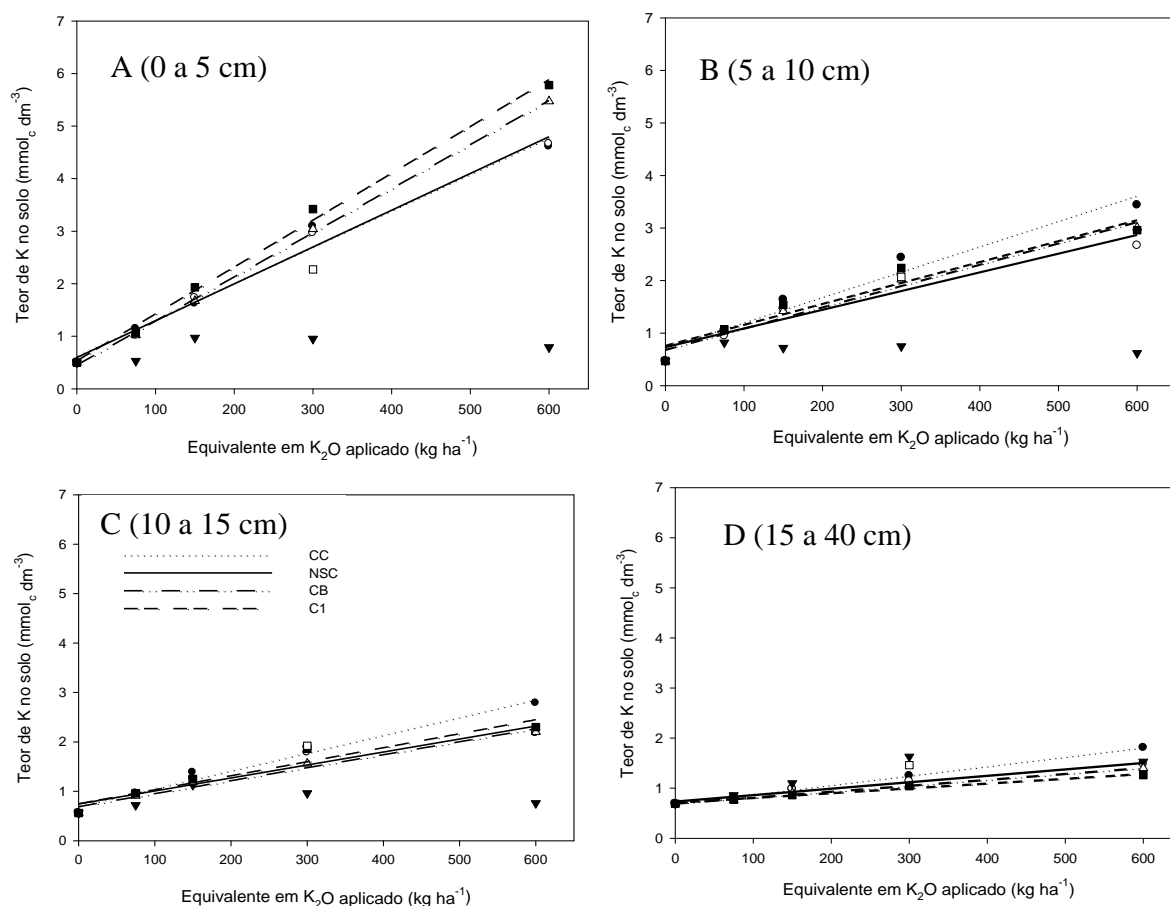
Devido ao baixo teor de K do resíduo compostado e enriquecido, para se aplicar a mesma quantidade de potássio seria necessário utilizar dose de resíduo 1,5 vezes maior que café cereja, 3,2 vezes maior que o resíduo compostado por um ano, 4,3 vezes maior que a casca do café natural seco em coco e 6,2 vezes maior que a casca do café bóia. Considerando que o aumento da quantidade de resíduo a ser aplicada aumenta o custo para o produtor, o resíduo enriquecido e compostado por três anos apresenta a menor viabilidade como fonte de K.

## **6.2. Teores de potássio no solo**

O teor de K do solo aumentou linearmente com as doses aplicadas ( $p < 0,01$ ), com exceção do resíduo enriquecido e compostado por três anos. O fato do teor de K no solo não ter sido elevado com o uso do resíduo compostado e enriquecido pode ser explicado pela possível lixiviação do potássio aplicado, uma vez que no enriquecimento desse produto foi utilizado gesso agrícola. O gesso pode ter proporcionado a lixiviação do K pelo solo das colunas, devido à grande mobilidade vertical proporcionada pela permanência de ânions sulfato quase que totalmente na solução do solo (ERNANI, 1986; ERNANI; BARBER, 1993; DIAS et al., 1994). A maior solubilidade do K no resíduo compostado e enriquecido, evidenciada pela maior proporção de K solúvel pode também ter contribuído, juntamente com o íon sulfato, para maior lixiviação, porém, não é possível inferir que apenas a maior solubilidade poderia ter proporcionado a maior lixiviação, pois o tratamento com K mineral

solúvel (KCL) aumentou o teor de K no solo e teve menor quantidade de K lixiviado que o resíduo compostado e enriquecido.

Santinato (2008) observou que o café adubado com palha de café acrescida de fertilizante mineral teve produtividade igual ou maior que a adubação exclusivamente mineral. Devido ao resíduo compostado e enriquecido não ter elevado o teor de K no solo da mesma maneira que as demais e ter apresentado maior lixiviação, esse material poderia não suprir as necessidades da cultura quando utilizado como fertilizante. Contudo, casca de café cereja, natural, boia e resíduo compostado por um ano aumentou o teor de K no solo de maneira semelhante à fonte mineral KCL (Figura 6).



**Figura 6.** Teor de potássio no solo nas camadas A (0-5), B (5-10), C (10-15), D (15-40) cm. ● Casca do café cereja (CC); ○ Casca do café natural seco em coco (SC); ▼ Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos (C3); △ Casca de café boia (CB); ■ Casca de café 1 ano compostada (C1); □ Cloreto de potássio (300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O).

### 6.3. Solução percolada

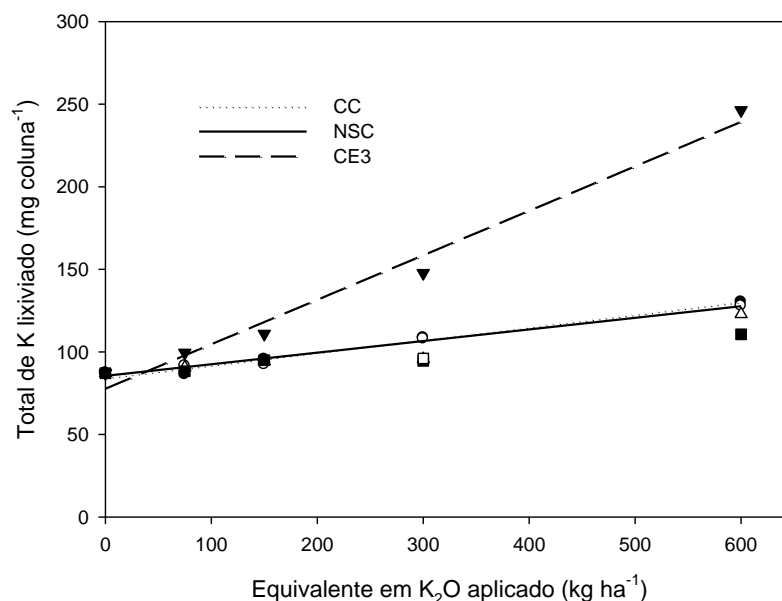
Na dose  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  observou-se menor lixiviação de K com aplicação de K mineral, cascas de café compostada por um ano e de café boia (Figura 7). As cascas do café cereja e do café natural seco em coco apresentaram valores de lixiviação intermediários e a casca de café enriquecida e compostada por três anos foi o material que mais lixiviou ( $p < 0,05$ ).

Maior lixiviação implica em menor eficiência de uso do K aplicado, pois o nutriente lixiviado pode ultrapassar a profundidade onde se encontra a maior parte do sistema radicular das plantas. De acordo com Werle et al. (2008) a lixiviação de K aumenta em função da dose do nutriente aplicada no solo. Os resíduos, cascas de café cereja, natural e compostado e enriquecido aumentaram linearmente a quantidade de K lixiviado, de acordo com a dose utilizada, porém, os resíduos casca do café boia e compostado por um ano não apresentaram o mesmo comportamento. Os resíduos, casca de café boia e compostada por um ano apresentam pH inicial maior que 7. O pH elevado libera cargas negativas dependentes de pH, onde o K pode ter se ligado e lixiviado menos. Outro fator observado é o menor valor de condutividade elétrica na água percolada pelos resíduos, casca do café boia e compostado por um ano. O menor valor indica que há menor concentração de íons nesses materiais. Sendo assim, alguns íons não analisados podem estar presentes no tratamento casca do café cereja e natural seco em coco, e não, na casca do café boia e no resíduo compostado por um ano. Esses íons podem ter sido perdidos por lixiviação durante o processo de compostagem ou terem sido translocados para a semente durante a maturação, no caso da casca do café boia.

Quando a quantidade acumulada de K lixiviado foi apresentada em função das semanas de amostragem é possível observar (Figura. 8) que, para todos os tratamentos, os resultados se ajustaram a equações quadráticas ( $p < 0,01$ ). Mesmo na testemunha sem aplicação de K houve aumento do K lixiviado ao longo do tempo. Werle et al. (2008) observaram que o teor de K na água percolada através de colunas com solo pode ser proveniente do K presente no solo, e não exclusivamente do nutriente recentemente aplicado.

Na dose equivalente a  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  não houve diferença entre a testemunha sem K e casca de café cereja, natural, boia e resíduo compostado por um ano em nenhuma semana de amostragem. Porém, com o resíduo enriquecido e compostado a

lixiviação foi maior entre a 27<sup>a</sup> e a 40<sup>a</sup> semana (Figura 8A). Pode-se inferir que essa dose não é suficiente para influenciar na lixiviação de K do solo se a fonte utilizada for casca de café cereja, natural, boia ou resíduo compostado por um ano.



**Figura 7.** Total de K lixiviado pelas colunas durante 40 semanas.

● Casca do café cereja (CC); ○ Casca do café natural seco em coco (SC); ▼ Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos (C3); △ Casca de café boia (CB); ■ Casca de café 1 ano compostada (C1); □ Cloreto de potássio (300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O).

Observa-se que ao dobrar a quantidade de K<sub>2</sub>O aplicado (Figura 8B) o início da lixiviação de K com aplicação de resíduo enriquecido e compostado foi antecipado em três semanas, sendo maior que a testemunha sem K entre a 24<sup>a</sup> e a 40<sup>a</sup> semana. Com aplicação do resíduo compostado por um ano e de casca de café cereja, a diferença em relação à testemunha foi observada entre a 36<sup>a</sup> e 40<sup>a</sup> semana. Exceto para o resíduo enriquecido e compostado, essa dose não foi suficiente para proporcionar diferença entre os resíduos do benefício do café.

Aplicando-se 4 vezes a quantidade de K utilizada na primeira dose apareceram diferenças entre os materiais utilizados, além do resíduo enriquecido e compostado (Figura 8C). Ou seja, com 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O as cascas de café cereja e natural já foram diferentes da testemunha sem K na 8<sup>a</sup> semana, enquanto que com o resíduo enriquecido

e compostado a diferença foi notada a partir da 20<sup>a</sup> semana, com a casca de café boia a partir da 11<sup>a</sup> semana e com o resíduo compostado por um ano a partir da 38<sup>a</sup> semana.

Na dose equivalente a 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O a lixiviação de K com as cascas do café natural e boia foram maiores que a testemunha a partir da 11<sup>a</sup> semana. Com casca de café cereja foi maior a partir da 13<sup>a</sup>, com o resíduo enriquecido e compostado a partir da 14<sup>a</sup> e com o resíduo compostado por um ano a partir da 17<sup>a</sup>. Houve uma tendência do acúmulo de K lixiviado ser maior que a testemunha num período cada vez menor de acordo com o aumento da dose de K<sub>2</sub>O aplicada.

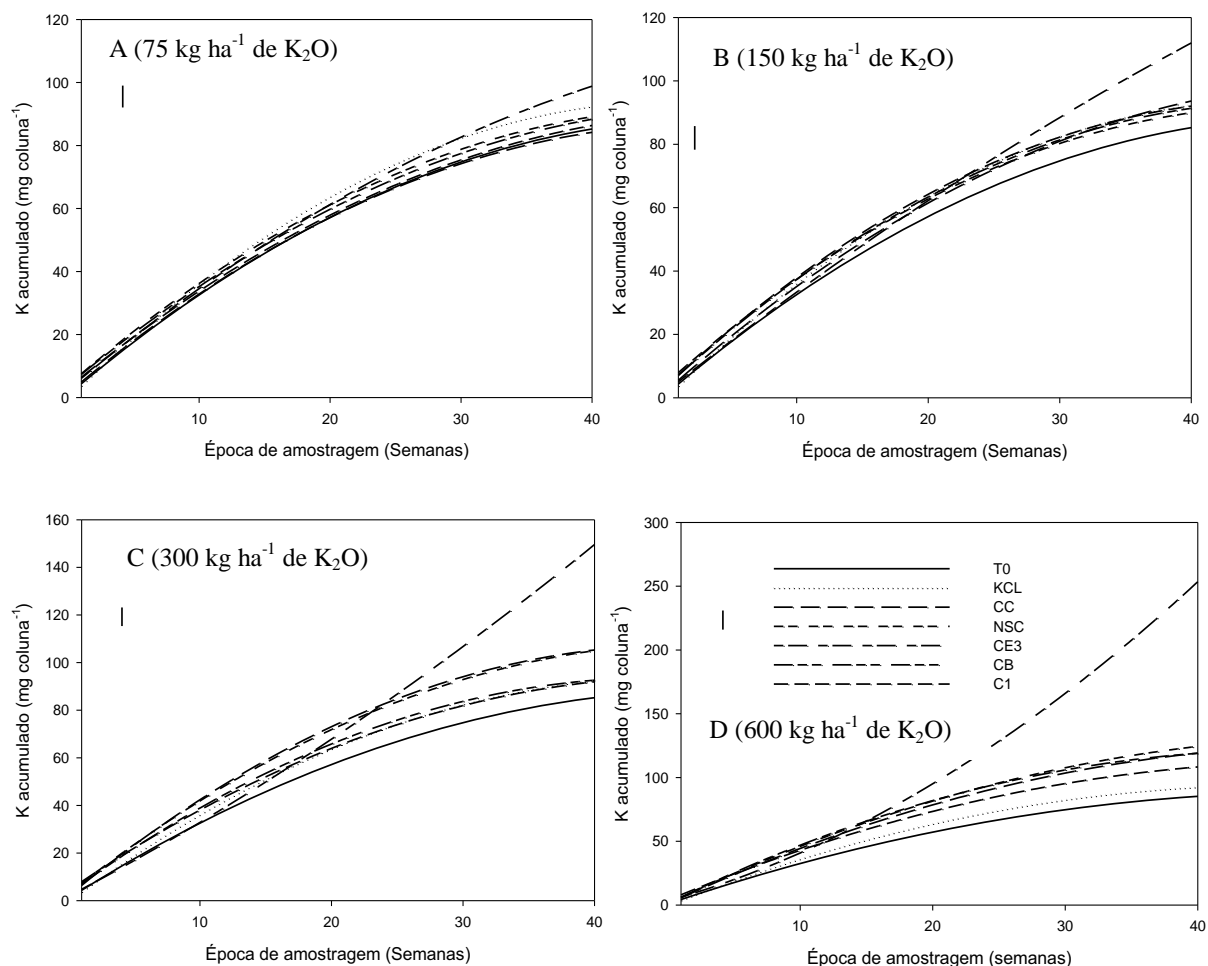
O resíduo compostado por um ano foi o material que mais retardou o início da lixiviação. Uma vez que esse material apresentou o maior pH e a menor condutividade elétrica, ressalta-se novamente a importância desses dois fatores na lixiviação do K aplicado utilizando resíduos vegetais como fonte desse nutriente.

Nas doses de 75 e 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O a taxa de acúmulo de K lixiviado na solução percolada foi reduzida ao longo das semanas de amostragem para todos os tratamentos, porém, nas doses de 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O a taxa observada com o resíduo enriquecido e compostado aumentou ao longo das semanas (Figura 9).

O aumento da taxa inicial de lixiviação de K com as doses aplicadas e a redução da taxa ao longo do tempo pode ser devido à rápida liberação do K pelas cascas de café cereja, natural, boia e resíduo compostado por um ano, e liberação mais lenta do K pelo resíduo enriquecido e compostado. Este resíduo tinha a maior proporção de K solúvel em água, mas quantidade de K presente era menor por unidade de matéria seca (Tabela 1).

Os tratamentos que apresentaram redução na taxa de lixiviação ao longo do tempo podem ter tido redução da taxa de liberação em função do teor de K ser cada vez menor no resíduo e no solo. No caso do resíduo enriquecido e compostado, que teve a taxa aumentada ao longo do tempo, a quantidade total de lignina (Tabela 2) foi de 3 a 9,6 vezes maior que para os outros tratamentos. A lignina pode ter, inicialmente, atuado como barreira física à água. Pelo fato da lignina ser parcialmente hidrofóbica a água aplicada não umedeceu totalmente o material e não retirou o potássio do interior. O potássio lixiviado no início foi apenas aquele que se encontrava próximo à superfície das partículas. Gradativamente a água penetrou mais profundamente nas partículas do resíduo compostado e enriquecido e retirou o potássio. A partir desse momento o enxofre e outros íons podem ter contribuído para o

carreamento do K ao longo do perfil do solo, o que resultou em valores maiores de K lixiviado acumulado na água percolada comparado aos demais tratamentos.



**Figura 8.** Acumulo de K lixiviado analisado na solução percolada ao longo de 40 semanas de amostragem. A, B, C e D, respectivamente equivalente à 75, 150, 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aplicado. T0-Testemunha sem K; KCL-Testemunha com KCL (300 kg ha<sup>-1</sup>); CC-Casca do café cereja; SC-Casca do café natural seco em coco; CB-Casca do café boia; C1-Casca do café compostada por 1 ano; C3-Casca do café enriquecida e compostada por 3 anos.

Tais fatos já foram evidenciados por Malavolta (1980), quando relatou que a remoção de nutrientes minerais de folhas pela água depende de fatores como cerosidade, molhabilidade e estado da cutícula e também por Rosolem et al. (2003), que ao estudar a lixiviação de K da palhada de diversas plantas de cobertura, argumentou que as diferenças na lixiviação de K das palhas devem estar na dependência da composição do tecido vegetal de

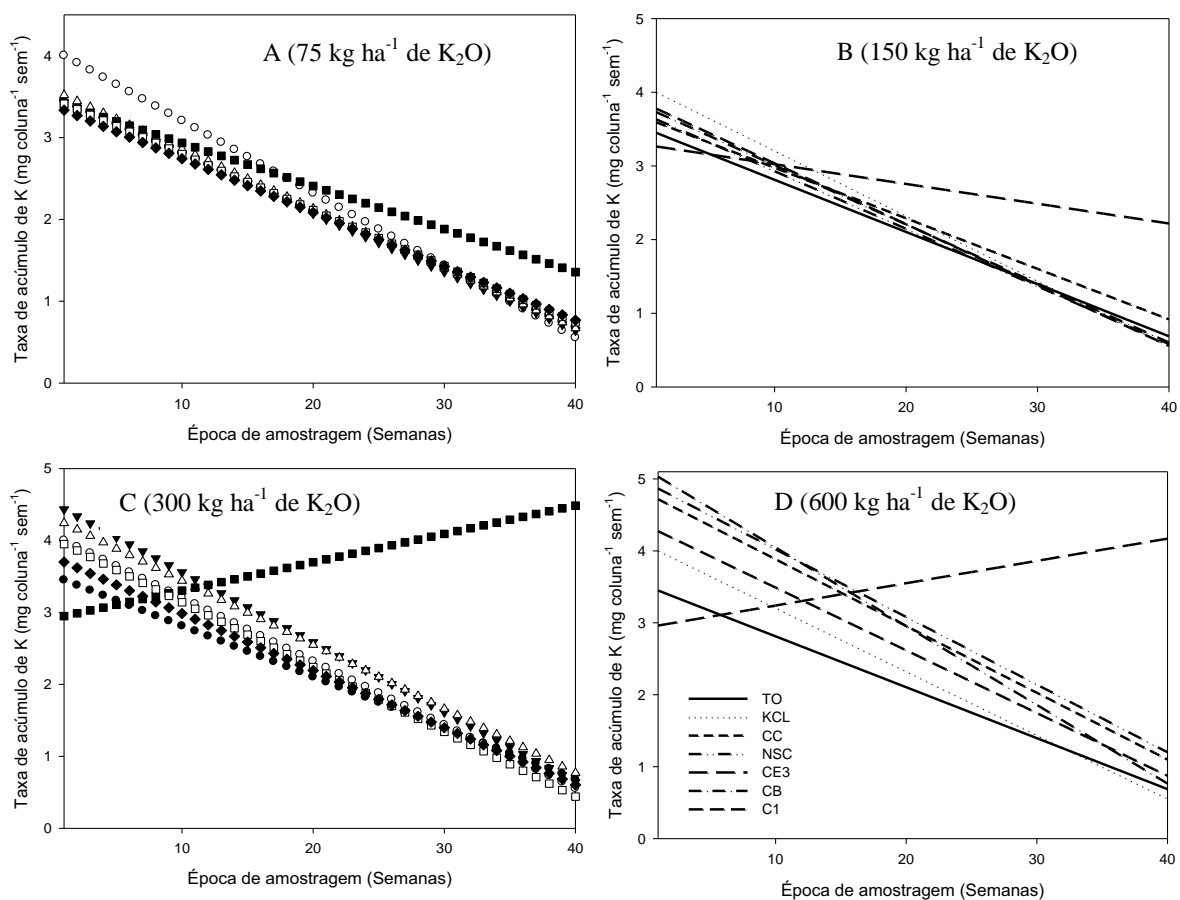


cada espécie, que varia de acordo com teores de celulose, lignina e outros, considerando-se também as diferenças morfológicas dos órgãos aéreos das plantas como a pilosidade das folhas.

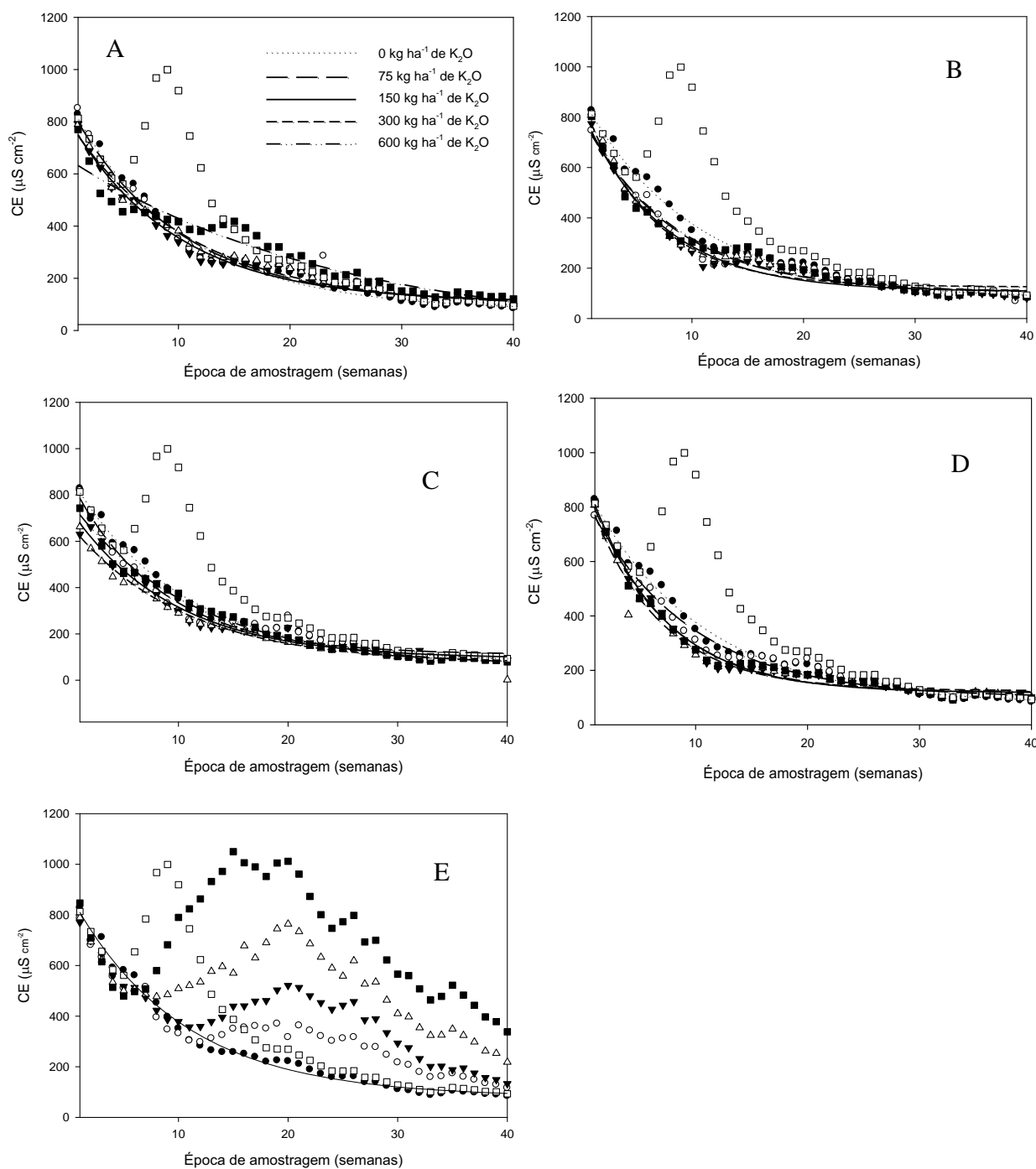
Foi observado o mesmo padrão de decaimento da condutividade elétrica (Figura 10) para as cascas de café cereja, natural, boia e resíduo compostado por um ano. Porém, para o resíduo enriquecido e compostado e testemunha com KCl, não foi encontrado modelo com  $R^2$  superior a 0,70 ( $p < 0,05$ ). Tal fato deve-se provavelmente à maior lixiviação de K e de outros íons além do potássio, pois, a CE é um indicativo da quantidade de íons dissolvidos na água, especialmente sais, o que permite fazer inferência sobre a concentração de nutrientes na solução lixiviada. Quanto maior for a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade elétrica da solução percolada. Os íons diretamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, nitratos, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos (CAIADO, 1994). É possível inferir, baseando-se na Figura. 9, que os resíduos do benefício de café que se ajustaram ao modelo não influenciaram na condutividade elétrica comparando-as a testemunha absoluta, dose 0. Contudo, o tratamento testemunha com KCL alterou a condutividade elétrica, e atingiu o maior valor na 9ª semana.

A condutividade elétrica da solução percolada foi resultado apenas da característica inicial do solo até a 5ª semana de amostragem. Posteriormente, os tratamentos com resíduo enriquecido e compostado e KCL proporcionaram aumento dos valores de condutividade elétrica.

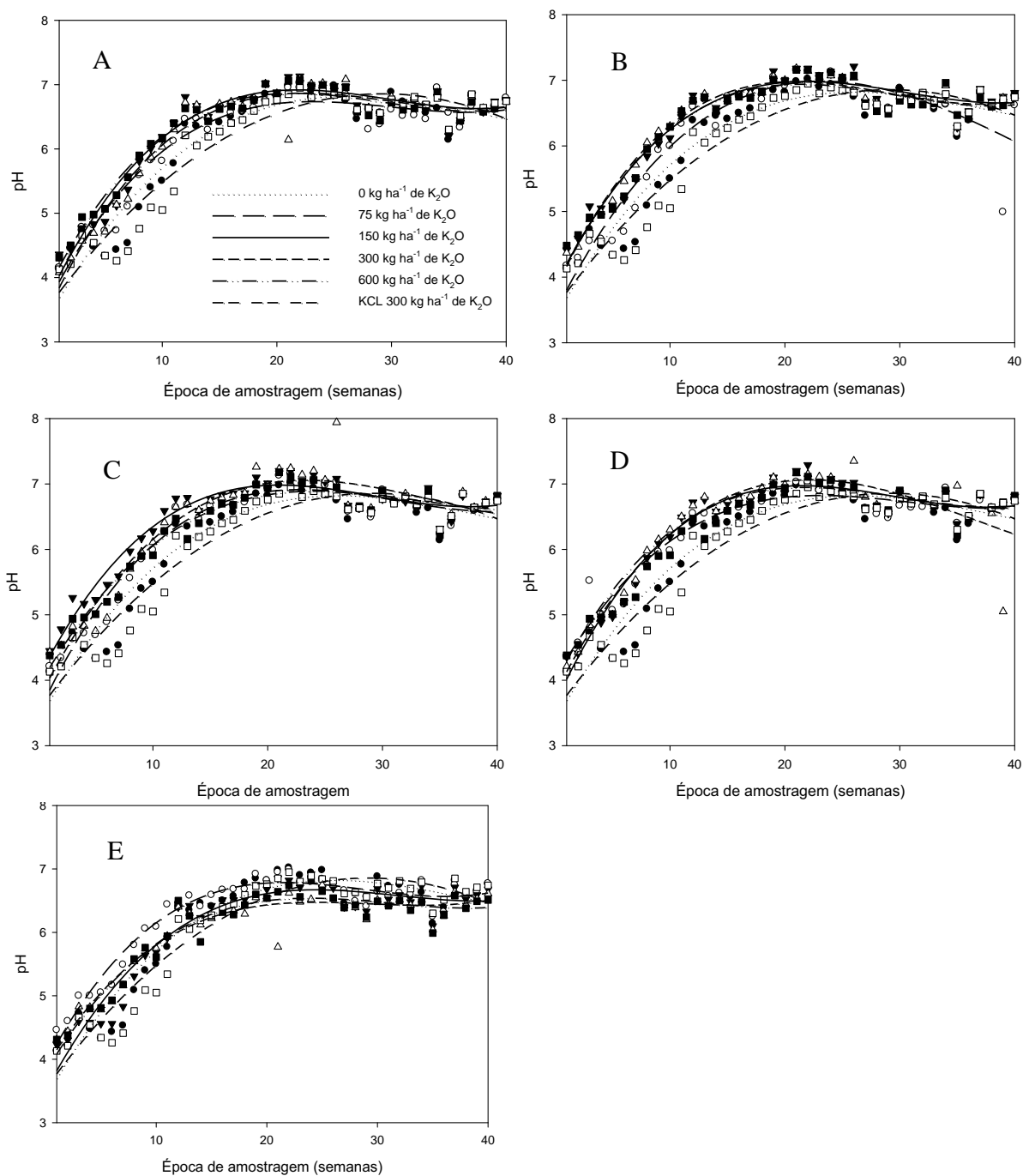
Todos os tratamentos estudados ajustaram-se ao modelo exponencial de 3º ordem para valores de pH da solução percolada (Figura 11) ao longo de 40 semanas. O aumento do pH da solução percolada, nas primeiras semanas, também foi observado por Maria et al. (1993). Esse aumento deve-se ao carregamento de bases proporcionado pelo grande volume de água deionizada aplicado semanalmente, equivalente a 30 mm de lâmina de chuva. No presente trabalho, os cinco tipos de resíduos do benefício de café aplicados não diferiram entre si ou das testemunhas sem e com KCL. Tal situação se opõe as observações de Flora et al. (2007), pois, esses autores concluíram que aplicações de sais potássicos reduziram o pH da solução percolada ao longo de 20 semanas.



**Figura 9.** Taxa de acúmulo de K lixiviado analisado na solução percolada ao longo de 40 semanas de amostragem. A, B, C e D, respectivamente equivalentes à 75, 150, 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aplicado. T0-Testemunha Sem K, KCL-Testemunha com KCL (300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), CC-Casca do café cereja, SC-Casca do café natural seco em coco, CB-Casca do café boia, C1-Casca do café compostada por 1 ano, compostada e enriquecida-Casca do café enriquecida e compostada por 3 anos.



**Figura 10.** Condutividade elétrica da solução percolada pelas colunas ao longo das semanas de amostragem. A-Casca do café cereja; B-Casca do café natural seco em coco; C-Casca do café boia; D-Casca do café compostada por 1 ano; E-Casca do café enriquecida e compostada por 3 anos; Doses equivalentes à: ● 0, ○ 75, ▼ 150, △ 300 e ■ 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aplicado; □ KCL – Cloreto de Potássio equivalente à 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.



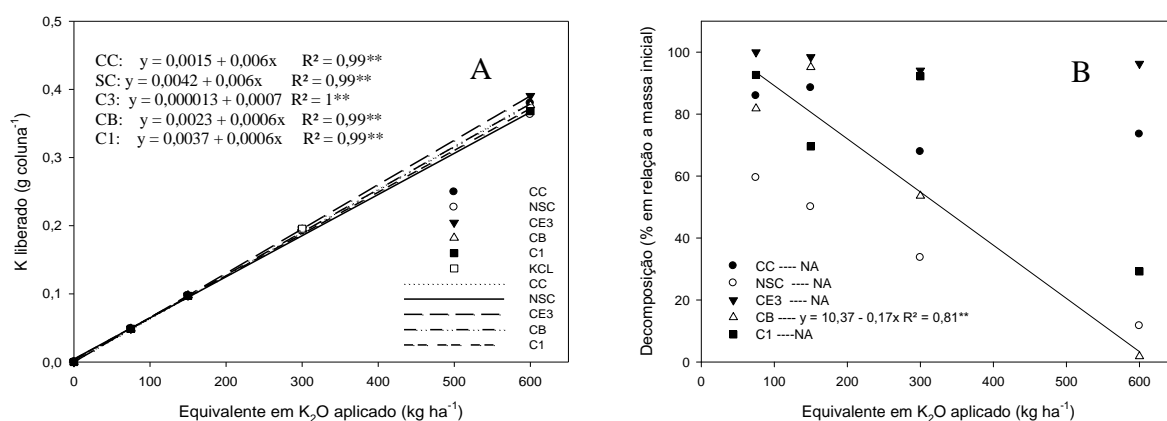
**Figura 11.** pH da solução percolada pelas colunas ao longo das semanas, A-Casca do café cereja; B-Casca do café natural seco em coco; C-Casca do café boia; D-Casca do café compostada por 1 ano; E-Casca do café enriquecida e compostada por 3 anos; Doses equivalentes à: ● 0, ○ 75, ▼ 150, △ 300 e ■ 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aplicado; □ KCL – Cloreto de Potássio equivalente à 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

#### **6.4. Resíduos do benefício de café aplicados na superfície das colunas**

O total de K liberado (Figura. 12A) pelos resíduos não teve relação com a decomposição dos materiais e aumentou linearmente ( $p < 0,01$ ) de acordo com as doses utilizadas. A liberação de K foi acima de 92% para os cinco tipos de resíduos e não houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os resíduos e a fonte de K solúvel. A alta liberação do nutriente pela palhada ocorre devido ao K não ser metabolizado na planta e formar ligações com complexos orgânicos de fácil reversibilidade (ROSOLEM et al., 2003). Os resultados confirmam os dados obtidos por Crusciol et al. (2005) que encontraram valores de K próximo a zero, na palhada de nabo forrageiro, 50 dias após o manejo.

Os resíduos do benefício de café aplicados sobre a superfície do solo das colunas apresentaram menor decomposição (Figura. 12B) na dose máxima utilizada para cascas de café compostada por um ano, natural seco em coco e boia, porém, apesar das tendências, apenas a decomposição da casca do café boia ajustou-se ao modelo linear ( $p < 0,05$ ). A menor decomposição está relacionada com a menor superfície de contato das dos resíduos com o solo, devido ao maior volume, bem como, pela população microbiana presente não ser suficiente para a degradação de todo material ao longo do período estudado. Esses resultados corroboram as observações de Martins et al. (1999).

A decomposição das cascas do café cereja despulpado e enriquecida e compostada por três anos foram maiores que as demais e não se alteraram com as doses aplicadas. Para a casca de café cereja isso pode ser devido ao maior teor inicial de N (Figura 15A), pois, assim, a população microbiana encontrou melhores condições para se desenvolver e realizar a decomposição do material (RANELLS; WAGGER, 1992; DA ROS, 1993). O resíduo enriquecido e compostado, por ter sido compostado por três anos, apresentou menor tamanho de partículas e maior densidade. Assim, esse tratamento teve maior contato com o solo e facilitou a ação dos microrganismos, outro fator importante, é que o resíduo enriquecido e compostado teve a menor relação C:N, fator pode também facilitar a decomposição do material.

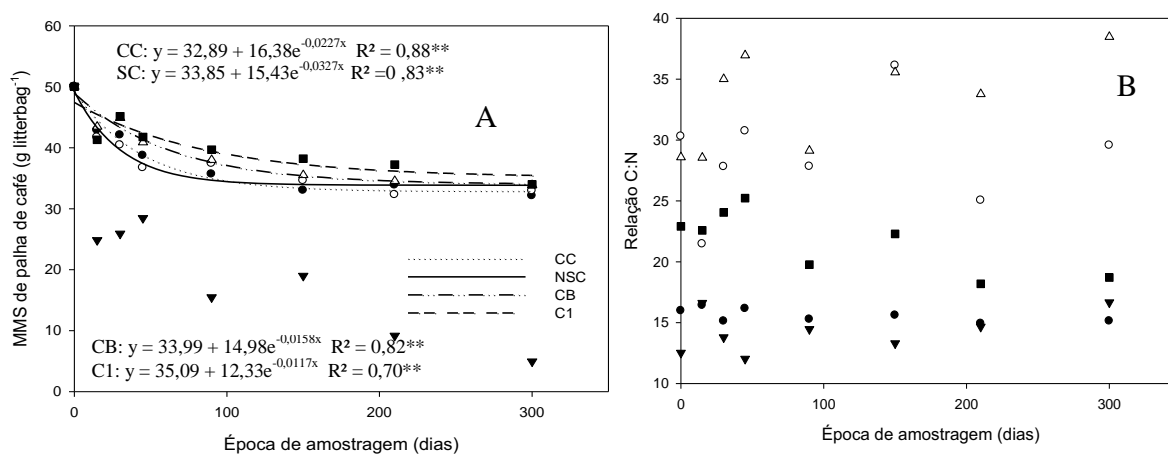


**Figura 12.** Total de potássio liberado pelos tratamentos aplicados em superfície nas colunas, de acordo com as doses, comparado com a testemunha KCl (A); decomposição dos resíduos do benefício de café aplicadas em superfície, porcentagem em relação a massa aplicada inicialmente (B). \*\*significativo ( $p < 0,01$ ); NA (Não ajustou-se ao modelo).

### 6.5. Resíduos do benefício de café nos *Litterbags*

As cascas do café cereja descascado, natural seco em coco, bóia e compostada por um ano apresentaram o mesmo padrão de decomposição da massa de matéria seca, quando dispostas em *litterbags* e ajustaram-se ao modelo de decaimento exponencial ( $p < 0,01$ ), com uma fase inicial rápida seguida de outra mais lenta (Figura 13A). Esse comportamento foi semelhante aos dados apresentados por Aita e Giacomini, (2003), com utilização de *litterbags* na avaliação da decomposição de palhada de plantas de cobertura.

A relação C:N dos resíduos (Figura 13B) não variou significativamente ao longo do período avaliado, bem como, não teve correlação com a decomposição, fato que se opõe aos resultados apresentados por Ranells e Wagger (1992) e Trinsoutrot et al. (2000).

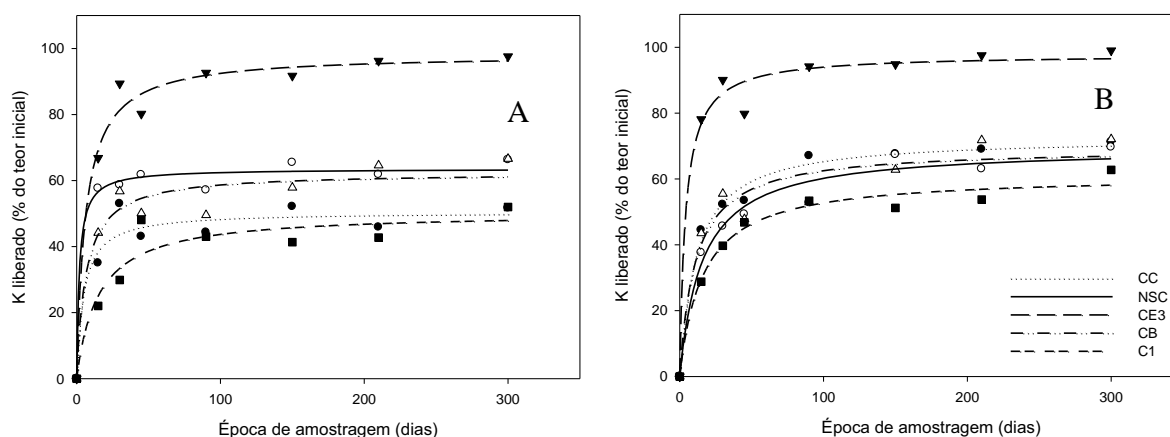


**Figura 13.** Decomposição (A) e Relação Carbono:Nitrogênio (B) dos resíduos do benefício de café dos litterbags ao longo do tempo. **\*\***significativo ( $p < 0,01$ ); NA (Não ajustou-se ao modelo).

● Casca do café cereja (CC); ○ Casca do café natural seco em coco (SC); ▼ Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos (C3); △ Casca de café boia (CB); ■ Casca de café 1 ano compostada (C1).

Com a utilização de *litterbags* as porcentagens de potássio liberado em relação ao teor inicial, avaliado pelo método da digestão ácida (Figura 14A) e pelo método dos nutrientes solúveis em água (Figura 14B) foram similares, porém o teor inicial foi maior pelo primeiro método (Tabela 1). Contudo, as porcentagens de K liberado avaliadas a partir do uso de *litterbags* foram menores que da aplicação diretamente em superfície.

O método de análise de nutrientes por digestão (MALAVOLTA et al., 1997) é adequado para determinar o teor de K dos resíduos. Entretanto, o método de nutrientes solúveis em água subestimou esses valores, uma vez que os teores de K no solo (Figura 6), teores de K na solução percolada (Figura 7) e quantidade de K liberada ao solo (Figura 12A) responderam às doses aplicadas. Cottica et al. (1999) e Marcon et al. (1999) utilizaram o método da digestão para avaliarem os teores de K e notaram, em condições de campo, que, passados 55 dias do manejo da aveia preta e do nabo forrageiro, houve perdas de 92 e 99 % do K, respectivamente.



**Figura 14.** Potássio liberado pelos resíduos dos litterbags ao longo do tempo, porcentagem em relação ao teor inicial, analisados pelo método da digestão (A) e pelo método de nutrientes solúveis em água (B). \*\*Significativo ( $p < 0,01$ ).

● Casca do café cereja (CC); ○ Casca do café natural seco em coco (SC); ▼ Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos (C3); △ Casca de café boia (CB); ■ Casca de café 1 ano compostada (C1).

Nesse experimento, os resíduos adicionados aos *litterbags* não liberaram K com a mesma intensidade que os resíduos aplicadas diretamente na superfície do solo, tal fato pode ter ocorrido devido à tela de *nylon* utilizada na confecção dos *litterbags* ter alterado a distribuição da água das simulações de chuva sobre os resíduos, ter reduzido a ação de microrganismos por barreira física, bem como, ter proporcionado menor contato dos materiais com o solo. Em experimento com *litterbags* Tian et al, (1992) encontraram alta correlação entre a taxa de decomposição de resíduos vegetais com relação C:N, lignina e fenóis totais, bem como com a espessura da malha do *nylon* dos *litterbags* e comentaram que todos esses fatores devem ser considerados na decomposição de tecidos vegetais e liberação de nutrientes.

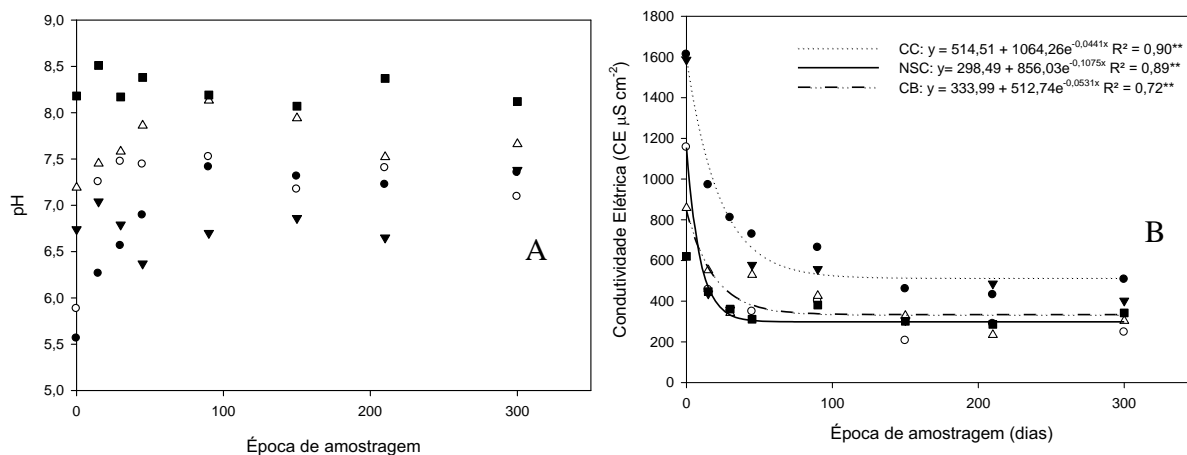
Na Figura 15B é possível observar que a condutividade elétrica dos resíduos do beneficiamento de café ajustou-se ao modelo em três tratamentos, ou seja, cascas de café cereja, natural e boia ( $p < 0,01$ ). Assim como para K liberado (Figura 14), a condutividade elétrica dos resíduos (Figura 15B) teve seu ponto de inflexão entre o 30º e o 45º dia. Esses resultados denotam a rápida liberação dos nutrientes dos resíduos dos *litterbags* no período inicial e posterior estabilização, com teores de K remanescentes maiores que os encontrados nos resíduos aplicados diretamente sobre a superfície do solo.



Os cinco tratamentos estudados foram caracterizados com pH diferentes no início do experimento, porém, apesar de Sanchez et al., (1999) demonstrarem alterações de pH entre 4 e 8,3 em 35 dias de compostagem de casca de café, e afirmarem que o pH é um bom indicador da atividade microbiana nos materiais, não foram observadas alterações significativas de pH (Figura 15A) nesse experimento ao longo das épocas de amostragem.

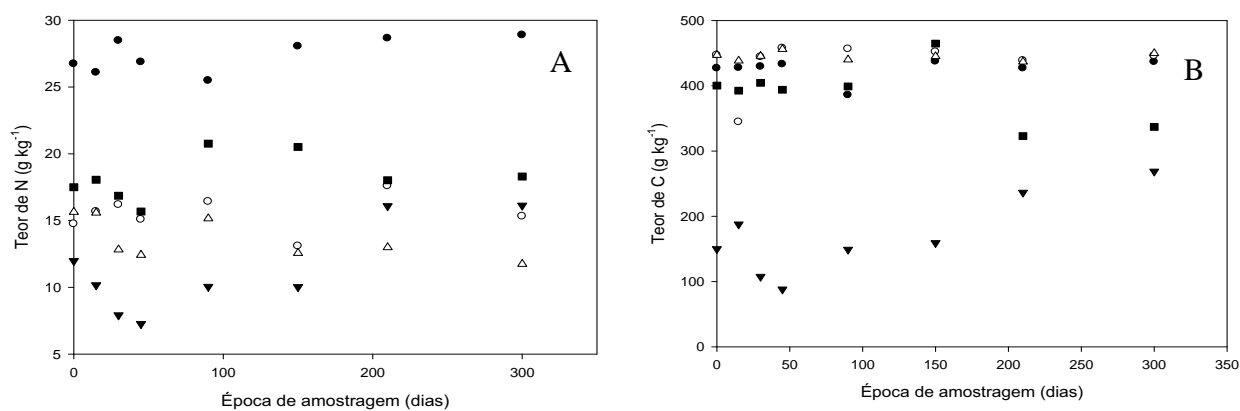
Schomberg e Steiner (1999) relataram que os fatores mais importantes a serem considerados na decomposição de resíduos vegetais são a quantidade de água recebida pelos materiais, a temperatura, os teores de nitrogênio, celulose, e lignina. Porém, nesse experimento, não se observou diferença nos teores de nitrogênio (Figura 16A) e carbono (Figura 16B) dos resíduos dos *litterbags* ao longo das épocas de amostragem.

O resíduo enriquecido e compostado foi o que apresentou menor teor de fenóis e também a maior liberação de K pelo método do *litterbag*. Swain (1979) afirmou que fenóis reduzem a decomposição de resíduos vegetais pela inibição da ação enzimática. Sivapalan et al., (1985) observaram que a mineralização de N foi reduzida pela presença de altas concentrações de fenóis, devido as ligações do N mineralizado a compostos orgânicos insolúveis. No entanto o tratamento café cereja apresentou o maior teor de fenóis e não teve a menor liberação de K pelo método do *litterbag* (Figura 14). Além disso, quando os resíduos foram aplicados diretamente em superfície os fenóis não influenciaram na liberação do K (Figura 12A).



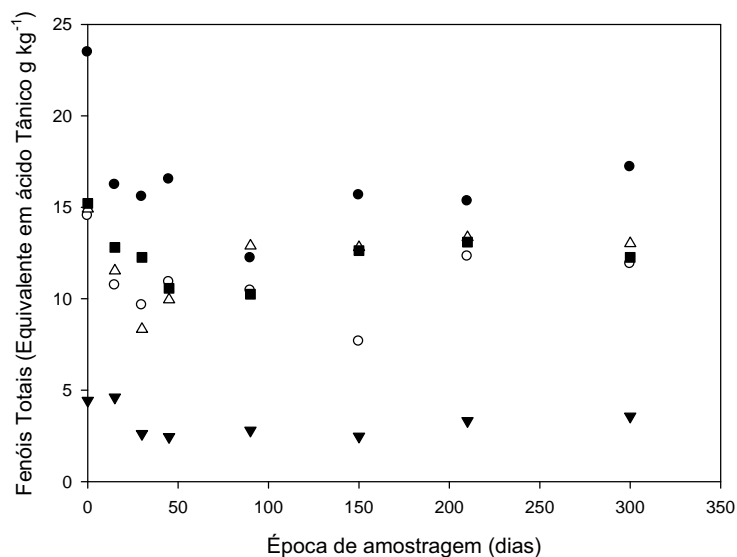
**Figura 15.** pH (A) e Condutividade elétrica (B) dos resíduos dos litterbags ao longo do tempo. **\*\*Significativo ( $p < 0,01$ ).**

● Casca do café cereja (CC); ○ Casca do café natural seco em coco (SC); ▼ Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos (C3); △ Casca de café boia (CB); ■ Casca de café 1 ano compostada (C1).



**Figura 16.** Teor de nitrogênio total (A), e teor de carbono total (B) avaliados pelo método LECO.

● Casca do café cereja (CC); ○ Casca do café natural seco em coco (SC); ▼ Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos (C3); △ Casca de café boia (CB); ■ Casca de café 1 ano compostada (C1).



**Figura 17.** Fenóis totais representados por equivalente em ácido tânico analisados nos resíduos dos litterbags ao longo do tempo.

● Casca do café cereja (CC); ○ Casca do café natural seco em coco (SC); ▼ Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos (C3); △ Casca de café boia (CB); ■ Casca de café 1 ano compostada (C1).

Os valores de celulose, hemicelulose e lignina (Tabela 3) foram diferentes entre os tratamentos ( $P < 0,05$ ) e entre o início e o final do experimento (300 dias), porém, não influenciaram na liberação do K.

Nesse trabalho os *litterbags* não representaram a liberação de potássio da mesma maneira que os resíduos vegetais aplicados diretamente em superfície. Foi demonstrado através dos resultados do experimento com colunas que a liberação de K pelos resíduos do benefício de café estiveram acima de 92% do teor inicial analisado pelo método da digestão (MALAVOLTA et al., 1997), o que indica que esse método de análise prediz a quantidade de potássio a ser considerada na recomendação de adubação com utilização dos resíduos do benefício de café.

Os teores de K e a massa de matéria seca dos resíduos foram diferentes e quando se considera o volume de matéria original de resíduo necessário para aplicar a mesma quantidade de K (Tabela 2) na lavoura, esses dois fatores tornam-se muito importantes para elaboração do custo de aplicação. Considerando que a liberação de K pelos resíduos ao

longo do período estudado foi semelhante para todos os materiais estudados, os cinco tipos de resíduos do benefício de café podem ser considerados como fontes alternativas de K. Porém, é possível observar que os dois materiais compostados (casca de café enriquecida e composta por três anos e casca de café compostada por um ano) tem teor inicial de K menor que as demais. O menor teor significa que o potássio presente no resíduo antes do processo de compostagem foi perdido por lixiviação. Além desse nutriente não ter sido utilizado como fertilizante na lavoura ele pode provocar problemas ambientais na região onde se depositam as pilhas de cascas de café para compostagem, uma vez que, é comum a compostagem ser realizada ao céu aberto.

Outros estudos podem ser realizados futuramente com o intuito de demonstrar as vantagens de utilização de cada tipo de resíduo do benefício de café, tais quais, liberação de nitrogênio e outros nutrientes, aumento da matéria orgânica, manutenção da umidade, redução da erosão laminar e compactação do solo e supressão de pragas, doenças e planta daninhas.

**TABELA 3.** Teores iniciais (Tempo 0) e finais (300 dias) de Celulose, Hemicelulose e Lignina nos resíduos adicionadas aos *litterbags*.

	CC <sup>1</sup>	SC <sup>2</sup>	C3 <sup>3</sup>	CB <sup>4</sup>	C1 <sup>5</sup>
	-----g kg <sup>-1</sup> -----				
<b>Lignina</b>					
Inicial	20,9 Bb	21,0 Bb	31,3 Aa	20,7 Bb	30,5 Ab
Final	32,6 Ba	27,8 Ca	33,5 Ba	23,5 Da	37,5 Aa
<b>Celulose</b>					
Inicial	25,9 Db	33,5 Cb	10,9 Ea	41,5 Ab	35,8 Ba
Final	30,4 Ca	41,6 Ba	12,8 Da	46,2 Aa	28,3 Cb
<b>Hemicelulose</b>					
Inicial	3,8 Db	10,8 Ba	-	15,7 Aa	7,6 Ca
Final	6,5 Ba	10,4 Aa	-	11,8 Ab	5,6 Bb

Letras maiúsculas denotam diferença significativa ( $p < 0,05$ ), pelo teste t, entre os tratamentos e letras minúsculas entre os períodos de amostragem.

1: Casca do café cereja (CC)

2: Casca do café natural seco em coco (SC)

3: Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos (C3)

4: Casca de café boia (CB)

5: Casca de café 1 ano compostada (C1)

## 7. CONCLUSÕES

Diferentes preparos dos resíduos do benefício de café resulta em características distintas em relação aos teores de potássio, nitrogênio, carbono, celulose, hemicelulose, lignina, fenóis totais, pH e condutividade elétrica. A liberação de K é alta (acima de 90%), mas independe da constituição ou tipo de resíduo do benefício de café que, assim, poderiam ser utilizados como substituto do fertilizante mineral.

A aplicação de K na forma de resíduos do benefício de café não evita perdas por lixiviação. O resíduo enriquecido e compostado com gesso, a casca do café cereja e a casca do café natural seco em coco proporcionam lixiviação maior que aquela observada com aplicação de fertilizante potássico mineral.

## 8. REFERÊNCIAS

AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 601-612. ago. 2003.

ALEXANDER, M. **Introduction to soil microbiology**. New York: John Willey, 1977. p. 128-147.

BADOCHA, T. E.; COSTA, R. S. C.; LEONIDAS, F. C. Casca de café: um importante insumo para a agricultura orgânica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: EMBRAPA, 2003.

BARCELOS, A. F. et. al. Aproveitamento da casca de café na alimentação de novilhos confinados. **Circular Técnica**, Lavras, v. 25, p. 1-3, dez. 1992.

BARROS, U. V. et al. Doses e modo de aplicação de palha-de-café (curtida PCC e sem curtir – PCSC), composto 50% e palha-de-café e esterco de gado e esterco de gado curtido no plantio de cafeeiro em solo LVA: resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21., 1995, Caxambú. **Anais...** Brasília, DF: MAA-PROCAFE, 1995. p. 171-173.

- BARTHOLO, G. F. et al. Cuidados na colheita, no preparo e no armazenamento do café. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 14, n. 162, p. 33-44, 1989.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. de A.; CAMARGO, F.A. de O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. p. 9-26.
- BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos: EESC-USP, 1999.
- BISSANI, C. A. et al. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Metrópole Indústria Gráfica, 2004.
- BRAGANÇA, J. B. Utilização do esterco de galinha e da palha de café na substituição parcial da adubação química do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 12., 1985. Caxambú. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/MIC, 1985. p. 130-132.
- BRAHAN J. E.; BRESSANI, R. Composición química de la pulpa de café y otros subproductos. In: ELIAS, L. G. (Ed.). **Pulpa de café: composición, tecnología y utilización**. Panamá: INCAP, 1978. p. 19-29.
- BRUM, S. S. **Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais**. Lavras: UFLA, 2007. 138 p.
- CAIADO, M. A. C. **Inter-relações entre ambientes e qualidade das águas do Rio Itapemirim**. 1994. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)-Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1994.
- CASTRO, S. de F. Valor de la pulpa de café como abono. **Boletín Informativo do Instituto Salvadoreño de Investigaciones del Café**, Santa Tecla, n. 5, p. 321-342, 1960. Suplemento
- CATANI, R. A. et al. A absorção de N, P, K, Ca, Mg e S pelo cafeeiro aos dez anos de idade. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 22, p. 81-89, 1965.
- CERETTA, C. A. et al. Nitrogen fertilizer split-application for corn in no-till succession to black oats. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, p. 549-554, 2002.
- COLOZZI FILHO, A. et al. Alterações na biomassa microbiana do solo e em alguns de seus compostos, em função da adubação verde do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: Embrapa, 2000. p. 1393-1395.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Conheça a CONAB. 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=11&t=>>>. Acesso em: 20 dez. 2011.

COSTA, R. S. C. da et al. A importância da casca de café para aumento da produtividade, fornecimento de nutrientes e controle de plantas daninhas no cafezal em Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 29., 2003, Araxá. **Trabalhos apresentados...** Varginha: PROCAFÉ, 2003. p. 246-248

COTTICA, R. L. et al. Persistência de cobertura morta e liberação de nutrientes de palhada de aveia preta em Latossolo Roxo cultivado com milho em plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, DF, 1999. **Programas e Resumos...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

CRUSCIOL, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do nabo forrageiro no plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 2, p. 161-168, fev. 2005.

DA ROS, C.O. **Plantas de inverno para cobertura do solo e fornecimento de nitrogênio ao milho em plantio direto.** 1993. 85 f. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1993.

DIAS, L. E. et al. Dinâmica de algumas formas de enxofre em colunas de solos tratados com diferentes doses de fósforo e gesso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 373-380, 1994.

EL-FADEL, M. et al. Temporal variation of leachate quality pré –sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. **Waste Management**, Oxford, n. 22, p. 269-282, 2002.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: 1999. 412 p.

ERNANI, P. R. Alterações em algumas características químicas na camada arável do solo pela aplicação de gesso agrícola sobre a superfície de campos nativos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 241-245, 1986.

ERNANI, P. R.; BARBER S.A. Composição da solução do solo e lixiviação de cátions afetadas pela aplicação de cloreto e sulfato de cálcio em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 10, p. 41-46, 1993.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, jan./abr. 1998.



- FALCO, L. et al. Uso de matéria orgânica na implementação de lavoura cafeeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., Franca. **Anais...** Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ, 1999. p. 164-166.
- 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**, Campinas, v. 31, n. 6, p. 1592-1598, 2007.
- GARCIA, A. W. R.; MATIELLO, J. B.; JAPIASSU L. B. Avaliação do efeito nutricional de vários tipos de palha de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 30., 2004, São Lourenço. **Trabalhos apresentados...** Varginha: PROCAFÉ, 2004. p. 63-64.
- GARCIA, A. W. R. et al. Efeito da adubação química isoladamente, bem como a sua associação com adubos orgânicos na produção do cafeeiro Mundo Novo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. 1983. Varginha: PROCAFÉ, p. 282-284.
- GOUVEA, B. M. et al. Feasibility of ethanol production from coffee husks. **Biotechnology Letters**, Dordrecht, v. 31, p. 1315-1319, 2009.
- GUIMARÃES, P. T. G. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do Sul de Minas**. 1986. 140 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1986.
- HULUGALLE, N.; LAL, R.; TERKUILE, C. H. H. Amelioration of soil physical properties by *Mucuna* after mechanized land clearing of a tropical rainforest. **Soil Science**, Madison, n. 141, p. 219-224, 1986.
- JAYARAMA, R. P.; ALWAR, A.; NAIDU, R. Latest concept of fertilizer usage in coffee plantations with respect to nitrogen, phosphorus and potassium. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 58, n. 9, p. 9-12, 1994.
- JORDAN, C. F. **Nutrient cycling in tropical forest ecosystems: principles and their application in management and conservation**. New York: John Wiley & Sons, 1985.
- KANG, B. T. et al. *Leucaena* [*leucaena leucocephala* (Lal) de Wit] prunings as nitrogen sources for maize (*Zea mays* L.) **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 2, n. 4, p. 279-287, 1981.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 452 p.
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1998.

KLEINMAN, P. D. et al. Selection of a water extractable phosphorus test for manures and biosolids as an indicator of runoff loss potential. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 36, p. 1357-1367, 2007.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 2, p. 79-86, 1996.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Ed.). **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 165-275.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro**: colheitas máximas econômicas. São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E. et al. **Metodologia para análise de elementos em material vegetal do livro, avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997.

MARCON, E. et al. Persistência e liberação de nutrientes de palhada de nabo forrageiro em condições de lavoura. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, DF, 1999. **Programa e Resumos...** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.

MARIA, L. C. et al. M. Efeito da adição de diferentes fontes de cálcio no movimento da cátiões em colunas de solo. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 50, n. 1, p. 87-98, 1993.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.

MATIELLO, J. B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. p. 320

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: Editora Bom Pastor, 2005. p. 198

MARTINS, D. et al. Emergência em campo de dicotiledôneas infestantes em solo coberto com palha de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 151-161, 1999.

MCLEAN, E. D.; WATSON, M. E. Soil measurement of plant available potassium. In: MUNSON, R. D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p. 277-308.

MULLER, A. G. **Comportamento térmico do solo e do ar em alface (*Lactuca sativa* L.) para diferentes tipos de cobertura do solo.** 1991. 77 f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1991.

NACHTIGALL, G. R.; VAHL, L. C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 37-42, 1991.

OLIVEIRA, F. N. S.; LIMA, J. M. CAJAZEIRA, J. P. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos.** Fortaleza: EMBRAPA, 2004.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Dynamics of residue decomposition and soil organic matter turnover. In: \_\_\_\_\_. **Soil microbiology and biochemistry.** 2nd. ed. San Diego: Academic, 1996. p. 158-179.

PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.P.; MESQUITA FILHO, L. Manejo da adubação para formação de lavouras cafeeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, n. 1, p. 33-42, jan. 1986.

PICCOLO, A.; NARDI, S.; CONCHERI, G. Structural characteristics of humus and biological activity. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 24, n. 373, p. 273-380, 1992.

RANELLS, N. N.; WAGGER, M. G. Nitrogen release from crimson clover in relation to plant growth stage and composition. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 424-430, 1992.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2001. 285 p.

RENA, A. B. et al. **Cultura do cafeeiro:** fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Potafós, 1986.

RIBEIRO FILHO, E. et al. Efeito da casca de café (*Coffea arabica*, L.) no desempenho de novilhos mestiços de Holandês-zebu na fase de recria. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 1, p. 225-232, 2000.

ROSOLEM, C. A.; CALONEGO, J. C.; FOLONI, J. S. S. Lixiviação de potássio da palha de coberturas de solo em função da quantidade de chuva recebida. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, p. 355-362, 2003.

ROSSETTI, R. P. **Determinação de fenóis totais em frutos do café:** avaliações em diferentes fases de maturação. 2007. Dissertação (Mestrado em Química Analítica)-Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/75/75132/tde-27032008-091714/>>. Acesso em: 10 mar. 2012.

- SÁNCHEZ G., OLGUIN J. E.; MERCADO G. Accelerated coffee husk composting. **Biodegradation**, Dordrecht, v. 10, n. 1, p. 35-41, 1999.
- SANTINATO, R.; OLIVEIRA, L. H.; PEREIRA, E. M. Efeitos do uso de salitre de potássio como fonte de nitrogênio e potássio na adubação química do cafeeiro Carmo do Paranaíba, MG - 1992/1996. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** São Paulo: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1996. p. 180-184.
- SANTINATO, R. et al. Adubação orgânica com palha de café curtida associada com a adubação química NPKS de forma compensada durante a formação da lavoura de café em solo de cerrado LVE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 33., 2007, Lavras. **Trabalhos apresentados...** Varginha: PROCAFÉ. 2007. p. 335-337.
- SANTINATO, R. et al. Adubação orgânica com palha de café curtida associada com a adubação química N-P-K-S na forma compensada durante a formação da lavoura de café em solo de cerrado – LVE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 34., 2008, Caxambú. **Trabalhos apresentados...** Varginha: PROCAFÉ, 2008. p. 321-323
- SCHOMBERG, H. H.; STEINER, J. L. Nutrient dynamics of crop residues decomposing on a fallow no-till soil surface. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 3, p. 607-613, 1999.
- SEDIYAMA, M. A. N. et al. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 185-189, mar. 2000.
- SILVA, E. B. et al. Resposta do cafeeiro à adubação potássica em safras de baixa e alta produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 11, p. 1331-1337. nov. 2001.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI JUNIOR, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 16, p. 144-158, 1965.
- SIVAPALAN, K.; FERNANDO, V.; THENABADU M, W. N-mineralization in polyphenol-rich plant residues and their effect on nitrification of applied ammonium sulphate. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v. 17, p. 547-551, 1985.
- SWAIN, T. Tannins and lignins. In: ROSENTHAL, G. A.; JANZEN, D. H. (Ed.). **Herbivores their interaction with secondary plant metabolites**. New York: Academic Press, 1979. p. 657-822.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.
- TEIXEIRA, R. F. F. Compostagem. In: HAMMES, V. S. (Org.). **Educação ambiental**

**para o desenvolvimento sustentável.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. v. 5, p. 120-123.

TESTA, V. M. **Características químicas de um podzólico vermelho-escuro, nutrição e rendimento do milho afetados por sistemas de culturas.** 1989. 143 f. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1989. 143p.

TIAN, G.; BRUSSAARD, L.; KANG, B. T. An index for assessing the quality of plant residues and evaluating their effects on soil and crop in the (sub-)humid tropics. **Applied Soil Ecology**, Amsterdam, n. 2, p. 25-32, 1995.

TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSAARD, L. Biological effects of plant residues with contrasting chemical compositions under humid tropical conditions – decomposition and nutrient release. **Soil Biology and Biochemistry**, Elmsford, v. 24, p. 1051-1060, 1992.

TRINSOUTROT, I. et al. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 64, p. 918-926, 2000.

VALE JÚNIOR, J. F; LEITÃO SOUSA, M. I Caracterização e distribuição dos solos das Savanas de Roraima. In: BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; SOUZA, J. M. C. **Savanas de Roraima: etnoecologia, biodiversidade e potencialidades agrossilvipatoris.** Boa Vista: FEMACT, 2005. p. 79-81.

VANDERBERGHE, L. P. S. et al. Produção de ácido cítrico por *Aspergillus niger* LPB 21 em fermentação no estado sólido com casca de café. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE BIOTECNOLOGIA NA AGROINDÚSTRIA CAFEEIRA, 3., 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR/ UFPR/ IRD, 1999.

VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cellwall constituents. **Journal of the Association Official of analytical Chemists**, Arlington, v. 50, p. 50-55, 1967.

VEGRO, C. L, R.; CARVALHO, F. C. Disponibilidade e utilização de resíduos gerados no processamento agroindustrial do café. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 9-16, 1994.

VIANA, A. S. et al. Estudo de níveis e relação N/K em cafeeiros plantados em solo LE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambú. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC-Gerca, 1985a. p. 139-142.

VIANA, A. S. et al. Níveis e relação N/K em cafezais planta dos em espaçamento 2 x 1m. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC-Gerca, 1985b. p. 66-69.

VIANA, A. S. et al. Doses de parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambú. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC-Gerca, 1985c. p. 146-148.

WADE, W. K.; SANCHEZ, P. A. Mulching and green manure application for continuous crop production in the Amazon basin. **Agronomy Journal**, Madison, n. 75, p. 39-45, 1983.

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**, Campinas, v. 32, n. 6, p. 2297-2305. dez. 2008.

## 9. APENDICE I – Equações das curvas de regressão

**Tabela 4.** Equações das curvas ajustadas para teor de K no solo (Figura 6).

<b>Profundidade do solo analisado</b>				
	<b>A (0 - 5 cm)</b>	<b>B (5 - 10 cm)</b>	<b>C (10 - 15 cm)</b>	<b>D (15 - 40 cm)</b>
<b>CC</b>	$y = 0,76 + 0,0057x$ $R^2 = 0,72^{**}$	$y = 0,73 + 0,0048x$ $R^2 = 0,95^{**}$	$y = 0,70 + 0,0036x$ $R^2 = 0,94^{**}$	$y = 0,69x + 0,0019x$ $R^2 = 0,85^{**}$
<b>SC</b>	$y = 0,59 + 0,0070x$ $R^2 = 0,97^{**}$	$y = 0,74 + 0,0035x$ $R^2 = 0,90^{**}$	$y = 0,74 + 0,0026x$ $R^2 = 0,87^{**}$	$y = 0,73 + 0,0013x$ $R^2 = 0,85^{**}$
<b>C3</b>	NA	NA	NA	NA
<b>CB</b>	$y = 0,45 + 0,0084x$ $R^2 = 0,98^{**}$	$y = 0,68 + 0,0040x$ $R^2 = 0,91^{**}$	$y = 0,69 + 0,0026x$ $R^2 = 0,87^{**}$	$y = 0,65 + 0,0012x$ $R^2 = 0,86^{**}$
<b>C1</b>	$y = 0,54 + 0,0089x$ $R^2 = 0,98^{**}$	$y = 0,76 + 0,0040x$ $R^2 = 0,92^{**}$	$y = 0,75 + 0,0028x$ $R^2 = 0,86^{**}$	$y = 0,71 + 0,0010x$ $R^2 = 0,88^{**}$

CC: Casca do café cereja; SC: Casca do café natural seco em coco; C3: Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos; CB: Casca de café boia; C1: Casca de café 1 ano compostada; \*\* ( $p < 0,01$ ); NA (Não ajustou-se ao modelo)

**Tabela 5.** Equações das curvas ajustadas para total de K lixiviado (figura 7)

<b>CC</b>	$R^2 = 0,71^{**}$	$y = 84,23 + 0,0767x$
<b>SC</b>	$R^2 = 0,71^{**}$	$y = 85,52 + 0,0701x$
<b>C3</b>	$R^2 = 0,89^{**}$	$y = 77,67 + 0,2694x$
<b>CB</b>	NA	
<b>C1</b>	NA	

CC: Casca do café cereja; SC: Casca do café natural seco em coco; C3: Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos; CB: Casca de café boia; C1: Casca de café 1 ano compostada. \*\* ( $p < 0,01$ ); NA (Não ajustou-se ao modelo).

**Tabela 6.** Equações das curvas ajustadas para K acumulado analisado na solução percolada ao longo de 40 semanas (figura 8).

T0	$Y = 0,86 + 3,52x - 0,0354x^2$	$R^2 = 0,94^{**}$
KCL	$Y = -0,31 + 4,09x - 0,0442x^2$	$R^2 = 0,97^{**}$
Dose 1		
CC	$Y = 1,44 + 3,50x - 0,0357x^2$	$R^2 = 0,94^{**}$
SC	$Y = 3,98 + 3,59x - 0,0365x^2$	$R^2 = 0,96^{**}$
C3	$Y = 2,64 + 3,46x - 0,0263x^2$	$R^2 = 0,93^{**}$
CB	$Y = 3,85 + 3,48x - 0,0342x^2$	$R^2 = 0,87^{**}$
C1	$Y = 3,06 + 3,40x - 0,0329x^2$	$R^2 = 0,98^{**}$
Dose 2		
CC	$Y = 1,90 + 3,66x - 0,0343x^2$	$R^2 = 0,90^{**}$
SC	$Y = 4,26 + 3,71x - 0,0391x^2$	$R^2 = 0,99^{**}$
C3	$Y = 1,78 + 3,29x - 0,0134x^2$	$R^2 = 0,95^{**}$
CB	$Y = 3,27 + 3,81x - 0,0401x^2$	$R^2 = 0,89^{**}$
C1	$Y = 3,37 + 3,86x - 0,0413x^2$	$R^2 = 0,92^{**}$
Dose 3		
CC	$Y = 1,93 + 4,53x - 0,0486x^2$	$R^2 = 0,95^{**}$
SC	$Y = 3,03 + 4,33x - 0,0445x^2$	$R^2 = 0,97^{**}$
C3	$Y = 1,83 + 2,91x + 0,0197x^2$	$R^2 = 0,95^{**}$
CB	$Y = 2,98 + 4,04x - 0,0450x^2$	$R^2 = 0,98^{**}$
C1	$Y = 4,21 + 3,78x - 0,0397x^2$	$R^2 = 0,87^{**}$
Dose 4		
CC	$Y = 0,89 + 4,81x - 0,0464x^2$	$R^2 = 0,97^{**}$
SC	$Y = 1,10 + 4,96x - 0,0470x^2$	$R^2 = 0,93^{**}$
C3	$Y = 3,23 + 2,93x + 0,0155x^2$	$R^2 = 0,91^{**}$
CB	$Y = 1,01 + 5,14x - 0,0547x^2$	$R^2 = 0,98^{**}$
C1	$Y = 3,70 + 4,36x - 0,0436x^2$	$R^2 = 0,96^{**}$

T0: Testemunha sem K; KCL: Testemunha com KCL (Equivalente a 300 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O); CC: Casca do café cereja; SC: Casca do café natural seco em coco; C3: Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos; CB: Casca de café boia; C1: Casca de café 1 ano compostada; Dose 1, Dose 2, Dose 3 e Dose 4 são respectivamente equivalentes à: 75, 150, 300 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O aplicado. \*\* (p<0,01).



**Tabela 7.** Equações das curvas ajustadas para condutividade elétrica da solução percolada ao longo de 40 semanas de acordo com o tipo de palha e quantidade de K<sub>2</sub>O aplicado (Figura 10)

Tratamentos	Equações	
<b>CC-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,94**	y = 78,89 + 805,50e <sup>-0,0988x</sup>
<b>CC-75</b>	R <sup>2</sup> = 0,93**	y = 103,08 + 778,48e <sup>-0,1066x</sup>
<b>CC-150</b>	R <sup>2</sup> = 0,85**	y = 107,87 + 714,77e <sup>-0,1062x</sup>
<b>CC-300</b>	R <sup>2</sup> = 0,94**	y = 94,78 + 716,08e <sup>-0,0929x</sup>
<b>CC-600</b>	R <sup>2</sup> = 0,88**	y = -19,0765 + 678,50e <sup>-0,0400x</sup>
<b>SC-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,94**	y = 78,89 + 805,50e <sup>-0,0988x</sup>
<b>SC-75</b>	R <sup>2</sup> = 0,93**	y = 107,34 + 712,19e <sup>-0,1254x</sup>
<b>SC-150</b>	R <sup>2</sup> = 0,89**	y = 107,32 + 733,34e <sup>-0,1408x</sup>
<b>SC-300</b>	R <sup>2</sup> = 0,93**	y = 110,81 + 733,35e <sup>-0,1418</sup>
<b>SC-600</b>	R <sup>2</sup> = 0,94**	y = 101,60 + 707,22e <sup>-0,1186</sup>
<b>CB-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,94**	y = 78,89 + 805,50e <sup>-0,0988x</sup>
<b>CB-75</b>	R <sup>2</sup> = 0,90**	y = 110,71 + 763,75e <sup>-0,1231x</sup>
<b>CB-150</b>	R <sup>2</sup> = 0,84**	y = 107,79 + 744,67e <sup>-0,1321x</sup>
<b>CB-300</b>	R <sup>2</sup> = 0,91**	y = 82,12 + 602,76e <sup>-0,1028x</sup>
<b>CB-600</b>	R <sup>2</sup> = 0,97**	y = 60,96 + 715,12e <sup>-0,0893x</sup>
<b>C1-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,94**	y = 78,89 + 805,50e <sup>-0,0988x</sup>
<b>C1-75</b>	R <sup>2</sup> = 0,93**	y = 100,63 + 742,15e <sup>-0,1110x</sup>
<b>C1-150</b>	R <sup>2</sup> = 0,95**	y = 117,78 + 806,22e <sup>-0,1527x</sup>
<b>C1-300</b>	R <sup>2</sup> = 0,96**	y = 122,64 + 780,82e <sup>-0,1566x</sup>
<b>C1-600</b>	R <sup>2</sup> = 0,96**	y = 119,92 + 785,29e <sup>-0,1510x</sup>
<b>C3-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,94**	y = 78,89 + 805,50e <sup>-0,0988x</sup>
<b>C3-75</b>	NA	
<b>C3-150</b>	NA	
<b>C3-300</b>	NA	
<b>C3-600</b>	NA	
<b>KCL</b>	NA	

CC: Casca do café cereja; SC: Casca do café natural seco em coco; C3: Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos; CB: Casca de café boia; C1: Casca de café 1 ano compostada; 0, 75, 150, 300 e 600: Equivalente em K<sub>2</sub>O aplicado (kg ha<sup>-1</sup>) \*\* (p<0,01); NA (Não ajustou-se ao modelo).

**Tabela 8.** Equações das curvas ajustadas para pH da solução percolada ao longo de 40 semanas de acordo com o tipo de resíduo e quantidade de K<sub>2</sub>O aplicado (figura 11).

Tratamentos	Equações	
<b>CC-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,86**	y = 3,39 + 0,32x - 0,0092x <sup>2</sup> + 0,000079x <sup>3</sup>
<b>CC-75</b>	R <sup>2</sup> = 0,84**	y = 3,60 + 0,34x - 0,0121x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>CC-150</b>	R <sup>2</sup> = 0,88**	y = 3,67 + 0,37x - 0,0133x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>CC-300</b>	R <sup>2</sup> = 0,91**	y = 3,43 + 0,39x - 0,0138x <sup>2</sup> + 0,0002x <sup>3</sup>
<b>CC-600</b>	R <sup>2</sup> = 0,87**	y = 3,82 + 0,35x - 0,0130x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>SC-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,86**	y = 3,39 + 0,32x - 0,0092x <sup>2</sup> + 0,000079x <sup>3</sup>
<b>SC-75</b>	R <sup>2</sup> = 0,89**	y = 3,36 + 0,38x - 0,0130x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>SC-150</b>	R <sup>2</sup> = 0,82**	y = 3,86 + 0,35x - 0,0124x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>SC-300</b>	R <sup>2</sup> = 0,90**	y = 3,80 + 0,38x - 0,0141x <sup>2</sup> + 0,0002x <sup>3</sup>
<b>SC-600</b>	R <sup>2</sup> = 0,81**	y = 3,85 + 0,36x - 0,0131x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>CB-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,86**	y = 3,39 + 0,32x - 0,0092x <sup>2</sup> + 0,000079x <sup>3</sup>
<b>CB-75</b>	R <sup>2</sup> = 0,89**	y = 3,49 + 0,37x - 0,0129x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>CB-150</b>	R <sup>2</sup> = 0,84**	y = 4,03 + 0,35x - 0,0128x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>CB-300</b>	R <sup>2</sup> = 0,83**	y = 3,67 + 0,36x - 0,0123x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>CB-600</b>	R <sup>2</sup> = 0,84**	y = 3,87 + 0,32x - 0,0106x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>C1-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,86**	y = 3,39 + 0,32x - 0,0092x <sup>2</sup> + 0,000079x <sup>3</sup>
<b>C1-75</b>	R <sup>2</sup> = 0,77**	y = 4,03 + 0,30x - 0,011x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>C1-150</b>	R <sup>2</sup> = 0,87**	y = 3,64 + 0,38x - 0,014x <sup>2</sup> + 0,0002x <sup>3</sup>
<b>C1-300</b>	R <sup>2</sup> = 0,79**	y = 3,65 + 0,38x - 0,0139x <sup>2</sup> + 0,0002x <sup>3</sup>
<b>C1-600</b>	R <sup>2</sup> = 0,88**	y = 3,97 + 0,34x - 0,0122x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>C3-0</b>	R <sup>2</sup> = 0,86**	y = 3,39 + 0,32x - 0,0092x <sup>2</sup> + 0,000079x <sup>3</sup>
<b>C3-75</b>	R <sup>2</sup> = 0,82**	y = 3,92 + 0,33x - 0,0123x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>C3-150</b>	R <sup>2</sup> = 0,88**	y = 3,50 + 0,33x - 0,0109x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>C3-300</b>	R <sup>2</sup> = 0,79**	y = 3,69 + 0,38x - 0,0139x <sup>2</sup> + 0,0002x <sup>3</sup>
<b>C3-600</b>	R <sup>2</sup> = 0,82**	y = 3,80 + 0,29x - 0,0099x <sup>2</sup> + 0,0001x <sup>3</sup>
<b>KCL</b>	R <sup>2</sup> = 0,88**	y = 3,53 + 0,24x - 0,0048x <sup>2</sup> + 0,000015x <sup>3</sup>

CC: Casca do café cereja; SC: Casca do café natural seco em coco; C3: Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos; CB: Casca de café boia; C1: Casca de café 1 ano compostada; 0, 75, 150, 300 e 600: Equivalente em K<sub>2</sub>O aplicado (kg ha<sup>-1</sup>) \*\* (p<0,01); NA (Não ajustou-se ao modelo).

**Tabela 9.** Equações das curvas ajustadas para potássio liberado pelos resíduos dos litterbags ao longo do tempo, porcentagem em relação ao teor inicial, analisados pelo método da (A) digestão e pelo método de (B) nutrientes solúveis em água (figura 14).

A	CC: $y = 50,59x / (4,58+x)$	$R^2 = 0,77^{**}$
A	SC: $y = 63,55x / (1,84+x)$	$R^2 = 0,84^{**}$
A	C3: $y = 98,28x / (6,28+x)$	$R^2 = 0,85^{**}$
A	CB: $y = 62,44x / (6,46+x)$	$R^2 = 0,89^{**}$
A	C1: $y = 50,32x / (15,19+x)$	$R^2 = 0,75^{**}$
B	CC: $y = 72,78x / (11,18+x)$	$R^2 = 0,83^{**}$
B	SC: $y = 69,58x / (15,62+x)$	$R^2 = 0,80^{**}$
B	C3: $y = 97,85x / (4,13+x)$	$R^2 = 0,94^{**}$
B	CB: $y = 69,37x / (11,00+x)$	$R^2 = 0,86^{**}$
B	C1: $y = 61,24x / (16,17+x)$	$R^2 = 0,88^{**}$

\*\*Significativo ( $p < 0,01$ ). CC: Casca do café cereja; SC: Casca do café natural seco em coco; C3: Casca de café enriquecida e compostada por 3 anos; CB: Casca de café boia; C1: Casca de café 1 ano compostada; 0, 75, 150, 300 e 600: Equivalente em  $K_2O$  aplicado ( $kg\ ha^{-1}$ ).