

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

**LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO DA PALHA DE
CAFÉ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA**

IZAIAS PINHEIRO LISBOA

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

BOTUCATU - SP

Julho de 2013

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

**LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO DA PALHA DE
CAFÉ EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA**

IZAIAS PINHEIRO LISBOA

Orientador: Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem

Co-Orientador: Prof. Dr. Chad J. Penn

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

BOTUCATU - SP

Julho de 2013

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

Lisboa, Izaias Pinheiro, 1980-
L769L Liberação de nitrogênio e potássio da palha de café em
função da adubação nitrogenada / Izaias Pinheiro Lisboa. - Botucatu
: [s.n.], 2013
x, 70 f. : il., color., grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2013

Orientador: Ciro Antonio Rosolem

Coorientador: Chad J. Penn

Inclui bibliografia

1. Café - Palha - Utilização. 2. Nitrogênio. 3. Potás- sio. 4.
Adubação nitrogenada. 5. Resíduos orgânicos como fertilizantes. I.
Rosolem, Ciro Antonio. II. Penn, Chad J. III. Universidade Estadual
Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade
de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: LIBERAÇÃO DE NITROGÊNIO E POTÁSSIO DA PALHA DE CAFÉ EM
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA

ALUNO: IZAIAS PINHEIRO LISBOA

ORIENTADOR: PROF. DR. CIRO ANTONIO RO SOLEM

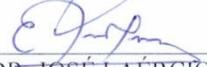
APROVADO PELA COMISSÃO EXAMINADORA:



PROF. DR. CIRO ANTONIO RO SOLEM



PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO



PROF. DR. JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN

Data da Realização: 02 de julho de 2013.

DEDICO

Aos meus pais, Antonio Lisboa Sobrinho e

Terezinha Maria Lisboa, exemplos de vida e determinação, minha eterna gratidão.

Aos meus tios, Antonio Borges Leal e Dalcy Conceição Leal, pelos esforços e contribuição na minha formação pessoal e profissional, meus sinceros agradecimentos.

Aos meus irmãos, Daniel, Eliseu, Evangelio, Isaac, Vandilson e Bento, pelo companheirismo e parceria, muito obrigado.

OFEREÇO

A Deus, por todas as graças alcançadas.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e ser a luz no meu caminho.

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

Ao Prof. Dr. Ciro Antonio Rosolem pela sua confiança em mim e ensinamentos durante a iniciação científica e o mestrado.

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

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado no início do curso.

Ao Prof. Dr. Chad J. Penn, pela oportunidade de estágio na graduação e coorientação no mestrado.

Por todos os professores que contribuíram para minha formação.

Ao Prof. Dr. Fernando Broetto, por ter concedido o laboratório para determinação da atividade enzimática.

Às amigas e estagiárias Taciane de Melo Gonçalves (Ozéas) e Amanda de Barros (Xicória) pela dedicação no desenvolvimento dos trabalhos e pelo companheirismo.

Ao Alex Ferreira (Koleta), pela ajuda nas análises enzimáticas.

Ao amigos Dácio Olibone e Ana Paula Olibone pela coorientação na iniciação científica, incentivo e parcerias.

Aos docentes e funcionários do Departamento de Produção Vegetal.

Aos funcionários da biblioteca.

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

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
1. RESUMO	1
2. SUMMARY	3
3. INTRODUÇÃO	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1 Atividade enzimática e mineralização de nitrogênio.....	10
4.2 Liberação de potássio de resíduos vegetais	12
4.3 Potássio no solo e lixiviação deste elemento.....	12
5. MATERIAL E MÉTODOS	14
5.1 Análise no solo	15
5.2 Análise na palha.....	17
5.3 Análise na solução lixiviada	18
5.4 Análise estatística	18
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
6.1 Decomposição da palha	19
6.2 Concentrações e quantidades de C e N na palha	22
6.3 pH do solo.....	25
6.4 Teores de nitrogênio inorgânico	30
6.5 Teor de N total no solo	35
6.6 Atividade enzimática	43
6.6.1 Atividade da enzima amidase	43
6.6.2 Atividade da enzima L-Asparaginase	45
6.7 Liberação de K da palha	46
6.7.1 Tempo para liberação de 50% do potássio	48
6.8 Potássio no solo	50
6.9 Quantidade de potássio na solução	53
7. CONCLUSÕES	56
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
9. APENDECE I	66

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1. Massa de matéria seca de palha de café remanescente (A); porcentagem da massa de matéria seca da palha decomposta até 150 dias (B) e taxa de decomposição da palha (C)	20
Figura 2. Concentrações de N (A) e C (B) e quantidades de N (C) e (D) na palha remanescente	22
Figura 3. Relação C: N da palha remanescente.....	24
Figura 4. pH do solo nas profundidades de 0 - 5 (A); 5 - 10 (B); 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D), aos 50 dias	26
Figura 5. pH do solo nas profundidades de 0 - 5 (A); 5 - 10 (B); 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D), aos 100 dias.....	27
Figura 6. pH do solo nas profundidades de 0 - 5 (A); 5 - 10 (B); 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D), aos 150 dias.....	28
Figura 7. Teores de nitrogênio inorgânico em todas as profundidades aos 50 dias, teores de NH_4^+ (A e C) e NO_3^- (B e D).....	30
Figura 8. Teores de nitrogênio inorgânico em todas as profundidades aos 100 dias, teores de NH_4^+ (A e C) e NO_3^- (B e D).....	32
Figura 9. Teores de nitrogênio inorgânico em todas as profundidades aos 150 dias, teores de NH_4^+ (A e C) e NO_3^- (B e D).....	34
Figura 10. Teores de N total, aos 50 dias, nas profundidades de 0 - 5 (A), 5 - 10 (B), 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D); teor de N total por tratamento (E).....	36
Figura 11. Teores de N total, aos 100 dias, nas profundidades de 0 - 5 (A), 5 - 10 (B), 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D); teor de N total por tratamento (E).....	38
Figura 12. Teores de N total, aos 150 dias, nas profundidades de 0 - 5 (A), 5 - 10 (B), 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D); teor de N total por tratamento (E).....	40
Figura 13. Atividade da enzima amidase aos 50 (A), 100 (B) e 150 (C) dias após o início do experimento..	43
Figura 14. Atividade da enzima L-Asparaginase aos 50 (A) e 150 (B) dias após o início do experimento..	45
Figura 15. Teor de K na palha remanescente (A); porcentagem de liberação em relação ao teor inicial (B) e simulação da quantidade de K liberada de 10 t de palha (C).	47

Figura 16. Tempo para liberação de 50% do potássio presente na palha.....	48
Figura 17. Teores de K no solo, aos 50 dias, nas diferentes profundidades no manejo com (A) e sem (B) aplicação de palha.....	50
Figura 18. Teores de K no solo, aos 100 dias, nas diferentes profundidades no manejo com (A) e sem (B) aplicação de palha.....	51
Figura 19. Teores de K no solo, aos 150 dias, nas diferentes profundidades no manejo com (A) e sem (B) aplicação de palha.....	52
Figura 20. Teores de K acumulado na solução lixiviada ao longo de 20 semanas; manejo com (A) e sem (B) aplicação de palha.....	53

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Caracterização da palha de café aplicada no manejo com palha.	17
Tabela 2. Equações das curvas ajustadas para a decomposição da palha de café nos três períodos de amostragem e porcentagem da massa de matéria seca da palha decomposta (Figura 1A e B).....	66
Tabela 3. Equações ajustadas para as concentrações de N na palha de café remanescente (figura 2A).	67
Tabela 4. Equações ajustadas para a quantidade de N e C na palha de café remanescente (figura 2C e D).....	67
Tabela 5. Equações ajustadas para os teores de N inorgânico no solo no manejo com aplicação de palha, aos 50 dias (figura 7A e B).	68
Tabela 6. Equações ajustadas para os teores de N inorgânico no solo no manejo sem aplicação de palha, aos 50 dias (figura 7C e D).	68
Tabela 7. Equações ajustadas para os teores de K no solo nos manejos sem e com aplicação de 10 t de palha, aos 50 dias (figura 17).....	69
Tabela 8. Equações ajustadas para os teores de K no solo nos manejos sem e com aplicação de 10 t de palha, aos 100 dias (figura 18).....	69
Tabela 9. Equações ajustadas para os teores de K no solo nos manejos sem e com aplicação de 10 t de palha, aos 150 dias (figura 19).....	70
Tabela 10. Equações ajustadas para as quantidades de K na solução lixiviada (figura 20).	70

1. RESUMO

Há evidências de que a mineralização da palha de café utilizada como adubo orgânico é mais lenta do que seria desejável, dessa forma, no presente trabalho objetivou-se estimar a mineralização de N e K da palha de café e seu retorno ao solo, em função do tratamento com doses de nitrato de amônio. 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. No experimento foi utilizada palha de café proveniente do processamento do café seco em coco; o experimento foi conduzido por um período de 5 meses e aos 50, 100 e 150 dias (término do ensaio) foram retiradas quatro repetições de cada tratamento para avaliações. Foi estimada a mineralização de nitrogênio aplicando-se o equivalente a 0, 80, 160, 240 e 320 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio, na presença e ausência de 10 t ha⁻¹ de palha de café (resíduo do beneficiamento de café em coco). A palha foi depositada na superfície do solo em colunas; o fertilizante foi aplicado sobre a palha. Foram realizadas regas semanais, simulando a pluviosidade de

1285 mm, a qual corresponde à média de dez anos das precipitações observadas nos meses de outubro a fevereiro (meses com maior intensidade chuvosa) da região de Franca, Nordeste de SP. A precipitação total foi dividida pelos 5 meses, obtendo-se a precipitação mensal de 257 mm. Esse valor da precipitação mensal foi dividido em 4 aplicações, obtendo assim uma aplicação semanal de 64,25 mm de chuva. A água percolada foi coletada semanalmente para determinação da quantidade de K. Aos 50, 100 e 150 dias após o início do ensaio foram coletadas amostras de solo nas colunas retiradas e analisados os teores de K, N inorgânico, N total e pH nas profundidades 0 - 5, 5 - 10, 10 - 20 e 20 - 40 cm nas colunas. No solo da profundidade 0 - 5 cm das colunas retiradas também foi determinada a atividade das enzimas L-Asparaginase e Amidase. A avaliação da atividade das enzimas foi utilizada como um parâmetro para se estimar a mineralização de N. Na palha remanescente nas colunas amostradas também foram determinados os teores e as quantidades de C, N e K. A aplicação de nitrogênio acelera a liberação de potássio da palha de café. A lixiviação do potássio, nas camadas superficiais do solo, é proporcional à dose de fertilizante nitrogenado aplicada. Há redução da atividade das enzimas Amidase e L-Asparaginase no solo de acordo com o aumento das doses de nitrato de amônio, com ou sem palha. Porém, a mineralização de nitrogênio da palha não é afetada pela redução da atividade enzimática; além de ser pouco dependente da dose aplicada. Em relação a acidificação do solo em função da aplicação de doses de nitrato de amônio, a aplicação combinada do fertilizante nitrogenado mais 10 toneladas de palha ameniza o efeito acidificante do fertilizante.

Palavras-chave: palha de café, nitrogênio e potássio, mineralização de nitrogênio, resíduos orgânicos.

2. SUMMARY

There is evidence that the mineralization of coffee husk used as organic fertilizer is slower than desired, thus, the present study aims to estimate N and K mineralization from coffee husks and its turn over to the soil as affected by different levels of ammonium nitrate application. 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 an sandy loam Oxisol was used on the experiment. It was used coffee husks from dry process; the experiment was carried out by a period of 5 months and at 50th, 100th and 150th day (the trial ending) were taken off 4 repetitions of each treatment to be assayed. It was estimated N mineralization by applying of the equivalent to 0, 80, 160, 240 and 320 kg of N ha⁻¹ as ammonium nitrate formulation, in the presence and absence of 10 t ha⁻¹ of coffee husks. The residues were placed in the soil surface in the columns and N was applied over the residues. Water was added weekly, simulating the total rainfall of 1285 mm, which corresponds to the ten-year average from October to February (rainy months of

highest intensity) in a major coffee producing region of the state of São Paulo. The total rainfall was divided by 5 months and thus it had the monthly rainfall of 257 mm. This amount of rainfall was divided by 4 applications and this way it was got the weekly rainfall of 64,25 mm. The leached solution was collected weekly and analyzed the amount of K. At 50, 100 and 150 day after the experiment starting it were collected soil samples in the columns taken off and analyzed for N (total, NO_3^- and NH_4^+) and K contents on depths 0 - 5; 5 - 10; 10 - 20 and 20 - 40 cm on the columns; pH was also analyzed at the same depths. On the soil from 0 - 5 cm depth was determined the activity of the enzymes L-Asparaginase and Amidase. The activity of these enzymes was used as a tool to estimate N mineralization. The coffee husk remaining on each columns taken off was also analyzed the levels and amounts of C, N and K. The application of nitrogen speeds up the K releasing process from coffee husks. On the upper layers, the K leaching increases as the N levels application also increase. There is a reduction of L-Asparaginase and Amidase activity on soil according to increase on applying of N levels as ammonium nitrate formulation, with or without coffee husks. However, N mineralization from coffee husk is not affected by enzymatic activity reduction and poorly depends on N levels applied. Regarding to soil acidification as affected by ammonium nitrate application, the combined application of this fertilizer plus 10 t of coffee husk reduces the acidification effect of the fertilizer.

Keywords: coffee husk, nitrogen and potassium, nitrogen mineralization, organic residues.

3. INTRODUÇÃO

O beneficiamento do café (*Coffea spp.*) gera resíduo sólido (casca ou polpa, dependendo do processo), à razão de cerca de 50% (em peso) da quantidade de café colhida (GARCIA et al., 2004). De acordo com Castro (1960), 45 kg de polpa seca de café são equivalentes a 4,5 kg do fertilizante inorgânico formulado N-P₂O₅-K₂O 14-3-37, de modo que a palha proveniente do beneficiamento pode constituir uma fonte importante de nutrientes. Além disso, há um crescente interesse em usar resíduos para melhorar a produtividade do solo nos sistemas agrícolas. Entretanto, mesmo sendo um adubo orgânico, uma grande parcela da casca de café produzida vem sendo desprezada por agricultores (VANDERBERGHE et al., 1999; BADOCHA et al., 2003).

Diversos fatores são relacionados com a decomposição de resíduos vegetais adicionados ao solo, tais como: a atuação de macro e microrganismos decompositores, as características do material orgânico que determinam sua degradabilidade e as condições edafoclimáticas da região (CORREIA & ANDRADE,

1999). Sob as mesmas condições de clima e solo, a velocidade de decomposição dos resíduos orgânicos e a liberação de nitrogênio são influenciadas, principalmente, por características químicas, como teores de N (CONSTANTINIDES & FOWNES, 1994), lignina (MATTA-MACHADO et al., 1994; MCDONAGH et al., 1995), polifenóis (PALM & SANCHEZ, 1991) e relação C/N (JAMA & NAIR, 1996). A decomposição dos resíduos adicionados ao solo é mediada pelos microrganismos através de enzimas que catalisam inúmeras reações necessárias para sua própria sobrevivência, decomposição de resíduos orgânicos, ciclagem de nutrientes, formação de matéria orgânica e estrutura do solo (DICK, 1996). De acordo com Sedyama et al. (2000) a palha de café apresenta relação C/N 36. Em resíduos orgânicos que apresentam relação C/N acima 35 predomina a imobilização dos nutrientes no início do processo de decomposição e, portanto, ocorre a decomposição lenta do material orgânico. Como consequência, ocorre atraso na ciclagem de nutrientes (LAMBAIS, 1992). Entretanto, a aplicação conjugada de resíduos de cultura e fertilizantes nitrogenados inorgânicos pode apressar a ciclagem de nutrientes pela diminuição da imobilização temporária do N (KIRCHMANN & THORVALDSSON, 2000; VANLAUWE et al., 2001). De fato, Palm et al. (1997) demonstraram que a aplicação combinada de resíduos orgânicos e fertilizantes minerais melhorou a sincronia entre a liberação de nutrientes e a absorção pelas plantas.

No presente trabalho se propõe estimar a mineralização de N e K da palha de café e seu retorno ao solo, em função do tratamento com doses de nitrato de amônio, procurando determinar a atividade das enzimas amidohidrolases (L-Asparaginase e Amidase) no processo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O N está presente nos solos principalmente na forma orgânica. De acordo com Malavolta (2004) cerca de 98% do N no solo esta na forma orgânica e somente 2% em forma mineral. O N orgânico consiste de uma variedade de compostos, incluindo aminoácidos associados com proteínas, peptídeos e açucars de amido, os quais estão associados com quitina nos solos (STEVENSON, 1994). A matéria orgânica do solo, especialmente substâncias húmicas, agem como um reservatório e fornecedor de N para as plantas e microrganismos do solo.

A incorporação de resíduos de cultura nos sistemas agrícolas é um importante fator no controle da fertilidade do solo e ciclagem de nutrientes e pode contribuir significativamente na disponibilidade de N para a cultura principal (JENSEN 1994a; NICOLARDOT et al., 1995).

A polpa de café representa o mais abundante resíduo orgânico produzido durante a operação de despulpamento do café cereja (AGUIRRE, 1976; BRESSANI, 1979). No Brasil, assim como em outras regiões produtoras de café, a polpa de café é pouco utilizada e, portanto, é considerado o mais abundante material poluente de

lagos e rios localizados próximos aos locais de processamento do café cereja (EDWARDS, 1979). A polpa do café é geralmente descartada sem qualquer tratamento e degrada-se naturalmente em pilhas. Como consequência ocorre a liberação descontrolada de odores nocivos e lixiviação de nutrientes (SÁNCHEZ et al., 1999). A estabilização deste composto orgânico pode durar de 6 a 8 meses. Eficientes tecnologias para as transformações da polpa de café em produto útil são requeridas para controlar o impacto negativo e contínuo no ambiente, causado por este resíduo sólido.

A aplicação de resíduos orgânicos nos solos como um método de amenizar seu impacto ambiental e melhorar a ciclagem de nutrientes tem recebido crescente atenção por causa do baixo custo e problemas ambientais associados a outros métodos de eliminação desses resíduos (CAMERON et al., 1997). Na cultura do café, a adição de cobertura morta, constituída de resíduos vegetais, polpa de café ou restos de poda da cultura; associada com árvores produtoras de sobra ou com culturas intercalares é recomendada por muitos autores (CARVAJAL, 1984; WRIGLEY, 1988). Além disso, a fermentação de palhas de café, principalmente para sua utilização como cobertura morta, é sugerida para eliminar a propagação de pragas e doenças. Essa prática pode manter o teor de matéria orgânica do solo adequado e melhorar a ciclagem de nutrientes (SNOECK & VAAST, 2004).

A quantidade de resíduo gerado no processo de beneficiamento 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 resíduo gerado pelo seu beneficiamento (BRUM, 2007). 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 (MATIELO, 1991).

A adubação é um dos tratos cultural mais importante no aumento e na manutenção da produtividade do cafeeiro, o qual é muito dependente da disponibilidade do N no solo. Em sistemas intensivos de produção, o N é fornecido pela frequente e intensiva utilização de insumos nitrogenados ($100-500 \text{ kg ha}^{-1}$ de N) para compensar a exportação pelas colheitas ($50-70 \text{ kg N/ tonelada de grãos seco de café}$) e para assegurar o crescimento vegetativo das plantas. Ao contrário, em sistemas extensivos de produção de café, a aplicação de insumos nitrogenados é baixa ou inexistente. Consequentemente, a disponibilidade de nitrogênio para plantas de café é baixa devido à MO empobrecida do

solo, o que gera plantas mal desenvolvidas propiciando baixas produções (WRIGLEY, 1988).

Nas plantas de café o N é um constituinte de moléculas de proteínas, enzimas, co-enzimas, ácidos nucléicos e citocromos, bem como parte da molécula de clorofila. Por causa da alta translocação de N para os frutos, grandes quantidades do elemento são exportadas dos campos cultivados a cada colheita (CATANI & MORAES, 1958; MALAVOLTA, 1993). Embora a falta de qualquer nutriente afete o desenvolvimento normal de qualquer cultura, a falta de N é a mais restritiva para o crescimento e produção do cafeeiro (RENA & MAESTRI, 1987). Falha na adubação nitrogenada é caracterizada pelo tempo inadequado de aplicação, além disso, o fertilizante em questão pode ser aplicado em taxas muito baixas ou muito altas, contribuindo para elevadas perdas de N do sistema devido à baixa absorção pelas plantas no momento da aplicação (PRADO & NASCIMENTO, 2003).

Quando houver na propriedade disponibilidade de material orgânico, como palha de café, pode-se utilizá-la na substituição parcial da adubação mineral, com efeito benéfico na estruturação e microbiota do solo, resultando em aumento de 20 a 75% na produção (GARCIA et al., 1983; FALCO et al., 1999 e COLOZZI FILHO et al. 2000). 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.

Quando a casca é retornada para o campo contribui para a elevação da matéria orgânica do solo e reposição do N removido através da colheita. De acordo com Kupper (1976) o cafeeiro necessita de pelo menos 30 kg ha^{-1} de N para o crescimento vegetativo. Considerando a exportação do N através da colheita, foi observado que até $90 \text{ kg de N ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ são exportados em uma colheita de 1800 kg de grãos beneficiados, e mesmo produções moderadas, de $300 \text{ kg de café ano}^{-1}$ podem exportar 15 kg de N (CARVAJAL, 1959; COOIL & FUKUNAGA, 1959).

A ciclagem de nutrientes nos solos envolve reações bioquímica, química e físico-química, sendo os processos bioquímicos mediados pelos microorganismos, raízes das plantas e animais do solo. É bem conhecido que todas as reações bioquímicas são catalisadas pelas enzimas, as quais são proteínas com

propriedades catalíticas, devido à sua energia de ativação específica. Enzimas são catalisadores, isto é, são substâncias que, sem sofrer alterações permanentes ativam reações químicas para proceder a taxas mais rápidas. Além disso, as enzimas são específicas para o tipo de reações químicas na qual elas participam (TABATABAI, 1994).

A atividade enzimática nos solos resulta da atividade de enzimas acumuladas e da atividade enzimática da proliferação de microorganismos (KISS et al., 1975). Nos solos, as fontes de enzimas são, principalmente, células microbianas (LADD, 1978), mas elas também podem ser oriundas de resíduos de plantas e animais (BAHL & AGRAWAL, 1972; TABATABAI, 1994). Enzimas acumuladas nos solos são livres, tais como as exoenzimas liberadas das células vivas, as endoenzimas liberadas de células desintegradas e enzimas ligadas aos constituintes celulares (KISS et al., 1975). Numerosos estudos têm sido publicados sobre o uso potencial da atividade enzimática como um indicador de produtividade dos solos ou atividade microbiana (WEAVER et al., 1994; ALEF et al., 1995; DICK et al., 1996).

4.1 Atividade enzimática e mineralização de nitrogênio

O N, apesar de geralmente ser o nutriente requerido em maior quantidade pelas culturas, está disponível na forma mineral em pequenas quantidades no solo. A forma orgânica pode ser responsável por mais de 95% do N total de muitos solos. Estima-se que aproximadamente metade deste N orgânico ainda não foi identificada. Bremner (1951) estimou que aproximadamente 20-40% do N total nos solos está na forma de aminoácidos, mas só uma pequena porção está no estado “livre”, a maior parte está ligada com a matéria orgânica do solo.

A porção de aminoácidos “livres” no solo é uma fonte disponível de energia para os microrganismos do solo (IVARSON & SOWDEN, 1966), assim como uma fonte de N para o crescimento das plantas (BROADBENT, 1984). Os aminoácidos ligados com a matéria orgânica do solo estão, mais provavelmente, na forma de proteínas ou associados com argilas e complexos da matéria orgânica como peptídeos, amido ou arilamidase. Estes aminoácidos são liberados da matéria orgânica do solo pela atividade enzimática, tais como das arilamidases e, posteriormente, aminoácidos “livres” são

hidrolisados por enzimas específicas, produzindo NH_4^+ , o qual, por sua vez, é nitrificado para absorção das plantas no processo de mineralização.

As amidohidrolases (L-asparaginase, L-glutaminase e amidases) são importantes enzimas que agem nos aminoácidos livres do solo. As amidohidrolases são bem específicas e agem nas ligações C-N, nas ligações peptídicas nos amidos lineares, liberando NH_4^+ . Vários pesquisadores relataram sobre a atividade das amidohidrolases e os fatores que afetam suas atividades (FRANKENBERGER & TABATABAI, 1991a, b; TABATABAI, 1994; SENWO & TABATABAI, 1996, 1999).

A L-asparaginase (L-asparagina amidohidrolase EC 3.5.1.1) desempenha um importante papel na mineralização do N dos solos. A natureza química do N nos solos é tal que uma grande porção (15-25%) do N total é frequentemente liberado como NH_4^+ através da hidrólise ácida (6 N de HCl). Algumas evidências sugerem que uma porção do NH_4^+ é oriundo da hidrólise de resíduos de amida (glutamina e asparagina) da matéria orgânica do solo (SOWDEN, 1958).

A atividade da L-Asparaginase foi primeiro detectada nos solos por Drobnořk (1956). Esta enzima cataliza a hidrólise do aminoácido L-asparagina produzindo L-ácido aspártico e NH_3 . Esta enzima é amplamente distribuída na natureza e foi detectada em plantas e animais (WRISTON, 1971).

A enzima amidase (acilamida amidohidrolase, EC 3.5.1.4) é a enzima que catalisa a hidrólise de amidos liberando NH_3 e ácido carboxílico. Amidase age na ligação C-N (ligações peptídicas) em amidos lineares e é específica para alifáticos e aril amidos; a amidase não pode atuar como substrato (KELLY & CLARKE, 1962; FLORKIN & STOTZ, 1964). Esta enzima é amplamente distribuída na natureza. Foi detectada em animais e microrganismos (BRAY et al., 1949; CLARKE, 1970). Esta presente em folhas de milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), alfafa (*Medicago sativa*) e soja (*Glycine max* L.) (FRANKENBERGER & TABATABAI, 1985). Microrganismos apresentaram atividade enzimática da amidase incluindo bactérias (CLARKE, 1970; FRANKENBERGER & TABATABAI, 1985), leveduras (JOSHI & HANDLER, 1962) e fungos (HYNES, 1970, 1975). Os substratos desta enzima são fontes de N para as plantas (CANTARELLA & TABATABAI, 1983).

4.2 Liberação de potássio de resíduos vegetais

O K é requerido em grandes quantidades pelas culturas, igualando-se às quantidades de N, e chegando a ser três ou quatro vezes mais acumulado nos resíduos do que o P (BRADY, 1989). As necessidades de K para o ótimo crescimento das plantas situam-se na faixa de 20 – 50 g kg⁻¹ da massa das partes vegetativas secas da planta, dos frutos e dos tubérculos, entretanto as plantas têm a capacidade de absorver quantidade de K superior à sua necessidade, o que comumente é denominado consumo de luxo de K (MEURER, 2006).

O potássio tem alta mobilidade na planta em qualquer concentração, seja dentro da célula, seja no tecido vegetal, no xilema ou no floema. O K não é metabolizado na planta e forma ligações com moléculas orgânicas de fácil reversibilidade. Além disso, é o íon mais abundante nas células vegetais (MARSCHNER, 1995). O fato do K não fazer parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, sendo encontrado como cátion livre ou adsorvido, o torna relativamente fácil de ser extraído do tecido vegetal (RODRIGUES & PEREIRA, 2008).

Moraes & Arens (1969) constataram que o potássio sofreu lixiviação considerável das folhas de plantas cultivadas, quando estas foram imersas em água destilada, mostrando que este fenômeno pode ocorrer em condições de campo graças à ação da água do orvalho ou das chuvas.

Rosolem et al. (2003) submeteram resíduos vegetais de seis espécies de planta de cobertura a diferentes quantidades de chuva aplicada e observaram que a taxa máxima de liberação de K depende muito da espécie, variando de 200 a 650 g ha⁻¹ mm⁻¹, com chuvas entre 10 e 20 mm. Além disso, Silva & Ritchey (1982) e Klepker & Anghinoni (1995), constataram aumento nos teores de K do solo, próximo à base dos caules do milho, em razão da lavagem do nutriente da parte aérea das plantas senescentes, no final do ciclo da cultura.

4.3 Potássio no solo e lixiviação deste elemento

O K do solo é formado pelo K da solução, o K trocável, o K não trocável (fixado) e o K estrutural, e o suprimento de K para as plantas advém da

solução e dos sítios de troca dos colóides do solo, que estão em equilíbrio com o K não trocável e com o K estrutural dos minerais (SPARKS & HUANG, 1985).

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). Esses aspectos contribuem na movimentação e dinâmica do K no perfil do solo.

A lixiviação consiste no movimento vertical de íons no perfil do solo para profundidades abaixo daquelas explorada pelas raízes. Ela preocupa tanto do ponto de vista ambiental, porque o K é o segundo nutriente mais absorvido pela maioria das espécies vegetais. A lixiviação de K depende de sua presença em concentrações significativas na solução do solo, razão por que aumenta com a adição de fertilizantes potássicos e da quantidade de água que percola no perfil do solo (ERNANI et al., 2007). Em solução, a mobilidade vertical do potássio no solo depende de fatores físicos e químicos, os quais estão relacionados à capacidade do solo de interagir com os nutrientes da água percolada (BENITES et al., 2010). Entre esses fatores estão: a condutividade hídrica dos solos e a distribuição relativa do tamanho de poros (DIEROF et al., 1997); o pH (ERNANI; SANGOI; RAMPAZZO, 2002), que por sua vez está associada à capacidade de troca catiônica (SANZONOWICZ; MIELNICZUK, 1985); e a concentração e espécies aniônicas acompanhantes, que estão relacionados à força iônica e à formação de pares iônicos (FIGUEIREDO, 2006).

5. MATERIAL E METÓDOS

O experimento foi realizado em colunas com solo, em casa de vegetação, na Faculdade de Ciências Agrônômicas Botucatu (SP).

No experimento foi utilizada palha de café proveniente do beneficiamento do café seco em coco. Foi estimada a mineralização de N aplicando-se o equivalente a 0, 80, 160, 240 e 320 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio, na presença e ausência de 10 t ha⁻¹ de palha de café (resíduo do beneficiamento de café em coco). A palha foi depositada na superfície do solo em colunas; o fertilizante foi aplicado sobre a palha. A quantidade de palha aplicada foi calculada em função do teor total de K na mesma, o suficiente para fornecer 300 kg de K₂O ha⁻¹. Considerou-se o diâmetro da coluna para cálculo da quantidade de palha aplicada por coluna.

Cada unidade experimental foi construída utilizando-se tubos de PVC de 10 cm de diâmetro e 40 cm de comprimento, seccionados a cada 5 cm. Os anéis foram sobrepostos, unidos uns aos outros por fita plástica adesiva, com uma dobra interna de fita em cada anel, para evitar a drenagem preferencial junto às paredes internas dos tubos de PVC. No fundo das colunas foram fixadas telas de nylon com malha 1,0 mm 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. Foram realizadas regas semanais, simulando a pluviosidade média de 1285 mm

(COCAPEC, 2011), a qual corresponde à média de dez anos das precipitações observadas nos meses de outubro a fevereiro (meses com maior intensidade chuvosa) da região de Franca, Nordeste de SP, e uma das principais regiões produtoras de café do estado. A precipitação total foi dividida pelos 5 meses, obtendo-se a precipitação mensal de 257 mm. Esse valor da precipitação mensal foi dividido em 4 aplicações que correspondem a uma aplicação semanal de 64,25 mm de chuva. Com a finalidade de simular a precipitação semanal, foram realizadas duas regas semanais nas colunas. Em cada rega aplicou-se 0,25 L de água deionizada. Após 48 horas da última rega semanal, as soluções percoladas dos dois eventos semanais foram coletadas e analisadas.

O solo utilizado no experimento foi proveniente da camada superficial (0-20 cm) de um Nitossolo Vermelho distroférrico de textura argilosa.

O experimento foi conduzido por um período de 5 meses e aos 50, 100 e 150 dias (término do ensaio) foram amostradas quatro repetições de cada tratamento.

5.1 Análise no solo

O solo coletado para o experimento foi analisado e a saturação por bases foi corrigida visando atingir saturação por bases 80%. Foram aplicadas 3,83 t ha⁻¹ de calcário dolomítico PRNT 92%. O solo foi colocado em betoneira e misturado por 3 minutos. Na sequência 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 o solo apresentou as seguintes características: pH (CaCl₂) = 5,8; M.O = 23,8 g kg⁻¹; Presina = 18,4 mg dm⁻³; H+Al = 36,9 mmol_c dm⁻³; K = 0,25 mmol_c dm⁻³; Ca = 22,0 mmol_c dm⁻³; Mg = 19,7 mmol_c dm⁻³; SB = 47,7 mmol_c dm⁻³; CTC = 84,6 mmol_c dm⁻³; V% = 56,0. As determinações de pH (CaCl₂); M.O; Presina; H+Al; Ca; K e Mg foram determinadas de acordo com Raij et al. (2001).

Aos 50, 100 e 150 dias após o início do experimento, retirou-se 4 repetições de cada tratamento para que fossem realizadas as análises dos teores de N total, N inorgânico e potássio no solo nas profundidades 0 - 5, 5 - 10, 10- 20 e 20 a 40 cm. Nestas mesmas profundidades também foi determinado o pH. As determinações dos teores de N inorgânico foram realizadas de acordo com Bremner & Keeney (1965); o N total foi

analisado por combustão a seco pelo equipamento LECO (Analisador LECO CHN 2000, LECO Corporation, St. Joseph, Michigan).

Nas mesmas colunas retiradas para determinação dos teores de K, N total e N inorgânico foram coletadas amostras de solo na profundidade 0 - 5 cm para avaliação da atividade das enzimas amidase e L-Asparaginase. Escolheu-se a profundidade 0 - 5 cm para tais análises pelo fato da decomposição da palha ocorrer nessa profundidade.

A determinação da atividade da enzima amidohidrolase (L-asparaginase) foi avaliada pelo método de Tabatabai (1994), baseada na avaliação do NH_4^+ liberado quando o substrato foi incubado com tampão tris (hidroximetil)aminometano, L-asparaginase e tolueno a 37 °C por 2 hs. Após esse período, adicionou-se 35 ml da solução 2 M de KCl contendo 0,32 mM de Ag_2SO_4 , os procedimentos seguidos para preparo das soluções, assim como o pH ideal e concentração adequada do substrato, estão descritos em Kandeler et al. (2012).

Após a agitação (por alguns segundos) do solo incubado com as soluções de KCl contendo 0,32 mM de Ag_2SO_4 NH_4^+ , coletou-se uma alíquota de 20 ml da suspensão para que fosse determinado o NH_4^+ . Na sequência, a alíquota da suspensão do solo foi destilada para determinação do NH_4^+ liberado. As destilações foram realizadas de acordo com Bremner & Keeney (1965).

Semelhante a determinação do NH_4^+ liberado pela atividade da enzima L-asparaginase, a determinação da atividade da enzima amidohidrolase (amidase) foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Frankenberger & Tabatabai (1980a, b; 1981a, b). Consiste na determinação do NH_4^+ liberado pela enzima quando o solo é incubado a 37 °C no período de 2 hs com tampão tris (hidroximetil)aminometano, tolueno e formamida. Após esse período, adicionou-se 35 ml da solução 2 M de KCl contendo 0,32 mM de Ag_2SO_4 , os procedimentos seguidos para preparo das soluções, assim como o pH ideal e concentração adequada do substrato estão descritos em Kandeler et al. (2012).

Após a agitação (por alguns segundos) do solo incubado com as soluções de KCl contendo 0,32 mM de Ag_2SO_4 NH_4^+ , coletou-se uma alíquota de 20 ml da suspensão para que fosse determinado o NH_4^+ . Na sequência, a alíquota da suspensão do solo foi destilada para determinação do NH_4^+ liberado. As destilações foram realizadas de acordo com Bremner & Keeney (1965).

5.2 Análise na palha

Para determinação do teores de N e K na palha, cinco amostras foram secas em estufa de circulação forçada até atingir massa constante. Assim, determinou-se o teor de umidade da palha. Posteriormente, essas amostras foram moídas em moinho Willey com peneira de 20 mesh, digeridas em ácido e analisadas de acordo com Malavolta et al. (1997). Antes da aplicação da palha nas colunas, a mesma foi seca ao ar e no momento da aplicação o teor de umidade era de $\pm 2\%$.

A palha remanescente de cada período de amostragem foi cuidadosamente removida da superfície do solo e após secar em estufa a 60 °C por 48 horas, peneirou-se a mistura. Após a separação da palha do solo, este foi retornado para a coluna em que se retirou a mistura. A palha remanescente foi deixada em estufa por 48 horas a 60 °C e posteriormente foi determinada a (MMS) da palha.

Antes da aplicação da palha no experimento foi realizada uma caracterização da mesma (**Tabela 1**). Foram determinados os teores de N, P, K, S, Ca, Mg e C total na matéria seca. Na palha remanescente das colunas determinou-se os teores de N e C.

Tabela 1. Caracterização da palha de café aplicada no manejo com palha.

N	P	K	Ca	Mg	C	S
-----g kg ⁻¹ -----						
13,23	0,78	24,79	3,09	0,77	412,5	2,12
Relação C:N	Celulose	Lignina	Fenol	pH	C.E	°Brix
-----g kg ⁻¹ -----						μS cm ⁻²
31,18	25,64	15,41	16,90	5,62	1,953.0	28,80

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⁻¹. A curva de calibração e as amostras foram lidas em espectrofotômetro.

Para determinação do pH e condutividade elétrica da palha, pesou-se 0,5 g da mesma e adicionou-se 20 mL de água deionizada. Na sequência a mistura foi

agitada por 1 minuto e deixada em repouso 15 minutos, o mesmo procedimento de agitação e repouso foi repetido, na sequência foram determinados os valores de pH e CE diretamente na solução.

A determinação do teor de fenol total foi feita de acordo com Singleton e Rossi (1965). As análises de pH, condutividade elétrica, celulose, hemicelulose e lignina foram realizadas de acordo com a metodologia descrita por Van Soest e Wine (1967).

Os teores de P, K, S, Ca e Mg foram determinados pela metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). Os elementos C e N foram analisados por combustão a seco pelo equipamento LECO (Analisador LECO CHN 2000, LECO Corporation, St. Joseph, Michigan).

5.3 Análise na solução lixiviada

Os teores de K na solução lixiviada semanalmente foram analisados diretamente na mesma.

5.4 Análise estatística

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 (doses de N) x 2 (sistemas de manejo: com e sem aplicação de palha) x (cada época de avaliação), com quatro repetições. Ao final das análises foram realizadas análises de regressão e ajuste de equações significativas até 5% de probabilidade pelo teste F.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Decomposição da palha

Aos 50 dias após o início do experimento (primeira época de amostragem), observou-se que mais de 46% da massa de matéria seca da palha já havia sido decomposta na maioria dos tratamentos, inclusive no tratamento sem aplicação de nitrogênio (**figura 1**).

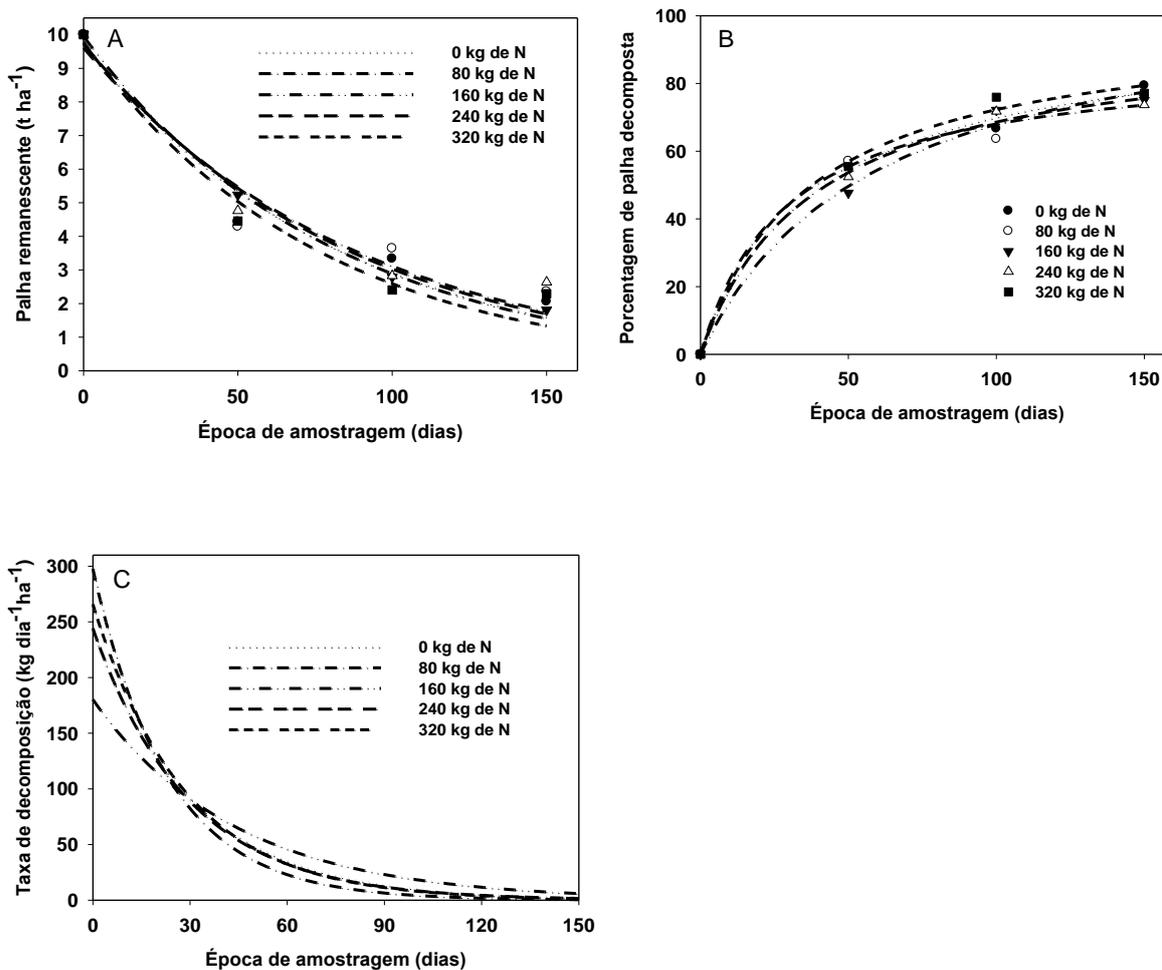


Figura 1. Massa de matéria seca de palha de café remanescente (A); porcentagem da massa de matéria seca da palha decomposta até 150 dias (B) e taxa de decomposição da palha no mesmo período (C), em função de doses de nitrogênio.

A palha de café usada no experimento foi oriunda do processamento do café em coco. Este resíduo corresponde ao epicarpo (casca), mesocarpo (polpa ou mucilagem), endocarpo (pergaminho) e película prateada (MATIELO, 1991). Assim, esses resíduos apresentam composição química diferente, o que implica em velocidades diferentes de decomposição. Brum et al. (2007), avaliaram a composição química do pergaminho e da polpa e observaram que o pergaminho e a polpa apresentam relação C:N 62,9 e 24,0, respectivamente. Sabe-se que no processo de decomposição dos resíduos orgânicos, normalmente observa-se a biodegradação rápida dos compostos hidrossolúveis e polissacarídeos, redução lenta de hidrossolúveis, fenólicos e hemiceluloses e aumento relativo do conteúdo de ligninas e proteínas (CORREIA &

ANDRADE, 1999). Dessa forma, é possível que nos primeiros 50 dias após o início do experimento tenha ocorrido, principalmente, a decomposição da polpa de menor relação C:N e a permanência de compostos mais ou menos rico em lignina na palha remanescente, tal fato justificaria a porcentagem de decomposição da palha superior a 45% observada em todos os tratamentos nos primeiros 50 dias (**figura 1B**).

Outra evidência de que inicialmente pode ter ocorrido, principalmente, a decomposição de compostos menos rico em ligninas é a elevada taxa de decomposição da palha em torno dos primeiros 40 dias após o início do experimento (**figura 1C**). A partir deste período, observa-se uma redução lenta na taxa de decomposição que permanece até o final do experimento. Este comportamento é um indicativo de que inicialmente ocorre a decomposição da polpa (relação C:N = 24,0) e a permanência do pergaminho, com relação C:N = 62,9.

Aos 50, 100 e 150 dias foi observada diferença significativa pelo teste F, tanto para a quantidade de palha remanescente, quanto para a porcentagem de decomposição da palha, em função das doses de N aplicadas. Entretanto, independente da aplicação de N, observa-se que o padrão de decomposição da palha ao longo dos três períodos de amostragem foi muito semelhante (**figura 1A**), não sendo possível relacionar as doses de nitrogênio aplicadas à porcentagem de palha decomposta (**figura 1B**).

Chiapionotto (2003) aplicou dejetos líquidos suínos na presença e ausência de resíduos de aveia preta mantidos na superfície do solo. A expectativa era de que a aplicação dos dejetos ricos em N favorecesse a decomposição dos resíduos da aveia, pobres em N (relação C:N = 43,0), porém a taxa de decomposição não foi afetada pela aplicação dos dejetos, semelhante ao reduzido efeito das doses de N na taxa de decomposição da palha de café, observado no presente trabalho. Ainda de acordo com o mesmo autor, uma das principais hipóteses para justificar tal resultado seria que os resíduos deixados em superfície teriam limitado o contato com o solo, diminuindo assim a decomposição. A outra hipótese é de que a relação C:N da palha é relativamente baixa, o que poderia diminuir a necessidade de uma fonte externa de N para os microrganismos. Assim, no presente estudo, é possível que a baixa relação C:N da palha utilizada (31,2), em relação ao estudo mencionado, tenha minimizado a necessidade de uma fonte externa de N pelos microrganismos, tal fato teria como consequência a redução do efeito das doses de N aplicadas no processo de decomposição da palha. Além disso, a própria aplicação da palha

na superfície do solo, certamente reduziu o processo de decomposição, uma vez que minimiza o contato com o solo.

6.2 Concentrações e quantidades de C e N na palha

Embora aos 50, 100 e 150 dias tenha sido observada diferença significativa pelo teste F para a concentração de N na palha remanescente, em função das doses de N aplicadas, no decorrer do experimento o padrão de comportamento da concentração de nitrogênio na palha foi semelhante para todas as doses de nitrogênio aplicadas (**figura 2A**).

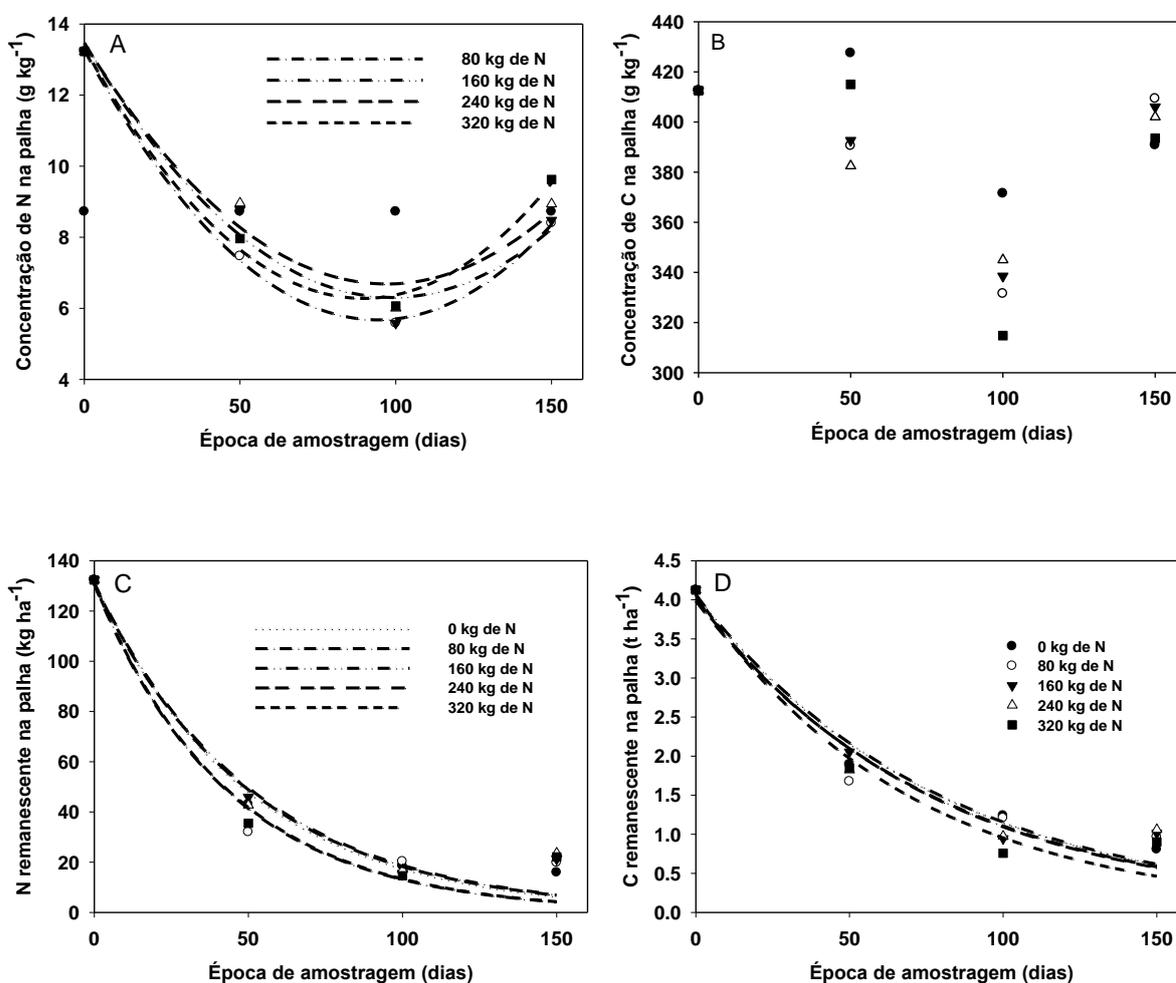


Figura 2. Concentrações de N (A) e C (B) e quantidades de N (C) e (D) na palha remanescente em função das doses de nitrogênio aplicadas, em todas as épocas de amostragem.

Aos 50 dias, não foi observada diferença significativa pelo teste F ($p < 0,05$) para as concentrações de C remanescentes na palha, em função da aplicação das doses de N. Por outro lado, aos 100 e 150 dias após o início do experimento, foi observada diferença significativa pelo teste F ($p < 0,01$) para a concentração de C presente na palha em função das doses de nitrogênio aplicadas (**figura 2B**). Entretanto, considerando as concentrações de C na palha remanescente nos três épocas de avaliação, não foi possível ajustá-las aos modelos linear ou quadrático ($p < 0,05$), com R^2 superior a 0,70.

As quantidades de carbono (**figura 2D**) e nitrogênio (**figura 2C**) na palha remanescente foram ajustadas ao modelo exponencial de 2ª ordem ($p < 0,05$). Neste mesmo modelo também foi ajustada a massa de matéria seca da palha remanescente ao longo do experimento (**figura 1A**). Assim, há uma estreita relação entre o processo de decomposição da palha e a mineralização de C e N presente na palha. Essa dependência entre a decomposição da palha e a mineralização de C e N foi mais evidente nos primeiros 50 dias de condução do experimento. Neste período, foi observada a maior taxa de decomposição da palha (**figura 1 C**), coincidindo com o período em que se observou mais de 50% nas reduções das quantidades de C (**figura 2D**) e N (**figura 2C**) presentes na palha remanescente.

A palha aplicada era constituída de pergaminho, casca e polpa de diferentes relações C:N, como mencionado anteriormente. Dessa forma, possivelmente nos primeiros 100 dias após o início do experimento ocorreu a decomposição de compostos com menor relação C:N. Por outro lado, no mesmo período deve ter aumentado a concentração de compostos mais ricos em lignina, o que favoreceu o aumento da relação C:N (**figura 3**) no decorrer dos 100 dias após início do experimento.

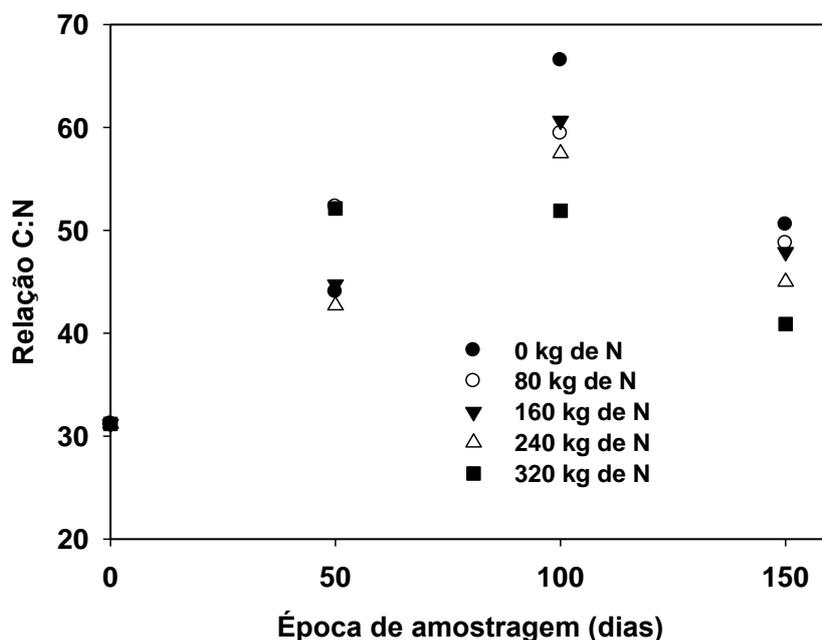


Figura 3. Relação C: N da palha remanescente.

Aos 150 dias, foi observado um aumento tanto na concentração de N (**figura 2A**) quanto na concentração de C (**figura 2B**) na palha remanescente. Por outro lado, na mesma época de amostragem, notou-se uma redução da relação C:N (**figura 3**). Assim, proporcionalmente pode ter ocorrido maior aumento na concentração de nitrogênio na palha, em relação à concentração de C; tal fato justificaria a redução da relação C:N observada aos 150 dias.

Sabe-se que a palha de café possui elevadas concentrações de compostos fenólicos (PREETHU et al., 2009). O efeito dos compostos fenólicos no processo de mineralização do nitrogênio ocorre pelo fato dos polifenóis formarem estruturas complexas através de ligações estáveis (pontes de hidrogênio e ligações covalentes) com grupos nitrogenados, por exemplo as aminas, tornando os resíduos mais resistentes à decomposição (ALVES et al. (2011). No presente estudo, a tendência de aumento na concentração de nitrogênio na palha de café, aos 150 dias, pode estar relacionada às elevadas concentrações de compostos fenólicos na palha. Estes compostos podem ter formado ligações com grupos nitrogenados, tornando-os mais resistentes à decomposição.

Apesar da decomposição da palha ter sido pouco dependente da dose de N aplicada (**figura 1A**), a dose 320 kg ha⁻¹ de N proporcionou maior

decomposição da palha e, conseqüentemente, implicou em maior quantidade de C mineralizado (**figura 2D**). Dessa forma, a aplicação de 10 t ha⁻¹ de palha em combinação com 320 kg de N - em relação aos demais tratamentos - potencialmente pode favorecer maiores teores de C no solo, contribuindo assim para o aumento da matéria orgânica do solo. Entretanto, considerando a alta mobilidade do nitrogênio no solo, aliada ao fato de que a adubação nitrogenada no cafeeiro deve ser realizada em pelo menos três aplicações (MALAVOLTA et al., 1993), a aplicação de 320 ha⁻¹ kg de N em dose única pode não ser recomendada.

6.3 pH do solo

Aos 50 dias, independente do manejo, com ou sem aplicação de palha, o pH do solo diminuiu linearmente nas profundidades 0 - 5 (**figura 4A**) e 5 - 10 cm (**figura 4B**) com as doses de nitrogênio aplicadas. Por outro lado, não foi observado efeito significativo das doses de N aplicadas no pH do solo nas profundidades 10 - 20 (**figura 4C**) e 20 - 40 cm (**figura 4D**).

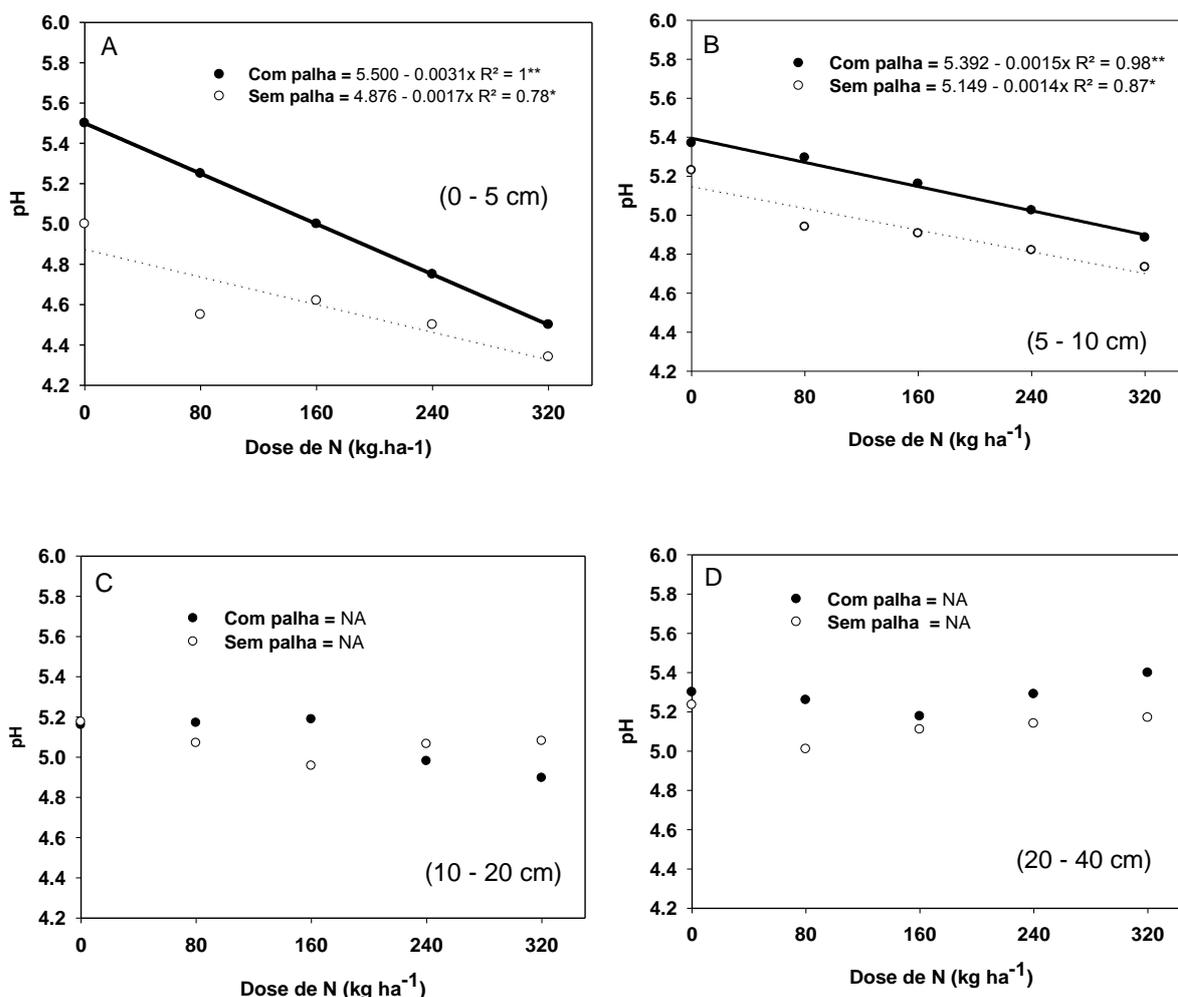


Figura 4. pH do solo nas profundidades de 0 - 5 (A); 5 - 10 (B); 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D), aos 50 dias, em função da aplicação de doses N. Manejo com aplicação de palha (Com palha); manejo sem aplicação de palha (Sem palha). ******significativo ($p < 0,01$); ***** significativo ($p < 0,05$) e NA (Não ajustou-se ao modelo).

Aos 100 dias, independente do manejo, com ou sem aplicação de palha, na profundidade 0 - 5 cm o pH do solo diminuiu linearmente ($p < 0,01$), com as doses de nitrogênio aplicadas (**figura 5A**). Na profundidade 5 - 10 cm, no manejo sem aplicação de palha, foi observado redução linear ($p < 0,05$) do pH do solo em função das doses de N aplicadas (**figura 5B**). Não foi observado efeito significativo das doses de N aplicadas no pH do solo nas profundidades 10 - 20 (**figura 5C**) e 20 - 40 cm (**figura 5D**).

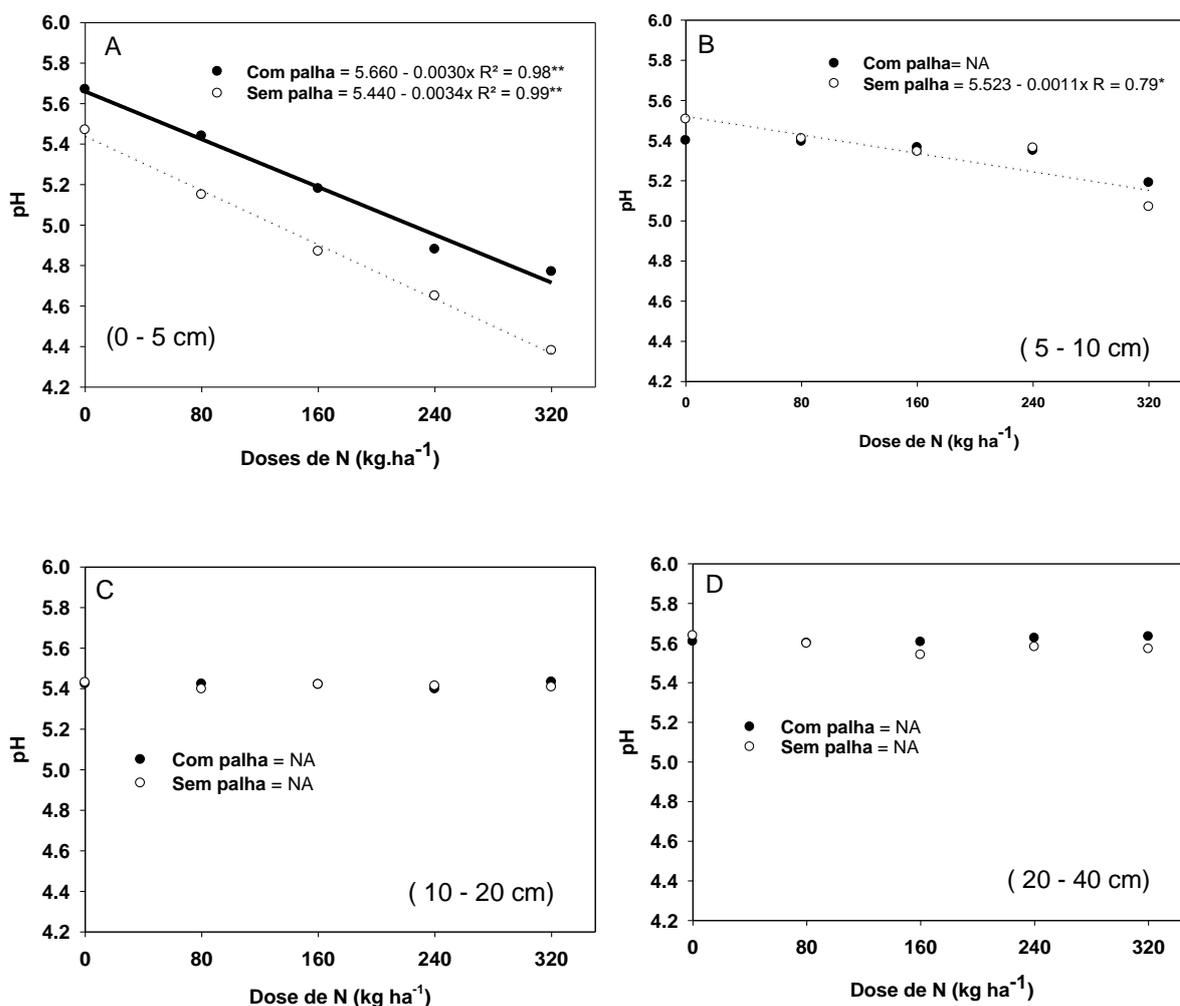


Figura 5. pH do solo nas profundidades de 0 - 5 (A); 5 - 10 (B); 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D), aos 100 dias, em função da aplicação de doses N. Manejo com aplicação de palha (Com palha); manejo sem aplicação de palha (Sem palha). **significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$) e NA (Não ajustou-se ao modelo).

Aos 150 dias, tanto no manejo com ou sem aplicação de palha, o pH do solo diminuiu linearmente ($p < 0,01$) na profundidade 0 - 5 cm com as doses de nitrogênio aplicadas (**figura 6A**). Na profundidade 5 - 10 cm, no manejo sem aplicação de palha, foi observado um decréscimo linear ($p < 0,05$) do pH do solo em função das doses de N aplicadas (**figura 6B**). Não foi observado efeito significativo das doses de N no pH do solo nas profundidades 10 - 20 (**figura 6C**) e 20 - 40 cm (**figura 6D**).

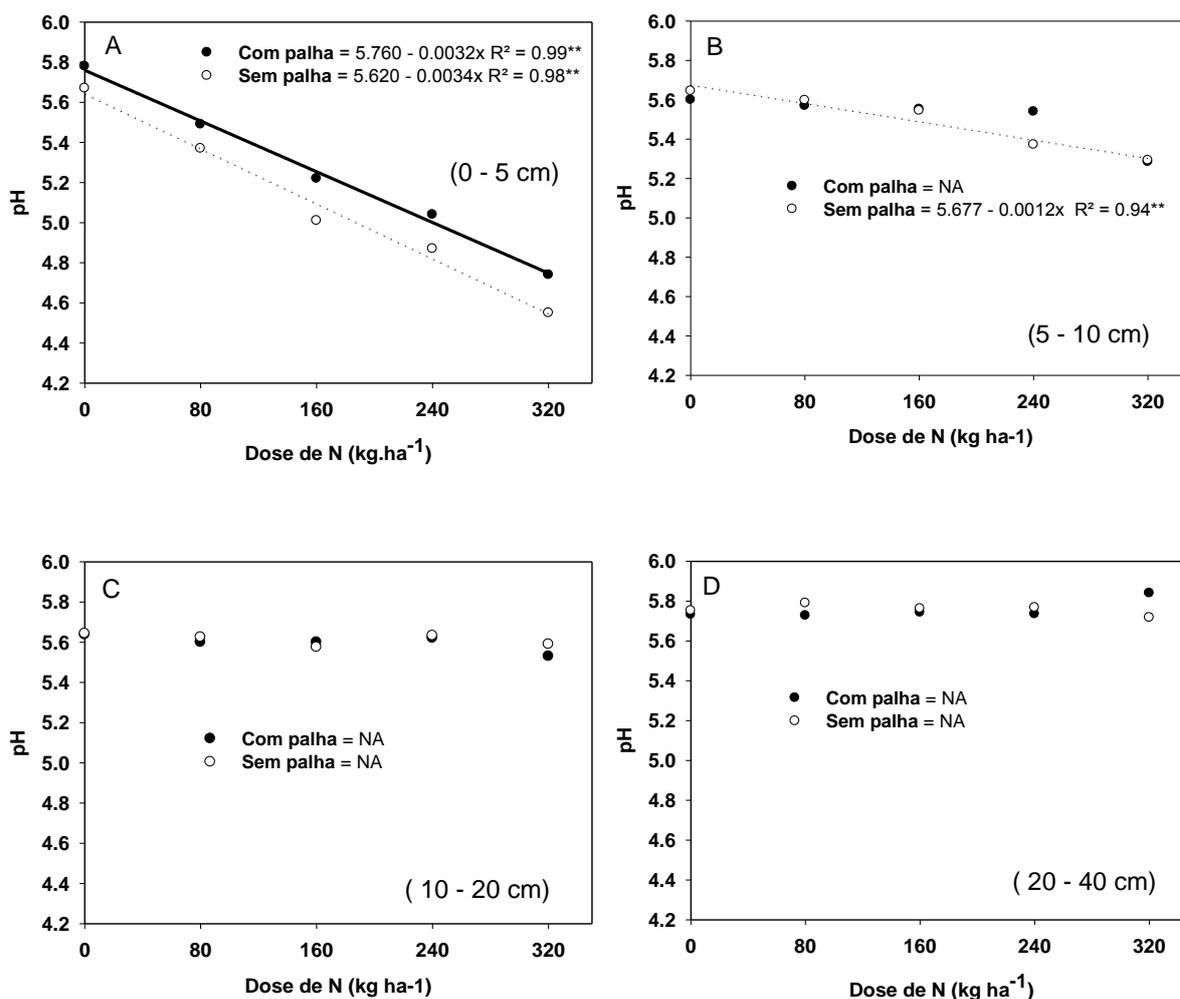


Figura 6. pH do solo nas profundidades de 0 - 5 (A); 5 - 10 (B); 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D), aos 150 dias, em função da aplicação de doses N. Manejo com aplicação de palha (Com palha); manejo sem aplicação de palha (Sem palha). **significativo ($p < 0,01$) e NA (Não ajustou-se ao modelo).

Independente do sistema de manejo, com ou sem aplicação de palha - em todas as épocas de amostragem - foi observada redução do pH do solo na profundidade 0 - 5 cm, em função das doses de nitrogênio aplicadas na forma de nitrato de amônio. Nesta profundidade, a redução do pH ocorreu em consequência da nitrificação do amônio. Sabe-se que para cada mol de NH_4^+ oxidado há liberação de dois moles de H^+ , sendo que essa reação tem uma importante contribuição para a acidificação dos solos agrícolas (CANTARELLA, 2007; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006).

De acordo Pocknee et al. (1997), os resíduos vegetais possuem cátions básicos, os quais, ao serem liberados no solo, atuam de forma análoga ao calcário mineral e aumentam o pH. No presente estudo, possivelmente a presença de cátions básicos, oriundos da palha, reduziu o efeito acidificante das doses de nitrato de amônio aplicadas, o que manteve o pH do solo mais elevado no sistema de manejo com aplicação de palha na profundidade 0 - 5 cm. Além disso, pode se considerar o próprio efeito do pH da palha na manutenção do pH do solo mais elevado, uma vez que o pH do tecido de plantas cultivadas está na faixa de 5,4 a 6,3 (FRANCHINI et al., 2001; PAVINATO, 2007).

Franchini et al. (2001) também mencionaram que a aplicação de resíduos vegetais ao solo tem como consequência a liberação de Ca, Mg e K o que aumenta a saturação da CTC. Ainda de acordo com os mesmos autores, compostos orgânicos liberados dos resíduos vegetais favorecem a complexação de H^+ e Al^{3+} livres. Assim, com o aumento da CTC e redução nos teores de H^+ e Al^{3+} livres, ocorre redução na acidez potencial e aumento do pH. Portanto, no presente estudo, os maiores valores de pH na profundidade 0 - 5 cm, em todos os períodos de amostragem (**figuras 4A, 5A e 6A**), no manejo com aplicação de palha, podem ter sido proporcionados pela maior liberação de Ca, Mg e, principalmente, K. Estes elementos aumentaram a saturação da CTC e, conseqüentemente manteve o pH mais elevado nos tratamentos em que a palha foi aplicada.

Em geral, a mineralização de N de resíduos de cultura adicionados aos solo é depende do pH. Xu & Tabatabai (1987) estudaram a mineralização de N nos resíduos de soja, milho, sorgo e alfafa em três valores de pH (4, 6 e 8). Os autores observaram que em pH 4 a mineralização de N dos resíduos foi significativamente reduzida, comparada com a mineralização observada em pH 6 e 8. Ainda de acordo com os mesmos autores, a redução da mineralização de N em pH 4 pode ser justificada pela menor atividade microbiana em pH baixo.

Além da importância do pH do solo para a atividade microbiana e ciclagem de N; deve se atentar para o fato de que a faixa de pH adequada para a maioria das culturas está entre 6,0 e 6,5 (SOUZA et al., 2007). Neste contexto, a aplicação da palha de café em combinação com as doses de nitrato de amônio, além de ser uma fonte adicional de nutrientes, quando aplicada em combinação com o nitrato de amônio, reduz o efeito acidificante deste fertilizante na profundidade 0 - 5 cm.

6.4 Teores de nitrogênio inorgânico

Os teores de N inorgânico no solo, nas diferentes profundidades, aos 50 dias estão apresentados na **figura 7**. No manejo com aplicação de palha, os teores de NH_4^+ nas profundidades 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 20 cm foram ajustadas ao modelo quadrático ($p < 0,01$) (**figura 7A**). No mesmo manejo, em todas as profundidades, os teores de NO_3^- aumentaram linearmente ($p < 0,01$), em função das doses de N aplicadas na forma de nitrato de amônio (**figura 7B**).

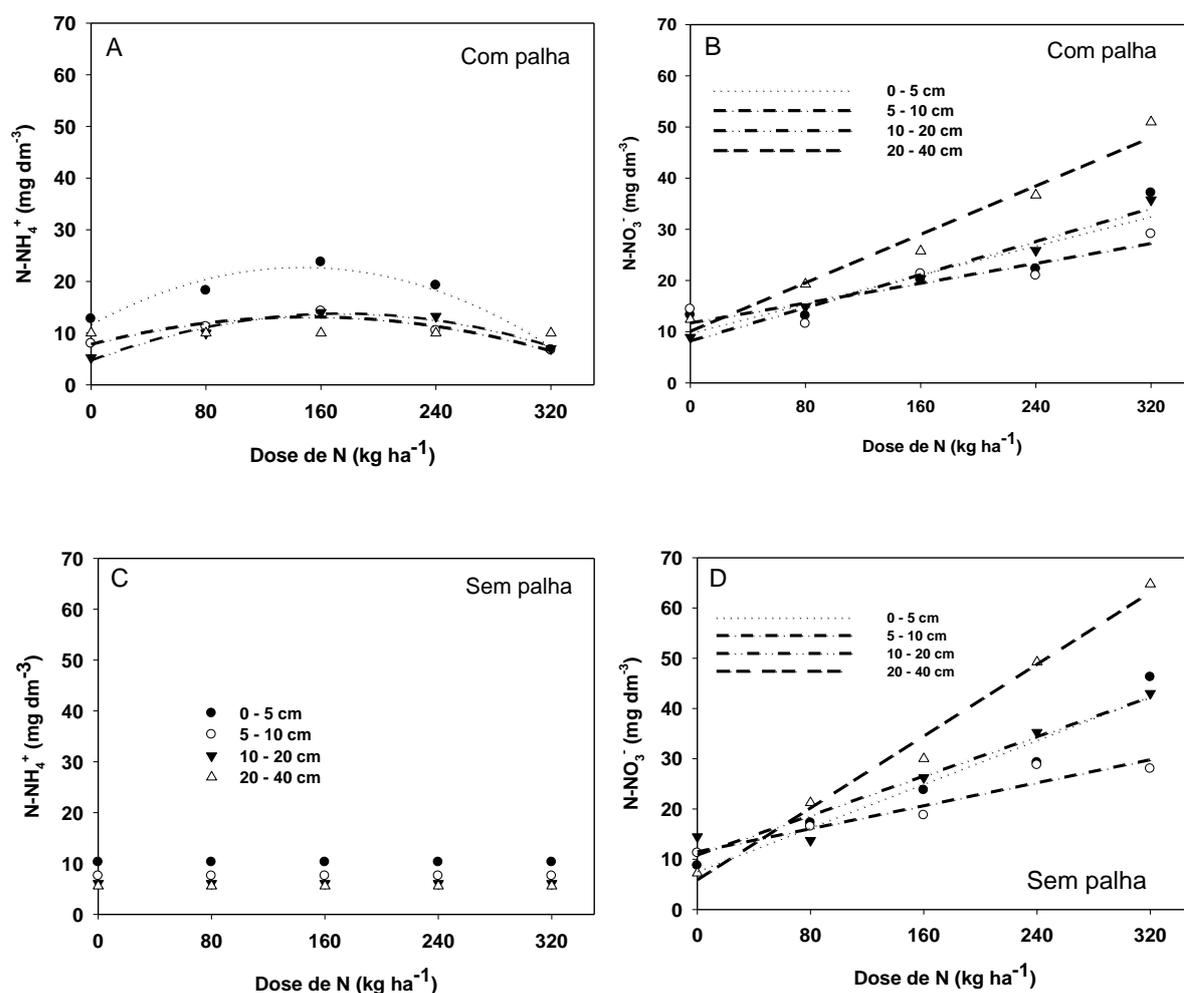


Figura 7. Teores de nitrogênio inorgânico em todas as profundidades aos 50 dias, em função das doses de N aplicadas na presença (Com palha) e ausência de palha (Sem palha); teores de NH_4^+ (A e C) e NO_3^- (B e D).

Ainda aos 50 dias, no manejo sem aplicação de palha, não foi observado efeito significativo ($p < 0,05$) das doses de nitrogênio aplicadas nos teores de

NH_4^+ em todas as profundidades avaliadas (**figura 7C**). No mesmo sistema de manejo, observou-se aumento linear ($p < 0,01$) dos teores de NO_3^- , em todas as profundidades, em função das doses de nitrogênio (**figura 7D**).

De acordo com Cantarella (2007) e Moreira & Siqueira (2006), em condições aeróbicas o NH_4^+ é nitrificado de forma bastante rápida. Portanto, o aumento dos teores de nitrato em função das doses de nitrogênio aplicadas, tanto no manejo com ou sem aplicação de palha (**figura 7B e D**), se justifica pela nitrificação do amônio, proveniente tanto do fertilizante aplicado, quanto da mineralização do nitrogênio presente na palha e na matéria orgânica do solo.

No manejo com aplicação de palha, o comportamento quadrático no qual os teores de amônio nas profundidades 0 - 5, 5 - 10 e 10 - 20 cm foram ajustados (**figura 7A**) pode estar relacionado com a redução do pH do solo em função das doses de N aplicadas (**figuras 4A, 5A e 6A**). É possível que doses superiores a 160 kg de N ha^{-1} reduziram o pH do solo, de tal forma que tiveram efeito negativo na atividade microbiana, reduzindo assim a mineralização de nitrogênio da matéria orgânica do solo e da palha.

Aos 100 dias, independente do manejo, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio nos teores de NH_4^+ em todas profundidades avaliadas (figura 8A e C).

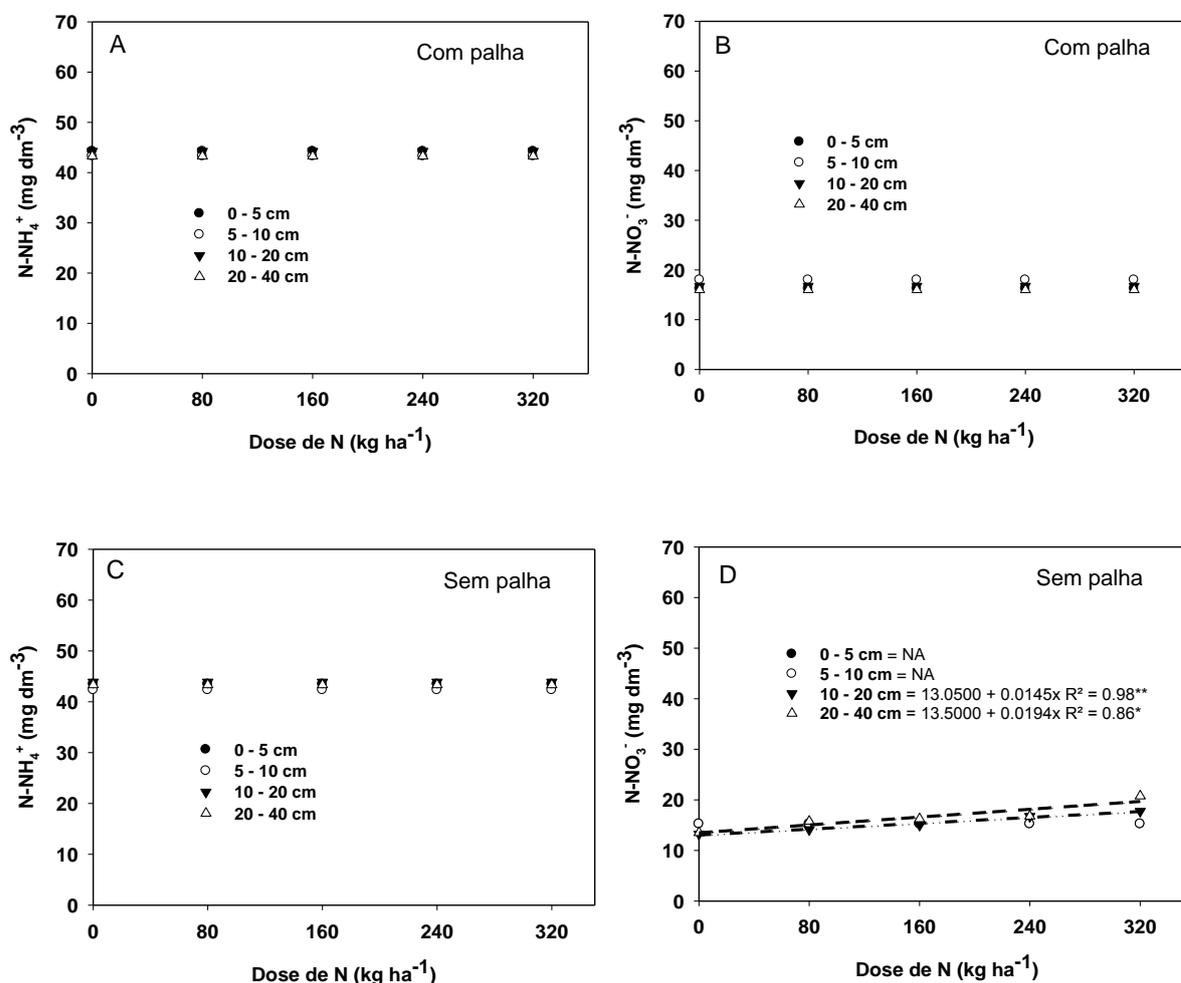


Figura 8. Teores de nitrogênio inorgânico em todas as profundidades aos 100 dias, em função das doses de N aplicadas na presença (Com palha) e ausência de palha (Sem palha); teores de NH_4^+ (A e C) e NO_3^- (B e D).

No manejo com aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio nos teores de NO_3^- em nenhuma das profundidades avaliadas (figura 8B). No manejo sem aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio nos teores de NO_3^- nas profundidades 0 - 5 e 5 - 10 cm. Nas profundidades 10 - 20 e 20 - 40 cm, os teores de NO_3^- aumentaram linearmente ($P < 0,01$), em função das doses de nitrogênio aplicadas (figura 8D).

Ainda aos 100 dias, tanto no manejo com (**figura 8A**) ou sem a aplicação de palha (**figura 8C**), observou-se que os teores de amônio foram maiores do que os teores de nitrato, ao contrário do que se observou aos 50 dias, em que os teores de nitrato predominavam sobre os teores de amônio. De acordo com Harrison e Webb (2001), uma vez que o amônio foi convertido em nitrato, este moverá facilmente com a água e através da lixiviação pode alcançar o lençol freático; além disso, através do escoamento superficial, o nitrato também poderá ser movido da área.

O fato do ensaio ter sido conduzido em colunas não permitiu que houvesse escoamento superficial, assim, parte do nitrato foi lixiviado através do perfil do solo, como consequência das lâminas aplicadas semanalmente. Segundo Cantarella (2007) a lixiviação de NO_3^- tem estreita dependência da quantidade de água que percola no perfil do solo. Neste ensaio, aos 100 dias, já havia sido simulada a precipitação de aproximadamente 900 mm, o que favoreceu a lixiviação do nitrato para profundidades superiores a 40 cm.

Por outro lado, o aumento dos teores de amônio no manejo com (**figura 8A**) ou sem a aplicação de palha (**figura 8C**), pode ter sido uma consequência do processo de mineralização e imobilização. É possível que parte do nitrogênio oriundo do nitrato de amônio; do processo de mineralização da palha e da matéria orgânica do solo, tenha sido imobilizado no início do experimento e, aos 100 dias tenha sido mineralizado. De acordo com Moreira & Siqueira (2006), no solo a nitrificação é máxima em pH de 6,6 a 8,0, sendo muito reduzida em pH 6,0 e nula em menos 4,5. Portanto, a redução do pH do solo com as doses de N aplicadas na forma de nitrato de amônio pode ter minimizado o processo de nitrificação, favorecendo o aumento dos teores de amônio nos dois sistemas de manejo.

Aos 150 dias, independente do sistema de manejo (com ou sem aplicação de palha), não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio aplicadas nos teores de NH_4^+ em todas as profundidades avaliadas (**figura 9A e C**).

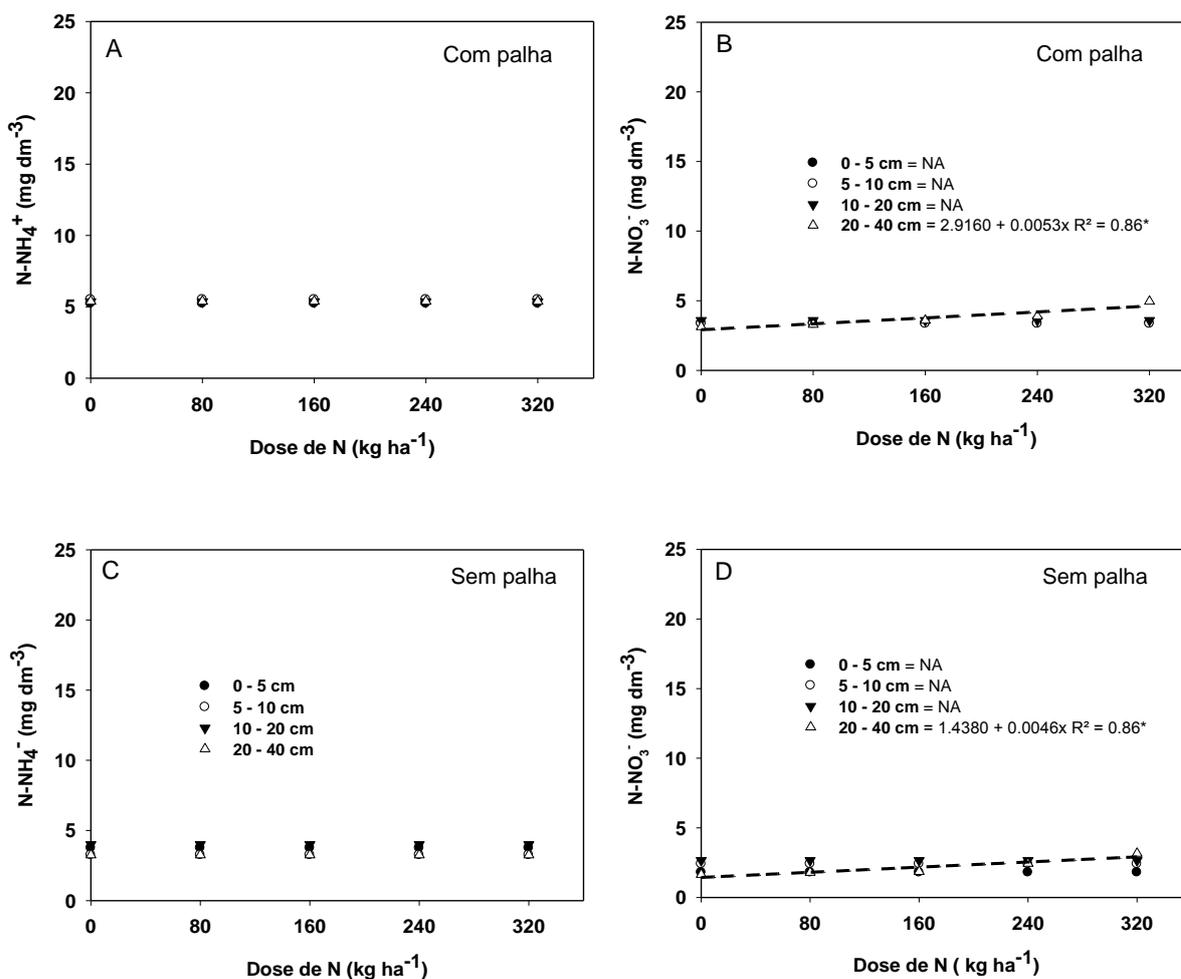


Figura 9. Teores de nitrogênio inorgânico em todas as profundidades aos 150 dias, em função das doses de N aplicadas na presença (Com palha) e ausência de palha (Sem palha); teores de NH₄⁺ (A e C) e NO₃⁻ (B e D).

Ainda aos 150 dias, em ambos manejos, observou-se aumento linear ($p < 0,05$) dos teores de NO₃⁻ na profundidade 20 - 40 cm, com as doses de N aplicadas. Nas demais profundidades, não foi observado efeito significativo das doses de N nos teores de nitrato (**figura 9B e D**).

Nesta última época de avaliação, foi observada redução dos teores de amônio e nitrato em ambos sistemas de manejo, em relação aos teores de N inorgânico observados aos 100 dias. Porém, ao final do experimento já havia sido simulada a precipitação de 1285 mm, o que certamente favoreceu a redução dos teores de N no solo. Além disso, decorridos 150 dias após o início do experimento, possivelmente houve uma

redução nos teores de matéria orgânica do solo e que diretamente reduziu o conteúdo de nitrogênio a ser mineralizado.

Apesar da redução dos teores de N inorgânico nos dois sistemas de manejo, como discutido anteriormente, observou-se que os teores de NH_4^+ , em média, foram superiores no manejo com aplicação de palha (**figura 9A**), em relação aos teores médios de NH_4^+ observados no manejo sem aplicação de palha (**figura 9C**). O fato do teor médio de NH_4^+ ser superior no manejo com aplicação de palha, pode ser um indicativo de que mesmo após 150 dias ainda ocorre mineralização do nitrogênio presente na palha.

6.5 Teor de N total no solo

Na **figura 10** estão apresentados os teores de nitrogênio total no solo nos manejos com e sem aplicação de palha, aos 50 dias.

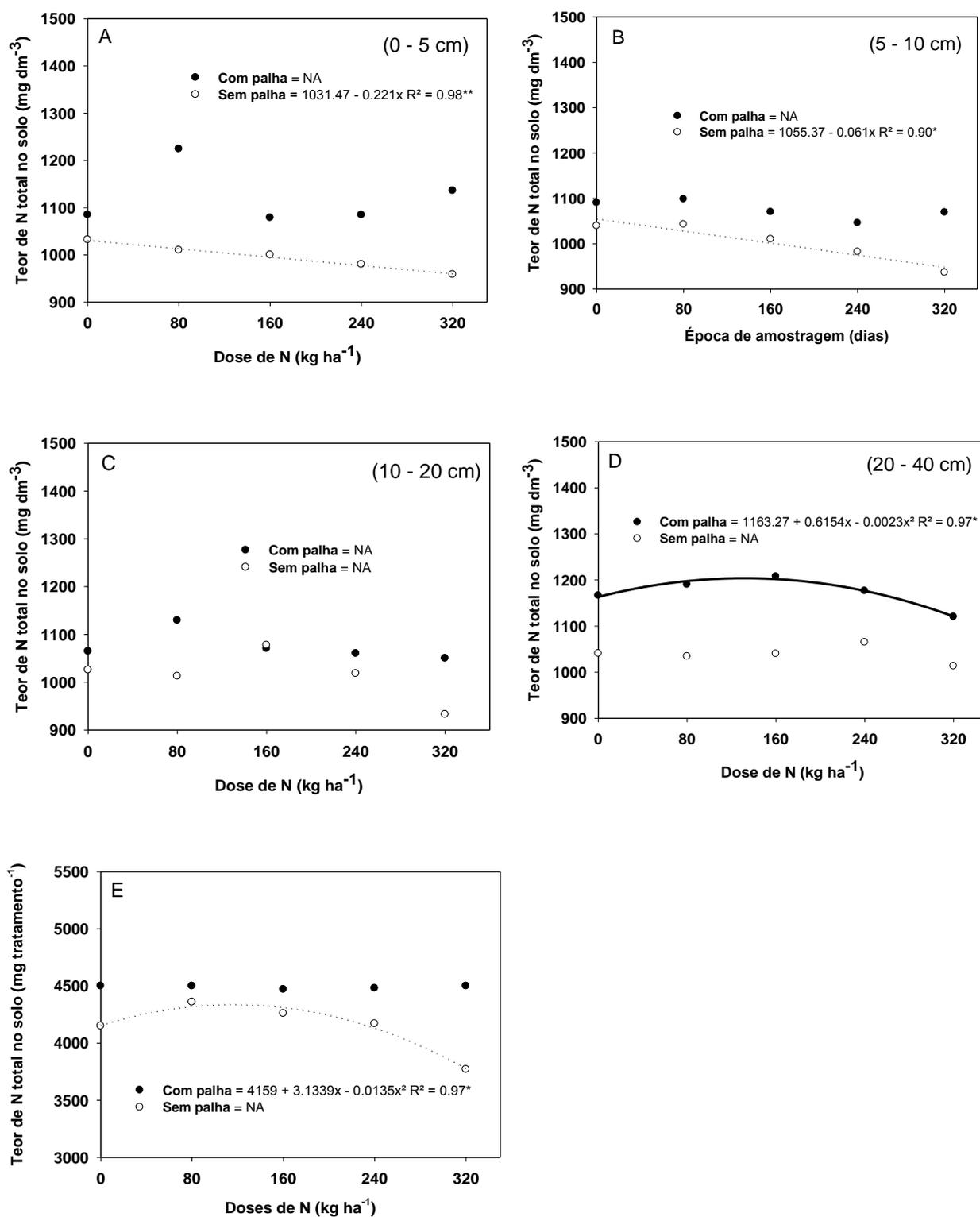


Figura 10. Teores de N total, aos 50 dias, nas profundidades de 0 - 5 (A), 5 - 10 (B), 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D); teor de N total por tratamento (E), em função das doses N. Manejo com aplicação de palha (Com palha); manejo sem aplicação de palha (Sem palha). ******significativo ($p < 0,01$); ***** significativo ($p < 0,05$) e NA (Não ajustou-se ao modelo).

No manejo sem aplicação de palha, os teores de nitrogênio total na profundidade 0 - 5 cm (**figura 10A**) decresceram linearmente ($p < 0,01$), em função das doses de nitrogênio. Esse mesmo comportamento também foi observado na profundidade 5 - 10 cm (**figura 10B**), no mesmo sistema de manejo. Apesar de nestas profundidades os teores de nitrogênio total serem superiores no manejo com aplicação de palha; não foi observado efeito significativo das doses de N nos teores de nitrogênio total no solo neste sistema de manejo.

Na profundidade 10 - 20 cm (**figura 10C**), em ambos sistemas de manejo, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio nos teores de nitrogênio total no solo. Na profundidade 20 - 40 cm (**figura 10D**), no manejo com aplicação de palha, os teores de N total no solo foram ajustados ao modelo quadrático ($p < 0,05$), ao passo que nesta mesma profundidade, no manejo sem aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio nos teores de nitrogênio total no solo.

Apesar de o teor de nitrogênio total por tratamento ser superior no manejo com aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio no teor de nitrogênio total no solo neste sistema de manejo (**figura 10D**). Além disso, é possível que o nitrogênio mineralizado/liberado da palha contribuiu para que o teor de nitrogênio total por tratamento fosse superior nos tratamentos com aplicação de palha. No manejo sem aplicação de palha, os teores de N total no solo foram ajustados ao modelo quadrático ($p < 0,05$).

Esperava-se que os teores de N total no solo aumentassem linearmente em função das doses de N aplicadas, entretanto, tal fato não foi observado. Sabe-se que o amônio, em condições aeróbicas, é rapidamente oxidado a nitrito e, posteriormente a nitrato, de modo que o nitrato predomina em condições aeróbicas. O nitrato, por sua vez, possui baixa afinidade com as cargas negativas do solo, sendo portanto, facilmente lixiviado (CANTARELLA, 2007; CANTARELLA & MONTEZANO, 2010). Dessa forma, apesar de ter ocorrido um aumento na quantidade de nitrogênio aplicada nos tratamentos em que foram aplicadas as maiores doses de nitrato de amônio, aumentou-se também nestes tratamentos a concentração de nitrato, passível de lixiviação.

Na **figura 11** estão apresentados os teores de nitrogênio total no solo nos sistemas de manejo com e sem aplicação de palha, aos 100 dias.

Independente do sistema de manejo, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio aplicadas nos teores de N total no solo nas profundidades 0 - 5 cm (**figura 11A**) e 20 - 40 cm (**figura 11 D**).

Na profundidade 5 - 10 cm (**figura 11B**), no manejo sem aplicação de palha, os teores de N total no solo reduziram linearmente ($p < 0,01$), em função das doses de nitrogênio; na mesma profundidade, no manejo com aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de N aplicadas nos teores de nitrogênio total no solo.

Na profundidade 10 - 20 cm (**figura 11C**), no manejo com aplicação de palha, os teores de N total no solo aumentaram linearmente ($p < 0,01$) com as doses de nitrogênio aplicadas. Na mesma profundidade, no manejo sem aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio aplicadas nos teores de nitrogênio total no solo.

Quanto aos teores de N total por tratamento (**figura 11E**), no manejo com aplicação de palha, observou-se um aumento linear ($p < 0,01$) nas quantidades de N total no solo em função das doses de N; já no manejo sem aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio nos teores de nitrogênio total por tratamento.

É importante observar que, independente do manejo - com ou sem aplicação de palha - houve um aumento nos teores de nitrogênio total por tratamento aos 100 dias, comparado com os teores observadas aos 50 dias. Além disso, no manejo com aplicação de palha, observou-se que os teores de N total por tratamento aumentarem linearmente ($p < 0,01$) com as doses de nitrogênio aplicadas. Dessa forma, é possível inferir que as doses de nitrogênio aplicadas tiveram um efeito benéfico tanto no processo de mineralização do nitrogênio presente na matéria orgânica do solo, quanto do nitrogênio presente na palha.

Na **figura 12** estão apresentados os teores de nitrogênio total no solo aos 150 dias. No manejo sem aplicação de palha, na profundidade 0 - 5 cm (**figura 12A**), observou-se redução linear ($p < 0,05$) nos teores de nitrogênio total no solo com as doses de nitrogênio aplicadas; na mesma profundidade, no manejo com aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio aplicadas nos teores de nitrogênio total no solo.

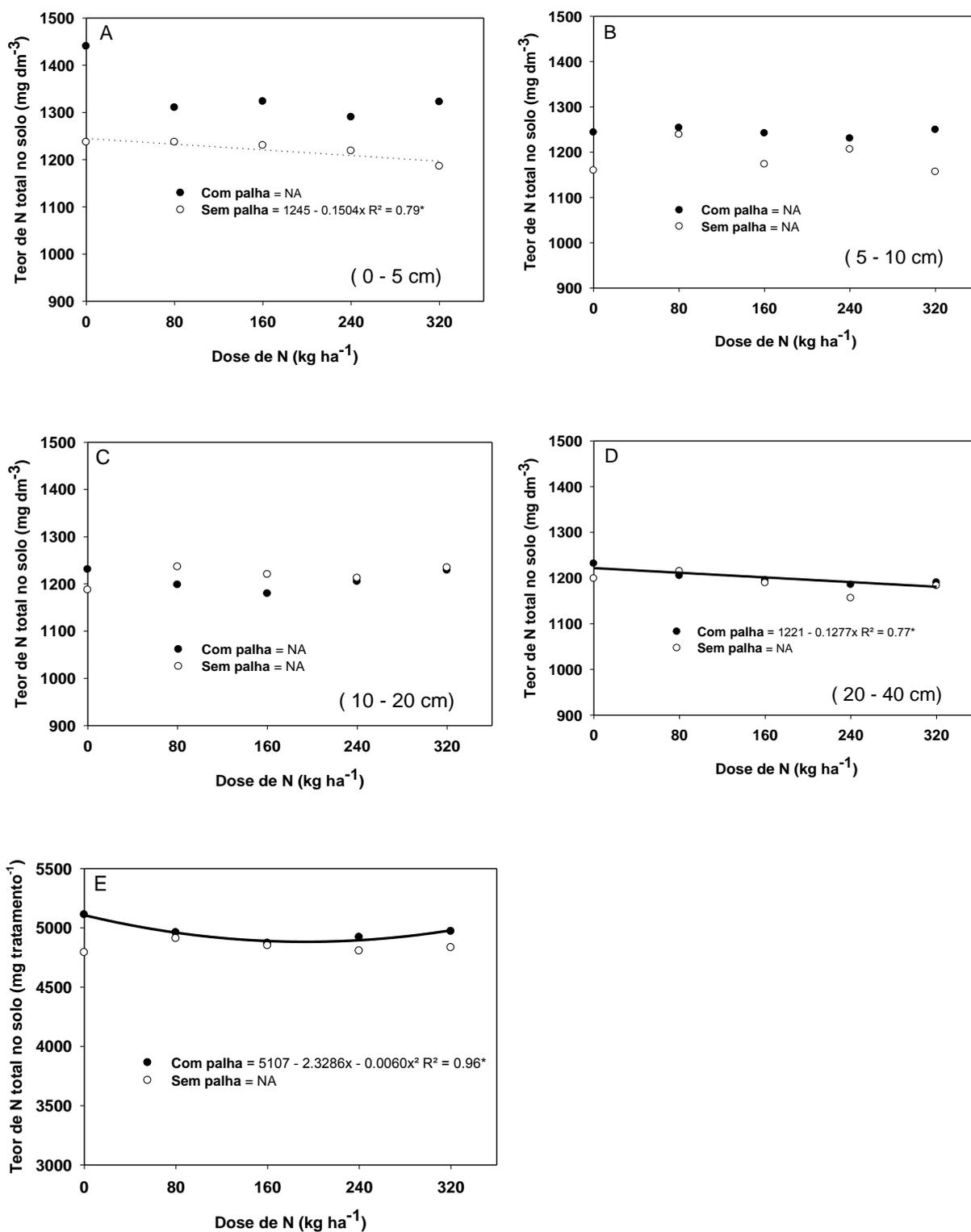


Figura 12. Teores de N total, aos 150 dias, nas profundidades de 0 - 5 (A), 5 - 10 (B), 10 - 20 (C) e 20 - 40 cm (D); teor de N total por tratamento (E), em função das doses N. Manejo com aplicação de palha (Com palha); manejo sem aplicação de palha (Sem palha). *significativo ($p < 0,05$) e NA (Não ajustou-se ao modelo).

Nas profundidades 5 -10 (**figura 12B**) e 10 - 20 cm (**figura 12C**), independente do sistema de manejo - não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio nos teores total de N no solo. Na profundidade 20 - 40 cm (**figura 12D**), no manejo com aplicação de palha, os teores de nitrogênio total no solo decresceram linearmente ($p<0,05$) com as doses de nitrogênio aplicadas. Ainda na mesma profundidade, no manejo sem aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio no teor de N total no solo.

No manejo com aplicação de palha, os teores de nitrogênio total por tratamento (**figura 12E**) foram ajustados ao modelo quadrático ($p<0,05$), já no sistema de manejo sem aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio aplicadas nos teores de nitrogênio total por tratamento.

Sabe se que a palha de café possui altas concentrações de compostos fenólicos (PREETHU et al., 2009). Esses compostos fenólicos podem afetar a composição e atividade dos microrganismos decompositores do solo, afetando diretamente a mineralização dos nutrientes (HÄTTENSCHWILER & VITOUSEK, 2000). Neste estudo, os compostos fenólicos presentes na palha de café podem ter afetado negativamente a mineralização/liberação do N presente na palha no início do experimento, suprimindo um possível efeito positivo das doses de N no teor de N total no solo aos 50 dias (**figura 10E**).

Por outro lado, aos 100 dias, o teor de nitrogênio total por tratamento aumentou linearmente ($p<0,01$) em função da dose de nitrogênio aplicada em combinação com a palha (**figura 11E**). Assim, decorridos 100 dias após o início do experimento pode ter ocorrido a redução dos compostos fenólicos, o que favoreceu a atuação dos microrganismos no processo de mineralização do nitrogênio da palha.

Independente da época de amostragem, a aplicação de palha resultou em maiores teores de nitrogênio no solo na profundidade 0 - 5 cm (**figuras 10A, 11A e 12A**); tal fato evidencia o potencial que este resíduo apresenta para ser utilizado como fertilizante orgânico fonte de nitrogênio. Em relação à aplicação de doses de nitrogênio em combinação com a palha, esse manejo se justifica pelo fato da liberação do N presente na palha ser lenta. Dessa forma, a aplicação da palha como fonte de N para uma determinada cultura, na ausência da aplicação N mineral, teria como desvantagem a imobilização imediata do nitrogênio mineral do solo pelos microrganismos, tornando o momentaneamente indisponível para a cultura.

De acordo com Favarin et al. (2010), a adubação nitrogenada para o cafeeiro deve ser iniciada por volta de agosto/setembro, antes do florescimento, uma das épocas de maior demanda do cafeeiro pelo N. Diante disso, a aplicação de 10 t de palha em combinação com doses de nitrogênio, em torno de agosto/setembro, tem como efeito positivo a disponibilização imediata do N mineral para o cafeeiro em época de maior demanda para a cultura. Por outro lado, a liberação lenta do nitrogênio presente na palha tem como vantagem a disponibilização do N durante o ciclo da cultura, em outra época de grande demanda do cafeeiro pelo N, que é o desenvolvimento dos frutos (CANNELL, 1975).

6.6 Atividade enzimática

6.6.1 Atividade da enzima amidase

Aos 50 dias, a atividade da amidase (**figura 13A**) foi maior nos tratamentos em que a palha foi aplicada e, independente do manejo (com ou sem aplicação palha), observou-se redução linear ($p < 0,05$) da atividade da enzima em função das doses de nitrogênio aplicadas.

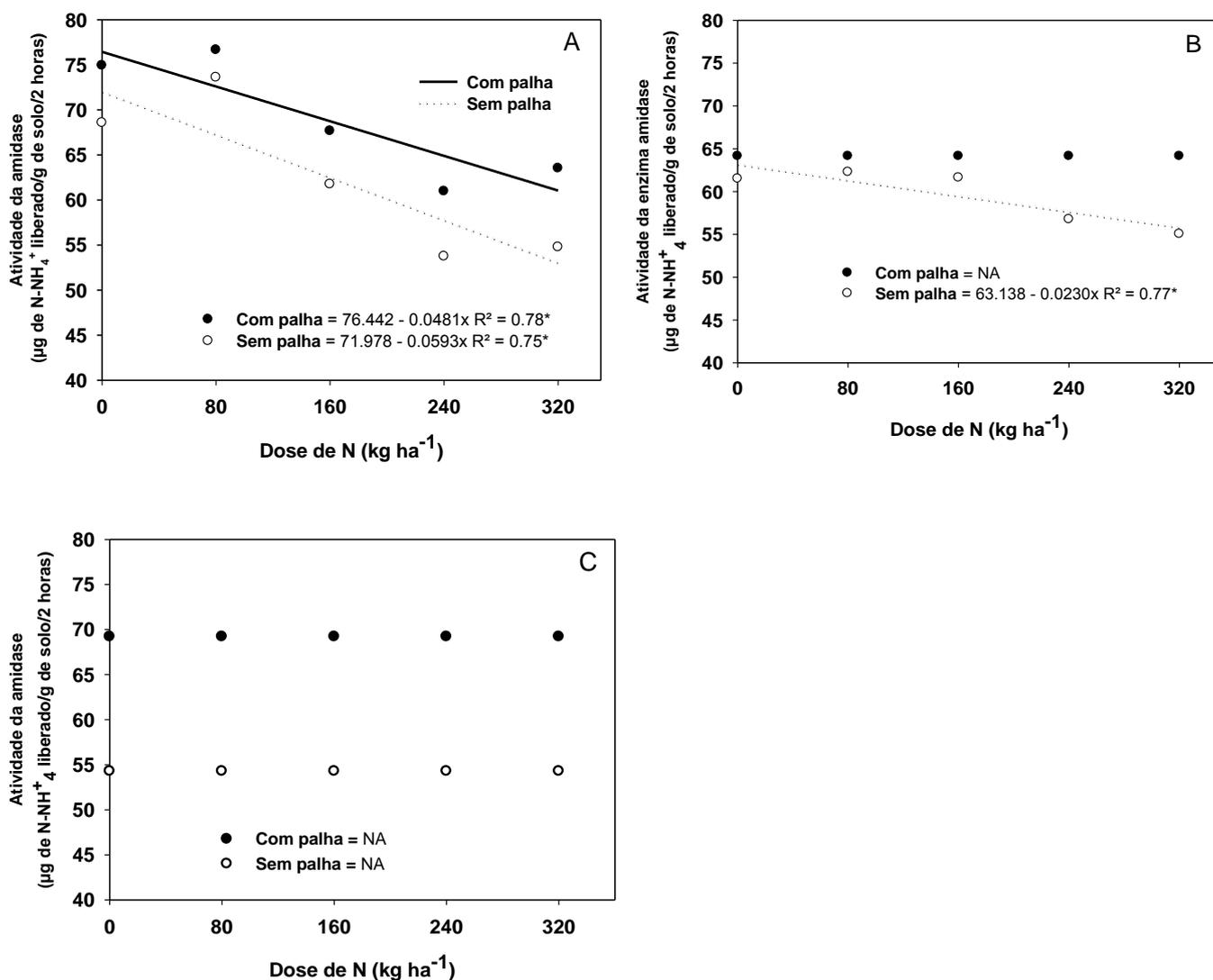


Figura 13. Atividade da enzima amidase aos 50 (A), 100 (B) e 150 (C) dias após o início do experimento. Manejo com aplicação de palha (Com palha); manejo sem aplicação de palha (Sem palha). * significativo ($p < 0,05$) e NA (Não ajustou-se ao modelo).

A redução do pH do solo na profundidade 0 - 5 cm (**figuras 5A, 6A e 7A**), em função das doses de N aplicadas, pode ter afetado negativamente a atividade enzimática, apesar de que o comportamento da amidase em função de modificações do pH do solo é um tanto controverso. Frankenberger & Tabatabai (1981a), não observaram correlação entre o pH do solo e a atividade da amidase. Por outro lado, Acosta & Tabatabai (2000), estudaram o efeito da calagem na atividade enzimática de seis enzimas responsáveis pela mineralização de nitrogênio, entre elas a amidase e L-Asparaginase. Foi observado que a atividade destas enzimas aumentou de acordo com o aumento do pH do solo ($p < 0,001$). Ainda no mesmo estudo, os autores enfatizaram que a aplicação de calcário pode estimular a população e diversidade microbiana, o que resulta em maior atividade enzimática e, conseqüentemente, maior ciclagem de nutrientes.

No presente estudo, observou-se redução na atividade da enzima amidase com o decréscimo do pH do solo, essa relação ficou mais evidente na primeira amostragem (50 dias), (**figura 13A**). Sabe-se que, no solo, a síntese da amidase pode ser realizada por fungos e, principalmente, por vários gêneros de bactérias (FRANKENBERGER, 1980). É possível que a condição de pH mais elevado, nos tratamentos em que foi aplicada a palha, tenha promovido maior atividade de bactérias, favorecendo assim maior síntese enzimática da amidase por estes microrganismos.

Aos 100 dias, não foi observado efeito significativo da atividade enzimática no manejo com aplicação de palha. No manejo sem aplicação de palha, a atividade enzimática da amidase decresceu linearmente ($p < 0,05$), em função das doses de N aplicada (**figura 13B**). Aos 150 dias, não houve um padrão para justificar a atividade enzimática da amidase nos dois sistemas de manejo. Entretanto, em média, a atividade enzimática foi maior no manejo com aplicação de palha (**figura 13C**). Sabe se que a atividade desta enzima está correlacionada com os teores de C e N total no solo (FRANKENBERGER & TABATABAI, 1981a). Portanto, o maior teor de C e/ou N no solo, no manejo com aplicação de palha, pode ter favorecido maior atividade enzimática neste sistema de manejo.

6.6.2 Atividade da enzima L-Asparaginase

A atividade da enzima L-Asparaginase no solo, aos 50 e 150 dias, decresceu linearmente ($p < 0,01$) com as doses de nitrogênio aplicadas (**figura 14A e B**). A acidificação do solo, em decorrência das doses de nitrogênio aplicadas, pode ter afetado negativamente o crescimento da massa microbiana e, conseqüentemente, a síntese da enzima L-Asparaginase.

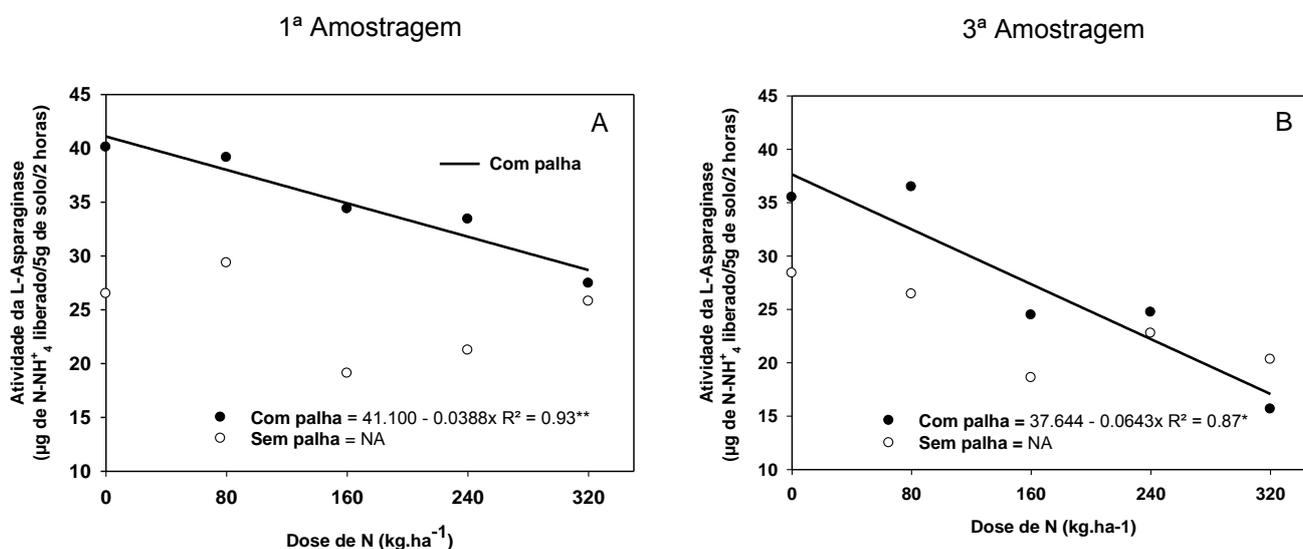


Figura 14. Atividade da enzima L-Asparaginase aos 50 (A) e 150 (B) dias após o início do experimento. Manejo com aplicação de palha (Com palha); manejo sem aplicação de palha (Sem palha). * significativo ($p < 0,05$); ** significativo ($p < 0,01$) e NA (Não ajustou-se ao modelo).

O comportamento desta enzima observado neste estudo está de acordo com o estudo de Acosta & Tabatabai (2000), os quais estudaram a resposta de seis enzimas responsáveis pela mineralização de N no solo. Os autores observaram que todas as enzimas foram significativamente correlacionadas ($p < 0,001$) com o pH do solo; sendo que, dentre as enzimas estudadas, a L-Asparaginase foi a que apresentou o maior coeficiente de correlação ($r = 0,84$; $p < 0,001$).

Ao analisar os teores de N total por tratamento, no sistema de manejo com aplicação de palha (**figuras 10E, 11E e 12E**), não é possível estabelecer uma

relação entre os teores de N total (provenientes da palha e do fertilizante) e a atividade das enzimas Amidase (**figura 13**) e L-Asparaginase (**figura 14**). Entretanto, como já discutido anteriormente, devido ao efeito acidificante do nitrato de amônio, as atividades das duas enzimas foram reduzidas em função das doses de nitrogênio aplicada. Apesar disso, não se pode inferir que a redução da atividade enzimática, como consequência do efeito acidificante do fertilizante, afeta negativamente a liberação de nitrogênio da palha. Inclusive, aos 100 dias, os teores de N total por tratamento aumentaram linearmente ($p < 0,01$) no manejo com aplicação de palha (**figura 11E**), em função das doses de nitrogênio aplicadas.

6.7 Liberação de K da palha

Aos 50 dias, em torno de 93% do potássio presente na palha já havia sido extraído da palha de café, ao passo que nos tratamentos com aplicação de palha mais nitrogênio, 98% do potássio já havia sido liberado no mesmo período (**figura 15A**). Aos 100 e 150 dias após o início do experimento, em todos os tratamentos, 100% do potássio presente na palha já havia sido lixiviado (**figura 15B**).

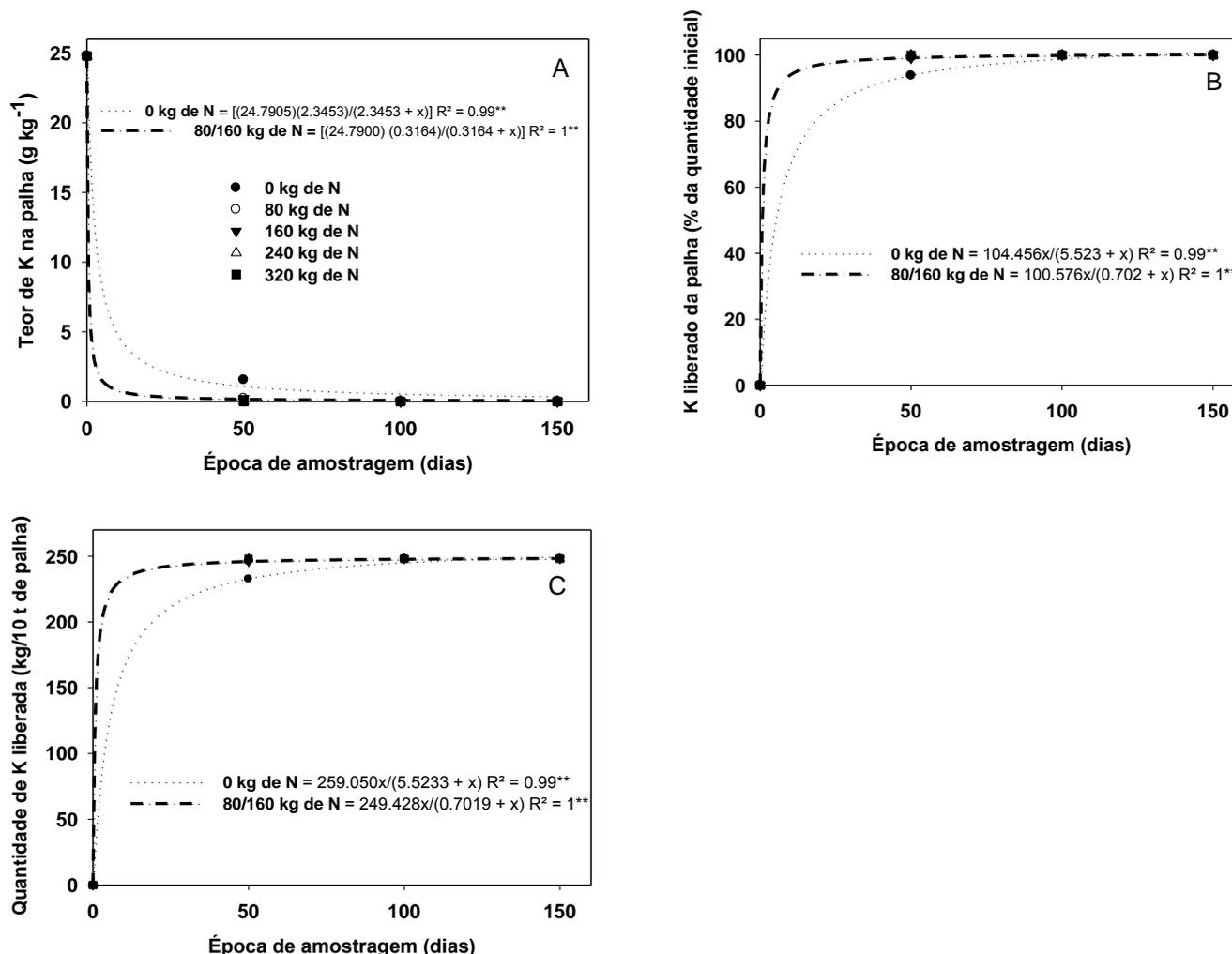


Figura 15. Teor de K na palha remanescente (A); porcentagem de liberação em relação ao teor inicial (B) e simulação da quantidade de K liberada de 10 t de palha (C). **significativo ($p < 0,01$); *significativo ($p < 0,05$) e NA (Não ajustou-se ao modelo).

No presente estudo, a aplicação de 10 toneladas de palha de café por hectare teve como objetivo simular a aplicação de 300 kg ha^{-1} de K_2O para o cafeeiro. Essa quantidade corresponde à exigência de K pelo cafeeiro MALAVOLTA (1986). Assim, a **figura 15 C** representa uma simulação da quantidade de K, em 10 t de palha, liberada ao longo das três épocas de avaliação.

Aos 50 dias, a maior quantidade de potássio remanescente na palha foi observada no tratamento sem aplicação de nitrogênio - dos 247,9 kg de K aplicados (em 10 toneladas de palha) - 15,3 kg de K ainda não havia sido liberados da palha aos 50 dias. A liberação do potássio da palha foi acelerada em aproximadamente 5,4 % quando a palha

foi aplicada em combinação com as duas menores dose de N (80 e 160 kg ha⁻¹ de N); ou seja, aos 50 dias, na palha remanescente nestes tratamentos ainda não havia sido liberados 2,0 kg de K. Nos tratamentos em que foram aplicadas as doses 240 e 320 kg ha⁻¹ de N, todo o potássio presente na palha remanescente já havia sido liberado na mesma época de amostragem (**figura 15 C**).

Certamente as doses de N aplicadas tiveram um efeito positivo na liberação de K da palha. Entretanto, mesmo a aplicação de 10 toneladas de palha, sem aplicação de nitrogênio, poderia implicar em perdas significativas de potássio em uma condição de solo arenoso e plantas com sistema radicular pouco desenvolvido, uma vez que de acordo com a simulação feita, 232,6 kg de K já haviam sido liberados nos primeiros 50 dias após o início do experimento.

6.7.1 Tempo para liberação de 50% do potássio

A **figura 16** apresenta o tempo para liberação de 50% do potássio presente na palha, o que de acordo com a simulação feita na **figura 15C**, corresponderia ao tempo para liberação da quantidade de 123,9 kg. Nas condições do presente estudo, observou-se que o tempo para liberação de 50% da quantidade do potássio presente em 10 t ha⁻¹ de palha é reduzindo em 75% quando a palha de café é aplicada com 80 kg ha⁻¹ de N.

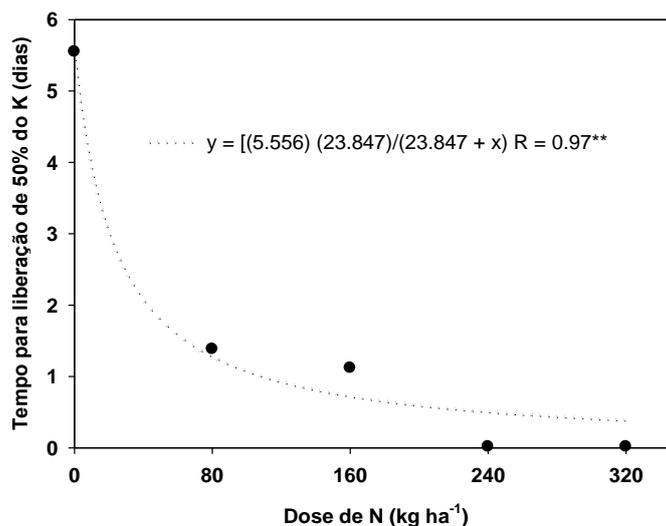


Figura 16. Tempo para liberação de 50% do potássio presente na palha em função das doses de nitrogênio. **significativo ($p < 0,01$).

Quando 10 t ha^{-1} palha é aplicada na ausência de N, o tempo para liberação de 50% da quantidade de potássio presente na palha foi de 5,5 dias. Quando a mesma quantidade de palha é aplicada em combinação com 80, 160 e 240 kg ha^{-1} de N na forma de nitrato de amônio, o tempo para liberação de 50% da quantidade de potássio é de 1,38, 1,12 e 0,02 dias, respectivamente. O tempo para liberação de 50% do K presente em 10 t ha^{-1} de palha, quando aplicada com 320 kg ha^{-1} de N, também é igual a 0,02 dia.

Sabe-se que na planta o K não faz parte de nenhuma estrutura ou molécula orgânica, sendo encontrado como cátion livre ou adsorvido, o que o torna facilmente trocável das células ou dos tecidos, com alta mobilidade intracelular (RODRIGUÊS & PEREIRA, 2008; MARSCHNER, 1995). Por este motivo, o K é relativamente fácil de ser extraído do tecido vegetal. Malavolta (1980) relatou que 80 % do K do tecido vegetal seria passível de lavagem, pelo fato de tal elemento encontrar-se quase que totalmente na forma solúvel.

Moraes & Arens (1969) constataram que houve lixiviação de potássio de folhas de plantas cultivadas quando imersas em água, evidenciando que tal fato pode ocorrer em condições de campo, em função de chuvas e orvalho. Rosolem et al. (2003) submeteram resíduos vegetais de seis espécies de planta de cobertura a diferentes quantidades de chuva aplicada e observaram que a taxa máxima de liberação de K depende muito da espécie, variando de $200 \text{ a } 650 \text{ g ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, com chuvas entre 10 e 20 mm. No presente estudo, em 5,5 dias foram realizadas duas regas de 64,24 mm, somando 128,5 mm, que é o suficiente para lixiviação de 50% do potássio presente na palha, quando está foi aplicada na ausência de nitrogênio.

Sabe-se que de 60 a 70% da necessidade do cafeeiro pelo K deve ser alocada até os meses de novembro/dezembro (FAVARIN et al., 2010). Assim, a aplicação das doses de nitrogênio na forma de nitrato de amônio (em combinação com a palha), pode ser particularmente importante em condições de baixa pluviosidade e aplicações tardias da palha visando a adubação potássica para o cafeeiro, uma vez que o nitrato de amônio aceleraria o processo de liberação do K da palha.

6.8 Potássio no solo

Aos 50 dias, os teores de potássio no solo, nos sistemas de manejo com e sem aplicação de palha estão apresentados, respectivamente, na **figura 17A e B**.

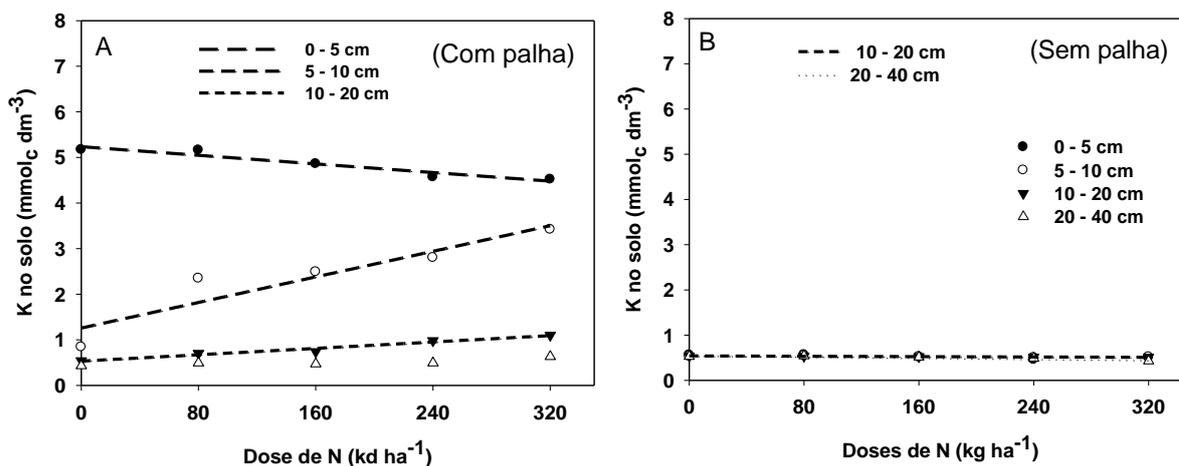


Figura 17. Teores de K no solo, aos 50 dias, nas diferentes profundidades no manejo com (A) e sem (B) aplicação de palha; (Com palha) manejo com aplicação de palha e (Sem palha) manejo sem aplicação de palha.

No manejo com aplicação de palha, os teores de K no solo na profundidade 0 - 5 cm, decresceram linearmente ($p < 0,01$) em função das doses nitrogenadas aplicadas. Por outro lado, no mesmo sistema de manejo, observou-se aumento linear ($p < 0,01$) dos teores de K nas profundidades 5 - 10 e 10 - 20 cm, com as doses de nitrogênio. Não houve ajuste linear ou quadrático para os teores de potássio no solo na profundidade 20 - 40 cm (**figura 17A**).

No manejo sem aplicação de palha, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio nos teores de K nas profundidades 0 - 5 e 5 - 10 cm (**figura 17B**); já os teores de K nas profundidades 10 - 20 e 20 - 40 cm decresceram linearmente ($p < 0,05$) em função das doses de nitrogênio.

Sabe-se que uma das condições indispensáveis à lixiviação de cátions no solo é a presença de ânions solúveis, tais como Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} , OAc^- , OFor^- e HCO_3^- (ROSOLEM et al., 2006). Assim, em ambos os sistemas de manejo, certamente o nitrato contribuiu para a lixiviação do K no perfil do solo.

Aos 100 dias, os teores de potássio no solo, nos sistemas de manejo com e sem aplicação de palha estão apresentados, respectivamente, na **figura 18A e B**.

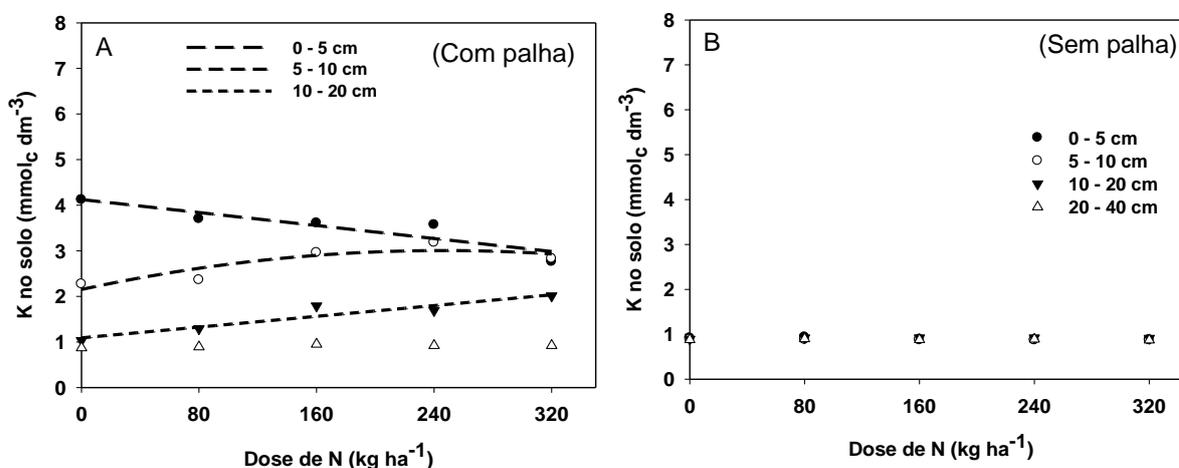


Figura 18. Teores de K no solo, aos 100 dias, nas diferentes profundidades no manejo com (A) e sem (B) aplicação de palha; (Com palha) manejo com aplicação de palha e (Sem palha) manejo sem aplicação de palha.

No manejo com aplicação de palha, os teores de K no solo tiveram comportamento semelhante aos observados aos 50 dias, ou seja, na profundidade 0 - 5 cm, os teores de K no solo decresceram linearmente com as doses de nitrogênio. Nas profundidades 5 - 10 e 10 - 20 cm, os teores médios de K aumentaram linearmente ($p < 0,01$), em função das doses de nitrogênio aplicadas. Não houve ajuste linear ou quadrático ($p < 0,05$) para os teores de K na profundidade 20 - 40 cm (**figura 18A**).

Apesar da evidente movimentação do K no perfil do solo, tanto aos 50 e 100 dias, em média, os teores de K na profundidade 20 - 40 cm não foi superior à $0,92 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. De acordo com Alves (2008), de 40 - 60% das raízes do cafeeiro estão localizadas até a profundidade de 60 cm. Portanto, o aumento dos teores de K nas profundidades 10 - 20 e 20 - 40 cm, em consequência do processo de lixiviação, poderia não representar perdas significativas do potássio para profundidades fora do alcance do sistema radicular.

No sistema de manejo sem aplicação de palha, não houve efeito significativo das doses de nitrogênio nos teores de potássio no solo, nas diferentes profundidades avaliadas (**figura 18B**).

A **figura 19A e B** apresenta, respectivamente, os teores de K no solo no manejo com e sem aplicação de palha, aos 150 dias.

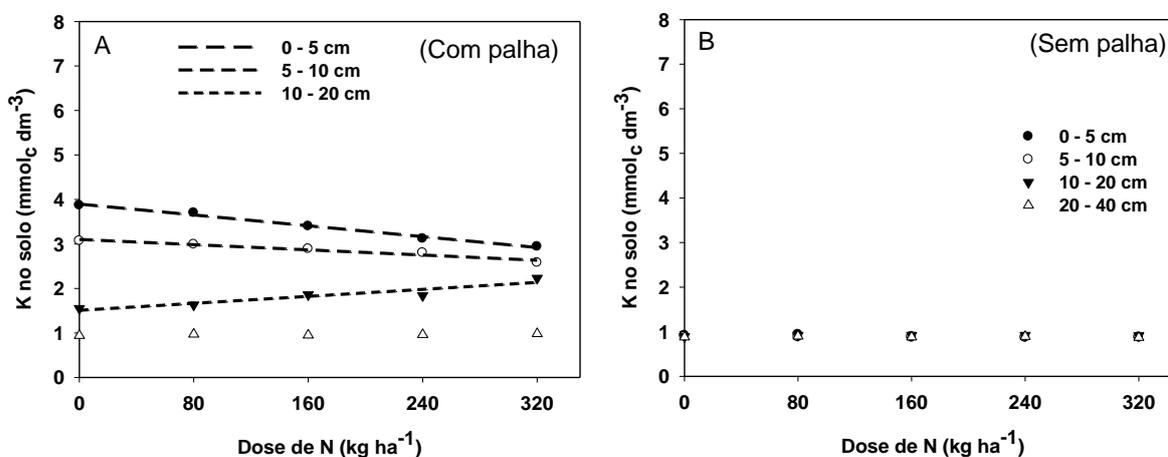


Figura 19. Teores de K no solo, aos 150 dias, nas diferentes profundidades no manejo com (A) e sem (B) aplicação de palha; (Com palha) manejo com aplicação de palha e (Sem palha) manejo sem aplicação de palha.

No sistema de manejo com aplicação de palha, os teores de K nas profundidade 0 - 5 e 5 - 10 cm decresceram linearmente ($p < 0,01$) com as doses de nitrogênio aplicadas; já os teores de potássio na profundidade 10 - 20 cm aumentaram linearmente ($p < 0,01$) com o aumento das doses de nitrogênio. Não foi observado efeito significativo ($p < 0,05$) das doses de nitrogênio nos teores de K na profundidade 20 - 40 cm (**figura 19A**). No manejo sem aplicação de palha (**figura 19B**), em todas as profundidades avaliadas, não foi observado efeito significativo das doses de nitrogênio aplicadas nos teores de K no solo.

A lixiviação de K em profundidade no solo é proporcional à chuva aplicada (ROSOLEM et al., 2006) e a quantidade de água que percola no perfil do solo (ERNANI et al., 2007). Neste estudo, independente do sistema de manejo, ao final do experimento já havia sido simulada a precipitação de 1285 mm. Esse volume de precipitação explicaria a redução dos teores de K nas profundidades 0 - 5 e 5 - 10 cm (**figura 19A**).

Os teores de K avaliados no presente ensaio correspondem à situação em que não houve o cultivo de nenhuma espécie vegetal. Considerando que estes mesmos tratamentos fossem aplicados na cultura do cafeeiro, provavelmente, os teores de

K nas diferentes profundidades seriam inferiores aos observados neste estudo, uma vez que ocorreria absorção radicular deste elemento. Além disso, o nitrogênio aplicado em conjunto com a palha, além de favorecer o processo de liberação de K, poderia também contribuir para o desenvolvimento do sistema radicular e, como consequência, aumentar o potencial de absorção do potássio, o que reduziria as perdas deste elemento.

Vale resaltar que a aplicação de doses de N acelerou a liberação de K da palha. Apesar disso, em condições de solo arenoso e sistema radicular pouco desenvolvido, pode-se ter baixa eficiência agrônômica com a aplicação de doses de N - visando apenas a liberação do K da palha - uma vez que este processo ocorre de forma bastante rápida, até mesmo quando a palha é aplicada na ausência de doses de N.

6.9 Quantidade de potássio na solução

Nas **figuras 20 A e B** estão apresentadas, respectivamente, as quantidades de K avaliadas por semana na solução lixiviada dos manejos com e sem aplicação de palha.

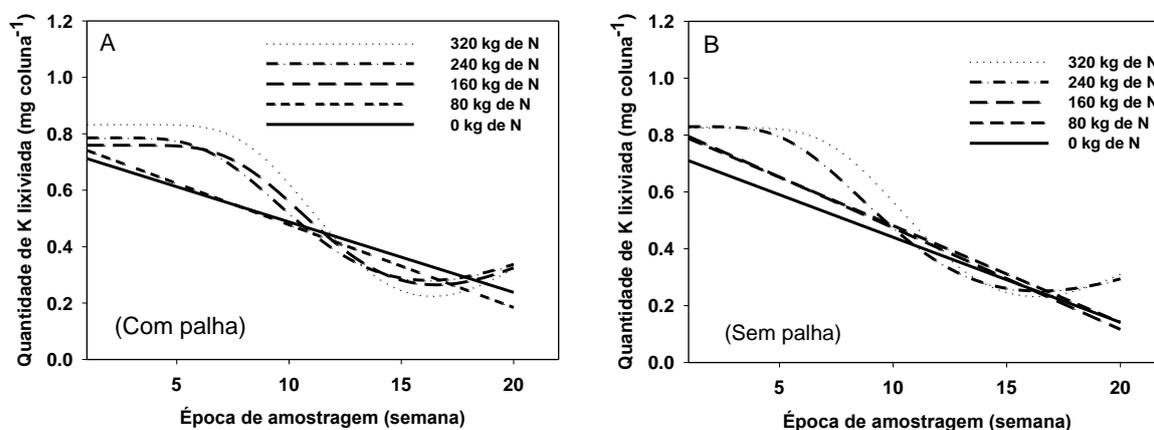


Figura 20. Teores de K acumulado na solução lixiviada ao longo de 20 semanas; manejo com (A) e sem (B) aplicação de palha.

A quantidade de potássio lixiviada para profundidades superiores a 40 cm, no tratamento sem aplicação de nitrogênio (apenas palha), somente foi superior aos demais tratamentos em que se aplicou palha mais N em torno da 12^a/13^a semana (**figura 20A**), o que demonstra a influência do nitrogênio na lixiviação do potássio.

No tratamento em que se aplicou 80 kg ha⁻¹ de N mais palha, a lixiviação de K para profundidades superiores a 40 cm decresceu linearmente ($p < 0,01$) ao longo do período de condução do experimento. De acordo com Favarin et al. (2010), a adubação potássica na cafeicultura pode ser feita em três aplicações, nas mesmas épocas de aplicação da adubação nitrogenada; com início antes do florescimento, por volta de agosto/setembro. Provavelmente, este mesmo período deve coincidir com o período de maior disponibilidade de palha na propriedade. Dessa forma, a aplicação de 10 toneladas de palha mais 80 kg ha⁻¹ de N, além de disponibilizar 136 kg de N total para cultura - em relação às demais doses - favorece menor velocidade de lixiviação do K para profundidades superiores a 40 cm.

A lixiviação de nutrientes para profundidades até 50 cm não deve representar importantes perdas para a cultura do cafeeiro em produção, uma vez que de 40 - 50% das raízes se localizam até essa profundidade (ALVES, 2008). Entretanto, as aplicações das doses 240 e 320 kg ha⁻¹ de N mais palha, além de ocasionar custo adicional com fertilizante nitrogenado, poderia acelerar o carreamento de potássio pelo NO₃⁻ para profundidade superior a 60 cm, o que aumentaria os ricos de perdas tanto do K quanto do N.

Sabe-se que todos os solos em maior ou menor grau, apresentam K em formas não-trocáveis, ou não extraídas convencionalmente para avaliar a disponibilidade de K (WERLE et al., 2008). Estas formas de K no solo podem suprir as plantas de modo indireto, repor o K trocável ou ser absorvidas por algumas espécies (MEURER & ANGHINONI, 1993; VEDUIN, 1994).

No presente estudo, não se cultivou nenhuma espécie vegetal que poderia absorver o K da solução do solo e, como consequência, favorecer a liberação de K de formas-trocáveis. Entretanto, a aplicação de 64,25 mm semanalmente lixiviou o potássio da solução do solo, alterando assim o equilíbrio existente entre as formas de K; tal fato favoreceu a liberação de K de formas não-trocáveis. Essa reposição de K na solução por formas não-trocáveis explicaria a quantidade de K lixiviada dos tratamentos sem aplicação de palha ser semelhante à quantidade dos tratamentos com aplicação de palha (**figura 20A e B**).

É evidente o potencial que a palha de café apresenta para ser utilizada como uma fonte orgânica de potássio e nitrogênio. No presente estudo, a aplicação combinada de palha e doses de N teve um efeito positivo na liberação de K da

palha, entretanto, estudos futuros podem ser realizados afim de se esclarecer a dose adequada de palha a ser aplicada em função da textura do solo.

Neste estudo, aos 150 dias, foi observado uma tendência de aumento na concentração de N na palha remanescente. Além disso, somente aos 100 dias foi observado efeito significativo das doses de N no teor de N total por tratamento no solo, no manejo com aplicação de palha. Dessa forma, estudos futuros poderiam também determinar os possíveis efeitos negativo dos compostos fenólicos no início do processo de mineralização do nitrogênio presente na palha.

7. CONCLUSÕES

A aplicação de nitrogênio acelera a liberação de potássio da palha de café. A lixiviação do potássio, nas camadas superficiais do solo, é proporcional à dose de fertilizante nitrogenado aplicada.

Independente do manejo, com ou sem aplicação de palha, há redução da atividade da enzima Amidase no solo de acordo com o aumento das doses de nitrato de amônio. No manejo com aplicação de palha, a atividade da L-Asparaginase também é reduzida com as doses do mesmo fertilizante. Apesar destes fatos, a mineralização de nitrogênio da palha não é afetada pela redução da atividade enzimática; além de ser pouco dependente da dose aplicada.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-MARTINEZ, V.; TABATABAI, M. A. Enzyme activities in a limed agricultural. **Soil. Biol. Fertil Soils** 31: 85–91, 2000.

AGUIRRE, B. F. La utilización industrial del grao de café y de sus productos. Guatemala, Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial (**Investigaciones Tecnológicas del ICAITI**). no. I, 43p. 1976.

ALEF, K.; NANNIPIERI, P.; TRAZAR-CEPADA, C. Phosphatase activity. In: Alef, K., Nannipieri, P. (Eds.), **Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry**. Academic Paris, London, p. 335–344, 1995.

ALVES, J. D. Morfologia do Cafeeiro. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed). **Cultivares de Café, origem, características e recomendações**. Embrapa Café. Brasília. p. 35 - 56. 2008.

ALVES, R. N. et al. Relação entre qualidade e liberação de N por plantas do semiárido usadas como adubo verde. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.15, n.11, p.1107–1114, 2011, Campina Grande, PB.

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-BA. **Anais do III Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, Porto Seguro, 2003.

- BAHL, O. P.; AGRAWAL, K. M. L. Galactosidases, glucosidase, and-N-acetylglucosaminidase from *Aspergillus niger*. In: Ginsburg, V. (Ed.), **Methods in Enzymology**, Vol. 28. Academic Press, New York, pp. 728–734, 1972.
- BENITES, V. M. et al. Potássio, Cálcio e Magnésio. In: Simpósio sobre Boas Práticas para Uso Eficiente de Fertilizantes (2009: Piracicaba, SP) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**; v. 2 anais. Edição de Luis Ignácio Prochnow, Valter Casarin e Silvia Regina Stipp. Piracicaba: IPNI - Brasil, 2010. 362 p. :il. Cap. 3 p. 133-206.
- BRADY, N.C. Suprimento e assimilabilidade de fósforo e potássio. In: BRADY, N.C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1989. p.373- 413.
- BRAY, H.G et al. The fate of certain organic acids and amides in the rabbit. **Biochem. J.** 44:618-625, 1949.
- BREMNER, J. M. A review of recent work on soil organic matter. **Int. J. Soil Sci.** 2:67-82, 1951.
- BREMNER, J. M. and KEENEY, D.R. “Steam distillation methods for determination of ammonium, nitrate and nitrite”, **Anal Chim. Acta**, 32, 485-495, 1965.
- BRESSANI, R. The by-products of coffee berries, p. 5-10. In J. E. Braham and R. Bressani (ed.), **Coffee pulp: composition, technology, and utilization**. IDRC Publ. 108e. International Development Research Centre, Ottawa, 1979.
- BROADBENT, F. E. Plant use of soil nitrogen. In R. D. Hauch (ed.) **Nitrogen in crop production**. ASA, Madison, WI. p. 171-182, 1984.
- BRUM, S. S. Caracterização e modificação química de resíduos sólidos do beneficiamento do café para produção de novos materiais. 2007. 138 f. **Dissertação**. Lavras: UFLA, 2007.
- CAMERON, K. C.; D.I, H. J.; MCLAREN, R. G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? **Aust. J. Soil Res.**, 1997, 35, 995-1035.
- CANNELL, M. G. R. Crop physiology aspects of coffee bean yield: a review. **Journal of Coffee Research**, Kamataka, v. 5, no. 1 - 2, p. 7 - 20, 1975.
- CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F. et al . 2007. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa, SBCS, 2007. p.375-470.
- CANTARELLA, H.; TABATABAI, M.A. Amides as sources of nitrogen for plants. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 47, p 599–603, 1983.
- CANTARELLA, H.; MONTEZANO, Z. F. Nitrogênio e enxofre. In: PROCHNOW, L.I.; CASARIN, V.; STIPP, S.R. (Ed.) **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes: nutrientes**. v.2. Piracicaba: IPNI – Brasil, 2010. 362p.

- CARVAJAL, J. F. 1959 Mineral nutrition and crop requirements of the coffee crop. Ministerio Agricultura y Ganaderia (MAG)-Servico Técnico Interamericano de Cooperation Agricola (Stica) **Techn. Bull.** No. 9. San José. Costa Rica 16p (In Spanish).
- CARVAJAL, J. F. Cafeto-Cultivo y Fertilización, 2nd edn. Instituto Internacional de la Potasa, Berna, 1984.
- CASTRO, S. de F. Valor de La pulpa de café como abon. **Boletín Informativo.** Suplemento No. 5. Instituto Salvadoreño de Investigaciones Del Café. /santa Tecla, El Salvador, C./a. Dic., 1960.
- CATANI, R. A.; MORAES, F. R. P. A composição química do cafeeiro. **Rev. de Agric.** 33:45-52, 1958.
- CHIAPINOTTO, I. C. Decomposição de resíduos culturais de aveia e dejetos de suínos em sistema plantio direto. 2003, 61 f. **Dissertação** (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.
- CLARKE, P.H. The aliphatic amidases of *Pseudomonas aeruginosa* **Adv. Microb. Physiol.** 4: p.179-222, 1970.
- COCAPEC- COOPERATIVA DE CAFEICULTORES E AGROPECUARISTAS, 2011. **Revista online** disponível em:
http://cocapec.tempsite.ws/site/pagina.asp?lang=pt_BR&tipo=pagina&codigo_pagina=19,
 acessada em 13/04/2011.
- 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: I Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil. Poços de Caldas, **Anais...** Poços de Caldas. Embrapa: 2000. p. 1393-1395.
- CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. **Soil Biol. Biochem.**, 26:49-55, 1994.
- COOIL, B. J.; FUKUNAGA, E. T. Mineral Nutrition of coffee. II Intensive fertilizer application and its effects. In: **Progress in Coffee Production Techniques**, p 91-92. Interamerican Institute of Agricultural Sciences, Turrialba. Costa Rica. 1959.
- CORREIA, M. E. F.; ANDRADE, A. G. Formação de serapilheira. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre, Genesis, 1999. p.197-225.
- DICK, R.P.; BREAKWILL, D.; TURCO, R. Soil enzyme activities and biodiversity measurements as integrating biological indicators. In: Doran, J.W., Jones, A.J. (Eds.), Handbook of Methods for Assessment of Soil Quality. **Soil Sci. Soc. Am.**, Madison, p. 247–272, 1996.
- DIEROLF, T. S; ARYA, L. A.; YOST , R. S. Water and cation movement in Indonesian Ultisol. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, no. 4, p. 572 - 579, 1997.

DROBNI'K, J. 1956. Degradation of asparaginase by the soil enzyme complex. *Cesk. Mikrobiol.* 1L47.

EDWARDS, S. S. Central America: fungal fermentation of coffee waste, p. 329-342. In D. Evans and L. Adler (ed.), **Appropriate technology for development: a discussion and case histories**. Westview Press, Boulder, 1979. Colo.

ERNANI, P. R. ; SANGOI, L. ; RAMPAZZO, C. Lixiviação e imobilização de nitrogênio num Nitossolo como variáveis da forma de aplicação da uréia e da palha de aveia . **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n.4, p. 993-1000, 2002.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, A. J.; SANTOS, F. C. Potássio. In: **Fertilidade do Solo**, NOVAIS, R.F. et al. 1017p. (eds.). SBCS, Viçosa, 2007. p. 552 - 589.

FALCO, L et. al. Uso de matéria orgânica na implementação de lavoura cafeeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 25., Franca - SP, **Anais...** Rio de Janeiro: MAA/PROCAFÉ. 1999. p. 164-166.

FAVARIN, J. L et al. Cafeeiro. In: **Boas Práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Prochnow, L. I. Casarin, V. Stipp, S. R. (eds). IPNI, p. 413-457, 2010.

FIGUEREDO, G. C. Movimentação de cálcio de diferentes fontes adicionadas em colunas de dois Latossolos. 2006. 72 f. **Dissertação** (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

FLORKIN, M.; E.H. STOTZ. In: **Comprehensive biochemistry**. Vol. 13. Elsevier North-Holland, New York, p. 126-134, 1964.

FRANCHINI, J.C. et al. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, 231:55- 63, 2001.

FRANKENBERGER, W. T. Jr., and M.. A. TABATABAI. 1991a. Factores affecting L-sparaginase activity in soils. **Biology and Fertility of Soils**. 11, 1-5.

FRANKENBERGER, W. T. Jr., and M.. A. TABATABAI. 1991b. Factores affecting L-Glutaminase activity in soils. **Soil Biology and Biochemistry**. 23, 875-879.

FRANKENBERGER, W.T., Jr., and M.A TABATABAI. 1985. Characteristics of an amidase isolated from a soil bacterium. **Soil Biol. Biochem.** 17:303-308.

FRANKENBERGER, W.T., Jr. Amidase Activity in Soils. Iowa State University, Ames, Iowa, 1980, (**Tese de doutorado**).

FRANKENBERGER, W.T., Jr., and M.A. TABATABAI. 1980a. Amidase activity in soils: I. Methods of assay. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 44:282-287.

- FRANKENBERGER, W.T., Jr., and M.A. TABATABAI. 1980b. Amidase activity in soils: II. Kinetic parameters. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 44:532-536.
- FRANKENBERGER, W.T., Jr.; M. A. TABATABAI. 1981a. Amidase activity in soils: III. Stability and distribution. **Soil Sci. Soc. Am. J.**45:333-338.
- FRANKENBERGER, W.T., Jr., and M.A. TABATABAI. 1981b. Amidase activity in soils: VI. Effects of trace elements and pesticides. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 45:1120-1124.
- 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 CAFEIRAS, 10, Poços de Caldas. 1983. Varginha. PROCAFÉ p. 282-284.
- 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 CAFEIRAS, 30., 2004, São Lourenço. **Trabalhos apresentados**. Varginha: PROCAFÉ, 2004. Pag. 63-64.
- HARRISON, R.; WEBB J. A review of the effect of N fertilizer type on gaseous emissions. **Advances in Agronomy** 71, 65-108, 2001.
- HÄTTENSCHWILER, S.; VITOUSEK, P. M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. **Tree**, v.15, p.238-243, 2000.
- HYNES, M. J. Induction and repression of amidase enzymes in *Aspergillus nidulans*. **J. Bacteriol.** 103:482-487, 1970.
- HYNES, M. J. Amide utilization in *Aspergillus nidulans*. Evidence for a third amidase enzyme. **J. Gen. Microbiol.** 91:99-109, 1975.
- IVARSON, K. C., and F. J. SOWDEN. Effect of freezing on the free amino acids in soil. **Can. J. Soil Sci.** 46: 115-120, 1966.
- JAMA, B. A. & NAIR, P. K. R. Decomposition and nitrogen-mineralization patterns of *Leucaena leucocephala* and *Cassia siamea* mulch under tropical semiarid conditions in Kenya. **Plant Soil**, 179:275-285, 1996.
- JENSEN, E. S. Dynamics of mature pea residues nitrogen turnover in unplanted soil under field conditions. **Soil Biology and Biochemistry**, 26, 455-464, 1994a.
- JOSHI, J.G., and P. HANDLER. Purification and properties of nicotinamidase from *Torula cremoris*. **J. Biol. Chem.** 237:929-935, 1962.
- KANDELER, E.; POLL, C.; FRANKENBERGER, W. T. Jr.; M. A. TABATABAI. Nitrogen Cycle Enzymes. In: Dick, R.P. (Eds) **Methods of Soil Enzymology**. Soil Science Society of America (SSSA), Madison, Wisconsin, USA, 2012.

KELLY, M., and P. H. CLARKE. 1962. An inducible amidase produced by strain of *Pseudomonas aeruginosa* **J. Gen. Microbiol.** 27:305-316.

KIRCHMANN, H. and THORVALDSSON, G. 2000. Challenging targets for future agriculture. *European Journal of Agronomy*, 12, 145–161. Vanlauwe, B., Wendt, J. & fertility in West Africa (eds G. Tian, F. Ishida & J.D.H. Keatinge), pp. 247–279. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI.

KISS, S., DRAGAN-BULARDA, M., RADULESCU, D. Biological significance of enzymes in soil. **Adv. Agron.** 27, 25–91, 1975.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Características físicas e químicas do solo afetadas por métodos de preparo e modos de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.19, p.395- 401, 1995.

KUPPER, A. 1976. Monthly nitrogen use by coffee and form and timing for fertilizer nitrogen use . In Summary, 4th Brazilian Congress on Coffee Res., pp 215-217. Caxambu, MG Brasil (in Portuguese).

LADD J. N. (1978) Origin and range of enzymes in soil. In **Soil Enzymes** (R. G. Burns, Ed.), pp. 51-96. Academic Press, London.

LAMBAIS, R.M. 1992. Poluição Orgânica e seu Controle. In **Microbiologia do solo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 360p.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. Ed. Ceres, 2004. 631p.

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

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., et al. Metodologia para Análise de Elementos em Material Vegetal do livro, **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., ver. e atual. Piracicaba : POTAFOS, 1997.

MALAVOLTA, E.; FERNANDEZ, D. R.; ROMERO, J. P. Seja doutor do seu cafezal. **Informações Agrônomicas**, Campinas, v. 64, p. 1-13, 1993.

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

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: macronutrients. In: MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. p.231-255.

MATIELO, J. B. **O café do cultivo ao consumo**. São Paulo: globo, 1991. P. 320.

- MATTA-MACHADO, R.P.; NEELY, C.L. & CABRERA, M.L. Plant residue decomposition and nitrogen dynamics in an alley cropping and an annual legume-based cropping system. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 25:3365-3378, 1994.
- McDONAGH, J.F. et al. Grain legumes and green manures as pre-rice crops in Northeast Thailand. II. Residue decomposition. **Plant Soil**, 177:127-136, 1995.
- MCLEAN, E.D. and 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.
- MEURER, E.J. & ANGHINONI, I. Disponibilidade de potássio e sua relação com parâmetros de solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 17:375-382, 1993.
- MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.281-298.
- MORAES, J.A.P.; ARENS, K. Eliminação de potássio pelas folhas em dependência da luz e obscuridade. **Ciência Cultural**, n.21, 728-370, 1969.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**, 2º ed, Lavras, 2006.
- NACHTIGALL, G.R. & VAHL, L.C. Capacidade de suprimento de potássio dos solos da região do Rio Grande do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 15:37-42, 1991.
- NICOLARDOT, B. et al. 1995. Decomposition of ¹⁵N-labelled catch-crop residues in soil: evaluation of N mineralization and plant-N uptake potentials under controlled conditions: **European Journal of Soil Science**, 46, 115-123.
- PALM, C.A. and ROWLAND, A.P. 1997. A minimum dataset for characterisation of plant quality for decomposition. In: **Driven by nature: plant litter quality and decomposition** (eds G. Cadisch & K.E. Giller), pp. 379–392. CAB International, Wallingford.
- PALM, C.A. and SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. **Soil Biol. Biochem.**, 23:83-88, 1991.
- PAVINATO, P.S. Dinâmica do fósforo no solo em função do manejo e da presença de resíduos em superfície. Botucatu, Universidade Estadual Paulista, 2007. 145p. (**Tese de Doutorado**).
- POCKNEE, S. and SUMNER, M. E. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 61, 86-9. 1997.
- PRADO, R.M. & NASCIMENTO, V.M. **Manejo da adubação do cafeeiro no Brasil**. Ilha Solteira, UNESP/FEIS, 2003. 274p.

- PREETHU, D. C. et al. 2009. Bio-chemical changes during composting of coffee wastes with different substrates. **Environment and Ecology**. Vol. 27 No. 1A pp. 403-406.
- RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agronômico, 2001. 285 p.
- RENA, A.B. & MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B. et al. eds. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade do cafeeiro**. Piracicaba, Potafos, 1987. p.13-85.
- RODRIGUÊS, J. L. T & PEREIRA, M. G. Dinâmica do potássio nos resíduos vegetais de plantas de cobertura no cerrado. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:1609-1618, 2008.
- 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**, v.27, p.355-362, 2003.
- ROSOLEM, C.A et al. 2006 Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1033-1040.
- SÁNCHEZ G et al. 1999. Accelerated coffee pulp composting. **Biodegradation** 10: 35–41.
- SANSONOWICZ, C. and MIELNICZUK, J. Distribuição de potássio no perfil de um solo influenciado pela planta, fontes e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 9, p. 45-50, 1985.
- SEDIYAMA, M.A. et al. Nutrientes em compostos orgânicos de resíduos vegetais e dejetos de suínos. *Sci. agric.*, Piracicaba, v. 57, n. 1, Mar. 2000. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-90162000000100030&script=sci_arttext. Acessada em 14 de março de 2011.
- SENWO, Z. N. and TABATABAI, M. A. Aspartase Activity of soil: effects of trace elements and relationships to other amidohydrolases. **Soil Biol. Biochem.** 31, 213-219. 1999.
- SENWO, Z. N. and TABATABAI, M. A. Aspartase activity of soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.** 60, 1416–1422. 1996.
- SILVA, J. E. and RITCHEY, K. D. Acumulação diferencial de potássio em oxissolos devido à lavagem do nutriente das plantas de milho para o solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.183-188, 1982.
- SINGLETON, V. L. and 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.
- SNOECK, D. and VAAST, P. **Importance of Organic Matter and Biological Fertility in Coffee Soils**. Edition. Wiley, 2004, 371-383.

- SOUZA, D. M. G.; MIRANDA, L. N.; OLIVEIRA, S. A. Acidez do solo e sua correção. In: **Fertilidade do Solo**, 1017p. (eds.) NOVAIS, R. F. et al. SBCS, Viçosa, 2007. p. 206 - 268.
- SOWDEN, F. J. The forms of nitrogen in the organic matter of different horizons of soil profiles. **Can J. Soil Sci.** 38:147-154, 1958.
- SPARKS, D.L.; HUANG, P.M. Physical chemistry of soil potassium. In: MUNSON, R.D. (Ed.). **Potassium in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1985. p.201-276.
- STEVENSON, F. J. 1994. **Humus chemistry: Genesis, composition, reactions**, 2nd ed. New York: Wiley.
- TABATABAI, M. A. Enzymes. In: WEAVER, R.W. et al. eds. **Methods of soil analysis**. Microbial and biochemical properties. Madison, Soil Science Society of America, 1994. Part 2. p.775-833.
- VAN SOEST, P. J.; WINE, R. H. Use of detergents in the analysis of fibrous feeds. IV. Determination of plant cell wall constituents. **Journal of the Association Official of analytical Chemists**, Arlington, v. 50, p. 50-55, 1967.
- 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-PR. **Anais... IAPAR/UFPR/IRD**, Londrina, 1999.
- VANLAUWE, B., WENDT, J. AND DIELS, J. (2001) Combined application of organic matter and fertilizer. In: **Sustaining Soil Fertility in West-Africa** (Eds G Tian, F Ishida and J D H Keatinge), SSSA Special Publication Number 58, Madison.
- VEDUIN, J.V.R. Estimativa da disponibilidade de potássio em solo arenoso. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1994. 43p. (**Dissertação de Mestrado**).
- WEAVER, R.W., Angle, J.S., Bottomley, P.S., 1994. **Methods of Soil Analysis**. Part 2. Microbiological and Biochemical Properties, No. 5. Soil Sci. Soc. Am., Madison.
- WERLE, R.; GARCIA, A.R. & ROSOLEM, C.A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 32:2297-2305, 2008.
- WRIGLEY, G. Coffee. **Tropical Agriculture Series**. Longman, London, 1988.
- WRISTON, J.C., Jr. L-Asparaginase. In P.D. Boyer (Ed.). **The enzymes**. Vol.4. Academic Press, New York. P.101-121. 1971.
- XU, X. C.; FU, M. H, and TABATABAI, M. A. Effect of pH on nitrogen mineralization in crop-residue-treated soils. **Biol. Fertil. Soils** 5, 115–119. 1987.

9. APENDECE I

Tabela 2. Equações das curvas ajustadas para a decomposição da palha de café nos três períodos de amostragem e porcentagem da massa de matéria seca da palha decomposta ao longo dos três períodos de amostragem, (Figura 1A e B).

Tratamentos kg ha ⁻¹ de N	Palha remanescente (t ha ⁻¹)	
	R	Equações
0	R = 0,96*	y = 9,7186e ^(-0,0121x)
80	R = 0,93*	y = 9,6117e ^(-0,0113x)
160	R = 0,99**	y = 9,9473e ^(-0,0124x)
240	R = 0,95*	y = 9,7327e ^(-0,0117x)
320	R = 0,96*	y = 9,7866e ^(-0,0133x)
Porcentagem de decomposição		
0	R = 0,99**	y = (98,1531x)/(40,3395 + x)
80	R = 0,99**	y = (88,0445x)/(29,4331 + x)
160	R = 0,99**	y = (107,6338x)/(58,4385 + x)
240	R = 0,99**	y = (94,9891x)/(38,4988 + x)
320	R = 0,99**	y = (98,8715x)/(36,8486 + x)

Doses de N em combinação com 10 t ha⁻¹ de palha. **Significativo (p<0,01); * Significativo (p<0,05).

Tabela 3. Equações ajustadas para as concentrações de N na palha de café remanescente nos três períodos de amostragem (figura 2A).

Tratamentos kg ha ⁻¹ de N	Concentração de N (g kg ⁻¹)	
	R	Equações
0	NA	NA
80	R = 0,99**	y = 13,269 - 0,161x + 0,0009x ²
160	R = 0,96*	y = 13,470 - 0,145x + 0,0007x ²
240	R = 0,96*	y = 13,457 - 0,140x + 0,0007x ²
320	R = 0,99**	y = 13,332 - 0,158x + 0,0009x ²

Doses de N em combinação com 10 t ha⁻¹ de palha. **Significativo (p<0,01); * Significativo (p<0,05) e NA (Não ajustou-se ao modelo).

Tabela 4. Equações ajustadas para a quantidade de N e C na palha de café remanescente nos três períodos de amostragem (figura 2C e D).

Tratamentos kg ha ⁻¹ de N	N remanescente na palha (kg ha ⁻¹)	
	R	Equações
0	R = 0,98**	y = 131,1873e ^(-0,0202x)
80	R = 0,95*	y = 130,5634e ^(-0,0230x)
160	R = 0,97*	y = 131,2129e ^(-0,0195x)
240	R = 0,96*	y = 130,7222e ^(-0,0197x)
320	R = 0,95*	y = 131,0124e ^(-0,0229x)
C remanescente na palha (t ha ⁻¹)		
0	R = 0,98**	y = 4,0408e ^(-0,0126x)
80	R = 0,94*	y = 3,9854e ^(-0,0128x)
160	R = 0,96**	y = 4,0649e ^(-0,0126x)
240	R = 0,94*	y = 4,0185e ^(-0,0130x)
320	R = 0,96*	y = 4,0709e ^(-0,0145x)

Doses de N em combinação com 10 t ha⁻¹ de palha. **Significativo (p<0,01); * Significativo (p<0,05).

Tabela 5. Equações ajustadas para os teores de N inorgânico no solo (g dm^{-3}) no manejo com aplicação de palha, aos 50 dias (figura 7A e B).

Profundidade (cm)	Teores de N-NH₄⁺ (mg dm ⁻³)	
	Equações	R
0 - 5	$y = 11,779 + 0,150x - 0,0005x^2$	$R^2 = 0,95^*$
5 - 10	$y = 7,836 + 0,700x - 0,0002x^2$	$R^2 = 0,92^*$
10 - 20	$y = 4,729 + 0,104x - 0,0003x^2$	$R^2 = 0,95^*$
20 - 40	NA	NA
Teores de N-NO₃⁻		
0 - 5	$y = 9,79000 + 0,0711x$	$R^2 = 0,84^*$
5 - 10	$y = 11,7000 + 0,0485x$	$R^2 = 0,80^*$
10 - 20	$y = 8,2040 + 0,0809x$	$R^2 = 0,98^{**}$
20 - 40	$y = 10,0860 + 0,1182x$	$R^2 = 0,96^{**}$

Doses de N em combinação com 10 t ha^{-1} de palha. ******Significativo ($p < 0,01$); ***** Significativo ($p < 0,05$); NA (Não ajustou-se ao modelo).

Tabela 6. Equações ajustadas para os teores de N inorgânico no solo (g dm^{-3}) no manejo sem aplicação de palha, aos 50 dias (figura 7C e D).

Profundidade (cm)	Teores de N-NH₄⁺ (mg dm ⁻³)	
	Equações	R
0 - 5	NA	NA
5 - 10	NA	NA
10 - 20	NA	NA
20 - 40	NA	NA
Teores de N-NO₃⁻		
0 - 5	$y = 7,6500 + 0,1087x$	$R^2 = 0,95^{**}$
5 - 10	$y = 11,5000 + 0,0572x$	$R^2 = 0,91^*$
10 - 20	$y = 10,8500 + 0,0981x$	$R^2 = 0,94^{**}$
20 - 40	$y = 5,9000 + 0,1788x$	$R^2 = 0,98^{**}$

Doses de N em combinação com 10 t ha^{-1} de palha. ******Significativo ($p < 0,01$); ***** Significativo ($p < 0,05$); NA (Não ajustou-se ao modelo).

Tabela 7. Equações ajustadas para os teores de K no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) nos manejos sem e com aplicação de 10 t de palha, aos 50 dias (figura 17).

Profundidade (cm)	Manejo com aplicação de palha	
	Equações	R
0 - 5	$y = 5,2340 - 0,0024x$	$R^2 = 0,92^{**}$
5 - 10	$y = 1,280 - 0,0070x$	$R^2 = 0,86^*$
10 - 20	$y = 0,5320 - 0,0018x$	$R^2 = 0,96^{**}$
20 - 40	NA	NA
K total	$y = 7,4400 - 0,0069x$	$R^2 = 0,79^*$
Manejo sem aplicação de palha		
0 - 5	NA	NA
5 - 10	NA	NA
10 - 20	$y = 0,5401 + 0,0001x$	$R^2 = 0,93^{**}$
20 - 40	$y = 0,5487 + 0,0003x$	$R^2 = 0,80^*$
K total	$y = 2,1915 + 0,0008x$	$R^2 = 0,96^*$

**Significativo ($p < 0,01$); * Significativo ($p < 0,05$); NA (Não ajustou-se ao modelo).

Tabela 8. Equações ajustadas para os teores de K no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) nos manejos sem e com aplicação de 10 t de palha, aos 100 dias (figura 18).

Profundidade (cm)	Manejo com aplicação de palha	
	Equações	R
0 - 5	$y = 4,1220 - 0,0036x$	$R^2 = 0,83^*$
5 - 10	$y = 2,3320 - 0,0024x$	$R^2 = 0,70^*$
10 - 20	$y = 1,0900 + 0,0030x$	$R^2 = 0,88^*$
20 - 40	NA	NA
K total	$y = 8,1909 + 0,0127x - 0,00004x^2$	$R^2 = 0,91^*$
Manejo sem aplicação de palha		
0 - 5	NA	NA
5 - 10	NA	NA
10 - 20	NA	NA
20 - 40	NA	NA
K total	$y = 3,1831 + (0,5570) (18,0391) / (18,0391 + x)$	$R^2 = 0,99^{**}$

**Significativo ($p < 0,01$); * Significativo ($p < 0,05$); NA (Não ajustou-se ao modelo).

Tabela 9. Equações ajustadas para os teores de K no solo ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) nos manejos sem e com aplicação de 10 t de palha, aos 150 dias (figura 19).

Profundidade (cm)	Manejo com aplicação de palha	
	Equações	R
0 - 5	$y = 3,8940 - 0,0031x$	$R^2 = 0,99^{**}$
5 - 10	$y = 3,1000 - 0,0015x$	$R^2 = 0,95^{**}$
10 - 20	$y = 1,5080 + 0,0020x$	$R^2 = 0,88^*$
20 - 40	NA	NA
K total	$y = 9,4320x + 0,0010x$	$R^2 = 0,87^*$
	Manejo sem aplicação de palha	
0 - 5	NA	NA
5 - 10	NA	NA
10 - 20	NA	NA
20 - 40	NA	NA
K total	NA	NA

**Significativo ($p < 0,01$); * Significativo ($p < 0,05$); NA (Não ajustou-se ao modelo).

Tabela 10. Equações ajustadas para as quantidades de K na solução lixiviada ao longo de 20 semanas; com aplicação de palha e doses de N e com apenas aplicação de doses de N no solo, (figura 20).

Dose de N Kg ha^{-1}	Com aplicação de palha	
	Equações	R
0	$y = 0,7472 - 0,0250x$	0,68**
80	$y = 0,7703 - 0,0293x$	0,70**
160	$y = 0,7593 - 0,4849e^{-0,5\{\ln(x/16,5324)/0,3735\}^2}$	0,77**
240	$y = 0,7857 - 0,5053e^{-0,5\{\ln(x/16,2038)/0,4303\}^2}$	0,75**
320	$y = 0,8344 - 0,6085e^{-0,5\{\ln(x/16,3423)/0,3385\}^2}$	0,84**
	Sem aplicação de palha	
0	$y = 0,7398 - 0,0299x$	0,65**
80	$y = 0,8215 - 0,0340x$	0,70**
160	$y = 0,8307 - 0,0357x$	0,70**
240	$y = 0,8293 - 0,5782e^{-0,5\{\ln(x/16,4104)/0,5039\}^2}$	0,76**
320	$y = 0,8274 - 0,5935e^{-0,5\{\ln(x/16,2910)/0,3822\}^2}$	0,76**

**Significativo ($p < 0,01$); NA (Não ajustou-se ao modelo).

