

HENRIQUE JOSÉ GUIMARÃES MOREIRA MALUF

**RESÍDUOS CULTURAIS E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM
SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Solos e Nutrição de Plantas, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

M261r
2013 Maluf, Henrique José Guimarães Moreira, 1982-
Resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes em solos
com diferentes texturas / Henrique José Guimarães Moreira
Maluf. – Viçosa, MG, 2013.
x, 48 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: Emanuelle Mercês Barros Soares.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 26-33.

1. Fertilidade do solo. 2. Humus. 3. Ciclagem de nutrientes.
4. Sustentabilidade. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Solos. Programa de Pós-Graduação em Solos e
Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.422

HENRIQUE JOSÉ GUIMARÃES MOREIRA MALUF

**RESÍDUOS CULTURAIS E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM
SOLOS COM DIFERENTES TEXTURAS**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Solos e Nutrição de Plantas, para
obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

APROVADA: 19 de julho de 2013.

Maria Catarina Megumi Kasuya

Leonardus Vergütz

Júlio César Lima Neves
(Coorientador)

Emanuelle Mercês Barros Soares
(Orientadora)

À minha mãe, Maria de Fátima Guimarães Moreira Maluf (*in memoriam*) pelo amor e carinho incondicional, e pelos exemplos e ensinamentos de vida que permanecerão durante minha existência.

Ao meu pai, Ebelem José Maluf pelo exemplo, força e ótimos conselhos que me encorajaram em inúmeros momentos.

Aos meus irmãos, Guilherme Ebelem Guimarães Moreira Maluf e Maria Raquel Guimarães Moreira Maluf pela amizade e companheirismo.

As mais belas estrelas que caíram do céu, meus sobrinhos, Guilherme Ebelem Cunha Maluf e Maria Júlia Maluf de Oliveira pela enorme alegria que proporcionaram a nossa família.

Dedico

"Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos."
(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus!

Aos meus pais por minha existência, incentivo aos estudos e valiosos conselhos que certamente contribuíram em minha jornada.

Aos meus irmãos pela compreensão, apoio, incentivo e carinho.

Aos meus irmãos de consideração, Soraia Cunha, Normando Júnior e Fernanda Martineli Costa pela torcida e amizade.

Em especial a minha namorada, Daviane Martinele Costa pelos conselhos, apoio, compreensão, carinho e motivação que me proporcionou até o fim desta etapa.

Ao IFMG, campus Bambuí pela consolidação das bases do conhecimento.

Aos Professores, Diogo Santos Campos, orientador de iniciação científica, e Áureo Rodrigues Pereira, pela amizade e por incentivar a minha carreira.

Ao Departamento de Solos (DPS) da UFV pela oportunidade concedida a mim para realizar o mestrado, bem como a CAPES pela concessão da bolsa.

À Professora Emanuelle Mercês Barros Soares pela orientação, amizade, conselhos e confiança a mim depositado.

Aos professores, Ivo Ribeiro da Silva e Júlio César Lima Neves pelo auxílio na orientação, pelos inúmeros conselhos, exemplo profissional e amizade.

Aos professores, Leonardus Vergutz e Maria Catarina Megumi Kasuya pelas valiosas sugestões e críticas que contribuíram para o aperfeiçoamento do trabalho.

Aos demais professores pelo conhecimento adquirido durante as disciplinas e conversas. Aos funcionários do DPS/UFV, em especial ao Carlos Fonseca, Cláudio Bruscolini, Edimaldo Júnior e Reginaldo Monteiro.

À equipe de trabalho formada pelos estagiários, Mailson, Lucas e Paulo pelo auxílio indispensável à conclusão deste trabalho.

A todos os amigos e colegas que por algum instante contribuíram para essa conquista, em especial ao Gelton Guimarães, Lucíola Ellen Calió Martins, Paula Afonso de Oliveira e toda a família do Laboratório de Isótopos Estáveis.

Ao produtor rural Oswaldo Corso, ao Engenheiro Agrônomo Paulo Sérgio de Castro e toda a família AP agrícola por conceder as coletas dos resíduos culturais e pela inspiração profissional.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

HENRIQUE JOSÉ GUIMARÃES MOREIRA MALUF, filho de Ebelem José Maluf e Maria de Fátima Guimarães Moreira Maluf, nasceu no dia 23 de dezembro de 1982, na cidade de São Paulo, estado de São Paulo. Em 1999 iniciou o curso técnico em agropecuária, na antiga Escola Agrotécnica Federal de Bambuí-MG, concluindo em dezembro de 2001.

Exerceu as atividades como técnico em propriedade rural no município de Santa Rosa da Serra-MG, atuou como laboratorista de análises de solos, em Bambuí-MG, foi gerente de produção cafeeira em propriedade rural do município de Pratinha-MG, e de produção leiteira, agrícola e silvicultural na empresa Agropecuária Ouro Branco Ltda, no município de Bandeirantes-MS.

Por necessidade pessoal e aperfeiçoamento profissional decidiu retornar aos estudos em agosto de 2007 ingressando no curso de Agronomia do Instituto Federal Minas Gerais, *campus* Bambuí, onde foi monitor das disciplinas de Desenho Técnico & Cad e de Construções Rurais. Foi membro fundador com participação na coordenação dos Grupos de Estudo em Bovinocultura (GBOV) e em Solos Agrícolas (GESA). Durante a graduação exerceu ainda atividades de assistência técnica a fazenda Grande Vale, dedicada à pecuária leiteira, e auxiliou o programa “Mais Leite” de extensão rural. Gradou-se em julho de 2011.

Iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa (UFV) em agosto de 2011, submetendo-se a defesa de dissertação em julho de 2013.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	2
2.1. Incubação	4
2.2. Respirimetria	5
2.3. Análises dos resíduos culturais	5
2.4. Análises dos solos	6
2.5. Taxa de recuperação de nutrientes.....	7
2.6. Análises estatísticas	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	7
3.1. Decomposição dos resíduos culturais	7
3.2. Dinâmica de liberação dos nutrientes	10
3.3. pH, fósforo remanescente (P-rem) e teor de nutrientes nos solos.....	14
3.4. Taxa de recuperação dos macronutrientes	22
4. CONCLUSÕES	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	26
6. LITERATURA CITADA	26
7. ANEXOS	34

RESUMO

MALUF, Henrique José Guimarães Moreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes em solos com diferentes texturas.** Orientadora: Emanuelle Mercês Barros Soares. Coorientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Júlio César Lima Neves.

A sustentabilidade dos sistemas conservacionistas de produção agrícola está intimamente ligada ao retorno dos nutrientes ao solo, por meio da decomposição dos resíduos vegetais. Entretanto, estudos avaliando a disponibilidade dos nutrientes às plantas, após a liberação dos resíduos culturais, ainda são escassos. O objetivo do presente trabalho foi avaliar a decomposição de resíduos culturais, a liberação e a disponibilidade de nutrientes em solos com diferentes texturas. Os tratamentos foram definidos por esquema fatorial 6 x 4 x 5, sendo, quatro resíduos culturais: Milho (*Zea mays* L.); Braquiária (*Urochloa ruziziensis* Germain et Evrard); Feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.); Estilosantes cv. mineirão (*Stylosanthes guianensis* Aublet), e dois controles, ambos sem resíduo, sendo que, apenas um com adição de fontes inorgânicas dos nutrientes, quatro solos com diferentes composições granulométricas e cinco tempos de avaliação após o início da incubação: 0, 25, 75, 125 e 175 dias. Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Foram avaliadas a liberação de C-CO₂, a taxa de decomposição, a dinâmica de liberação dos nutrientes dos resíduos, os teores disponíveis dos nutrientes e totais de carbono orgânico e N nos solos, além da taxa de recuperação dos macronutrientes. Os valores de pH, de P-rem, os teores dos nutrientes disponíveis e totais de carbono orgânico e N, além das taxas de recuperação dos macronutrientes nos solos foram submetidas a análises de regressão múltipla, em função do tempo de incubação e do teor de argila. Nos solos que receberam os resíduos de estilosantes e braquiária houve maior liberação de C-CO₂ que os demais resíduos, porém na matéria seca do resíduo de braquiária observou-se a maior redução. A liberação de N, P e S foi proporcional ao conteúdo inicial desses elementos no resíduo e inversamente proporcional às relações C/N, C/P e C/S. O K foi o nutriente com maior liberação para todos os resíduos. Os resíduos de braquiária e de estilosantes acidificaram o solo, enquanto os de milho e de feijão contribuíram para a redução da acidez do solo com menor teor de argila. O P-rem foi pouco influenciado pelo aporte dos resíduos, enquanto os teores de C orgânico total

reduziram ao longo do tempo. A liberação de K dos resíduos resultou em aumento no teor disponível desse nutriente, em todos os solos, enquanto que para o S, os maiores teores foram nos solos com resíduo de feijão. Os resíduos não contribuíram para o aumento do teor disponível de Ca^{2+} trocável, Zn e Cu nos solos estudados. As taxas de recuperação dos macronutrientes foram influenciadas pelo teor de argila e pela fonte dos nutrientes. A lenta liberação de P dos resíduos favoreceu à maior taxa de recuperação para este nutriente, principalmente em solos de textura média a argilosa com resíduos de milho e de feijão. Para K, Ca e Mg, os solos que receberam os nutrientes na forma mineral apresentaram as maiores taxas de recuperação. A decomposição dos resíduos culturais e a liberação de nutrientes aportados na superfície do solo são influenciadas pela composição química e bioquímica dos resíduos culturais ao longo dos 175 dias de avaliação. O tipo de resíduo, a textura do solo e o tempo de incubação regulam os padrões dos teores totais de carbono orgânico e de nitrogênio, do pH e dos teores disponíveis dos nutrientes. Os nutrientes liberados, a partir de resíduos culturais, não estão, totalmente, nas formas disponíveis às plantas em solos com diferentes texturas, ocorrendo as menores taxas de recuperação para Ca, Mg e K.

ABSTRACT

MALUF, Henrique José Guimarães Moreira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2013. **Crop residues and nutrients availability in soils with different textures.** Adviser: Emanuelle Mercês Barros Soares. Co-adviser: Ivo Ribeiro da Silva e Júlio César Lima Neves.

The sustainability of conservation agriculture systems is related to the nutrients cycling from crop residues decomposition. However, studies evaluating nutrients availability, right after the release from crop residues, are still scarce. The goal of this study was to evaluate the decomposition of crop residues, nutrients release and availability in soils with different textures. The treatments were defined according to factorial 6 x 4 x 5, with: four residues, Corn (*Zea mays* L.), Brachiaria (*Urochloa ruziziensis* Germain et Evrard), Bean (*Phaseolus vulgaris* L.), Stylosanthes cv. legume (*Stylosanthes guianensis* Aublet); two controls treatments, both without crop residues, and only one with mineral nutrients addition; four soils with different textural compositions; and five times after incubation, 0, 25, 75, 125 and 175 days. Treatments were distributed in a completely randomized design, in four replicates. It was evaluated the CO₂-C-release, decomposition rate, nutrients in the crop residues, soil nutrient available, soil total organic carbon and N content. In addition nutrients recovery rate was calculated. pH values, soil solution equilibrium P, nutrients available, and nutrients recovery rates were submitted to multiple regression analysis, with incubation time and clay content. The CO₂-C release from soils with Stylosanthes and Brachiaria were higher than other crop residues, however the highest dry matter reduction has been observed in the Brachiaria residue. N, P and S release were proportional to the initial content of these elements in crop residues and inversely proportional to the C/N, C/P and C/S ratios. K was the nutrient with the highest release. Brachiaria and Stylosanthes residues promoted soil acidification, while Corn and Beans residues contributed to reduction of soil acidity in a lower clay content soils. Soil solution equilibrium P was slight influenced by the crop residues added to the soil, while the total organic carbon was reduced after 175 days. The release of K from crop residues increased the amount of this nutrient available in all soils evaluated, while for S, the highest levels were in soils with bean residues. In average, crop residues have not contributed to the increase in soils exchangeable Ca²⁺, and Zn and Cu available. Recovery rates of macronutrients were influenced by clay content and nutrients source. The slow P release from crop residues have been

avored higher recovery rates, especially from sand clay loam to clay texture soils with corn and bean residues. K, Ca and Mg recovery rate were higher in soils that received mineral nutrients source. Crop residues decomposition and nutrients release are influenced by crop residues chemical and biochemical composition during the 175-days evaluation. The type of crop residues, soil texture, and the incubation time regulate the total organic carbon content, nitrogen concentration and pH. Nutrients from crop residues have not been completely available to plants in soils with different textures, with lower recovery rate to Ca, Mg and K.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 50 anos a produção agrícola mundial triplicou, com incremento na área cultivada de apenas 12 % (FAO, 2012). A sustentabilidade dessa produção depende do desenvolvimento de novas tecnologias, como o que vem sendo feito em áreas sob sistema plantio direto. O Brasil possui cerca de 27 milhões de hectares em sistema plantio direto (FEBRAPDP, 2011), o que representa mais da metade dos 53 milhões de hectares destinados à produção de grãos no País na safra 2012/13 (CONAB, 2013). Sistemas conservacionistas ocupam mais de 128 milhões de hectares em todo o mundo (FAO, 2013). Todavia, nessas áreas de produção, grande parte da demanda por nutrientes é suprida por fertilizantes.

O aporte e a manutenção de resíduos culturais sobre a superfície do solo, premissa desses sistemas, além da proteção física ao solo, contribui para a ciclagem de nutrientes (Ferreira et al., 2001, Bellote et al. 2008). Com exceção do K por não estar ligado a componentes estruturais do tecido vegetal, os demais nutrientes são liberados via decomposição (Foster & Bhatti, 2006), podendo suprir parte da demanda das plantas.

O tempo de liberação dos nutrientes é determinado pela taxa de decomposição dos resíduos culturais (Adams & Attiwil, 1986; Reissmann & Wisniewski, 2000; Floss, 2000; Prescott, 2005; Kliemann et al., 2006; Berlotte et al., 2008; Teixeira et al., 2010). Gama-Rodrigues et al. (2007) verificaram que a liberação de N, P, K, Ca e Mg de resíduos vegetais foi associada com a taxa de decomposição, exceto para o K, com maior liberação para resíduos de fabáceas e menores para poáceas.

O processo de decomposição é regulado por diversos fatores que incluem a composição bioquímica do resíduo orgânico (Trinsoutrot et al., 2000; Silver & Miya, 2001), como os teores de polifenóis (Monteiro et al., 2002), de lignina (Tian et al., 2007; Devi & Yadava, 2010), de N e a relação C/N. Calonego et al. (2012) observaram maior decomposição no resíduo de fabácea, representado pela labe-labe com relação C/N de 24, obtendo meia vida de 56 dias, enquanto os resíduos de milho e de braquiária com relações C/N de 46 e 44, respectivamente, apresentaram lenta decomposição, com meia vida superior a 135 dias. Porém, de acordo com Johnson et al. (2007), as taxas de decomposição dos resíduos culturais foram mais relacionadas com os teores de N, de lignina e a relação lignina/N, do que a relação C/N.

Diversos indicadores têm sido propostos como bons preditores da taxa de decomposição de resíduos e da liberação de nutrientes, principalmente N e P, dentre os quais as relações C/N, C/P, Lignina/N, Lignina/P e (Lignina + Polifenóis)/N (Moretto et al., 2001; Aita & Giacomini, 2003; Albrecht et al., 2004).

No solo, informações a respeito da disponibilidade dos nutrientes às plantas após liberação dos resíduos vegetais ainda são escassas. A disponibilidade desses nutrientes às culturas são influenciados por fatores, dentre os quais destaca-se a textura do solo que regula a reposição dos nutrientes (Novais & Mello, 2007), do complexo sortivo para a solução do solo.

O balanço de nutrientes é um método eficiente para estimar a necessidade de adubação para as culturas e vem sendo incorporado a recentes sistemas de recomendação de corretivos e fertilizantes, como o FERTCALC. O FERTCALC, desenvolvido para diversas culturas, estabelece o balanço entre a demanda de nutrientes pela cultura e o suprimento pelo solo, pelos resíduos culturais e outras fontes naturais (Cantarutti et al. 2007).

Porém, o suprimento de nutrientes via resíduos culturais é fornecido, unicamente, por informações da liberação de nutrientes, sem a existência de relações com a disponibilidade destes em solos com texturas distintas, podendo assim superestimar o suprimento de nutrientes.

O presente estudo teve por objetivo avaliar a decomposição de resíduos culturais, a liberação e a disponibilidade de nutrientes em amostras de solos com diferentes texturas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os tratamentos foram definidos por esquema fatorial 6 x 4 x 5, primeiramente representado pelos resíduos culturais e os controles, sendo, dois resíduos de culturas comerciais, Milho (*Zea mays* L.) e Feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), dois resíduos de culturas de cobertura, Braquiária (*Urochloa ruziziensis* Germain et Evrard) e Estilosantes cv. Mineirão (*Stylosanthes guianensis* Aublet) e dois controles, ambos sem resíduo. O primeiro controle envolveu a adição de fontes inorgânicas dos nutrientes (representado pela quantidade média de cada nutriente encontrado nos resíduos culturais), enquanto o outro foi constituído por controle absoluto, sem aplicação de resíduos culturais, nem de nutrientes em formas minerais. Avaliados em quatro solos com composições granulométricas distintas e cinco

tempos de avaliação: 0, 25, 75, 125 e 175 dias após o início da incubação (DAI). Os tratamentos foram distribuídos em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições.

Os solos com composições granulométricas distintas foram obtidas a partir da mistura de amostras de Latossolo Vermelho Amarelo muito argiloso com areia peneirada em malha de 1 mm, em diferentes proporções, de modo a obter-se amostras que se enquadrassem nas classes texturais argilosa, média e arenosa, conforme classificação descrita em EMBRAPA (2006). As características físicas e químicas dos solos com diferentes texturas são apresentadas no Quadro 1.

A mistura para a formação dos solos com diferentes classes texturais foi realizada a fim de minimizar os efeitos de variação mineralógica dos solos, e expressar os reais efeitos da textura. Para evitar a segregação, cada mistura foi submetida a ciclos de umedecimento e secagem durante 1 mês, com ciclos semanais, favorecendo a interação entre a areia adicionada e o solo muito argiloso.

Quadro 1. Características físicas e químicas dos solos com diferentes texturas

Solo ¹	Argila ⁽²⁾	Ds ⁽³⁾	pH	COT ⁽⁴⁾	NT ⁽⁵⁾	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺
	g kg ⁻¹	kg dm ⁻³	H ₂ O	----- g kg ⁻¹ ---	---	----- mg dm ⁻³ ---	---	cmol _c dm ⁻³	
MA	620,4	0,94	4,78	11,08	0,97	1,54	25,78	0,31	0,04
A	460,3	1,02	4,87	8,47	0,75	1,63	20,76	0,26	0,04
M	266,7	1,14	5,09	6,14	0,47	1,73	13,73	0,23	0,03
Aren	143,9	1,26	5,62	3,94	0,39	2,01	8,70	0,13	0,03
	Al ³⁺	H+Al	t ⁽⁶⁾	T ⁽⁷⁾	V ⁽⁸⁾	S	Zn	Cu	P-rem
	----- cmol _c dm ⁻³ -----			%	---	----- mg dm ⁻³ -----	---	---	mg L ⁻¹
MA	0,67	8,67	1,09	9,09	4,58	10,39	0,46	1,67	8,58
A	0,44	7,54	0,79	7,89	4,47	11,84	0,42	1,32	11,33
M	0,21	5,94	0,51	6,23	4,74	17,09	0,41	1,03	18,08
Aren	0,00	4,24	0,18	4,42	4,12	18,47	0,38	0,58	32,27

⁽¹⁾ Texturas MA – Muito argilosa, A – Argilosa, M – Média, Aren – Arenosa. ⁽²⁾ Teor de argila, método adaptado por Ruiz (2005). ⁽³⁾ Densidade aparente do solo. ⁽⁴⁾ Carbono orgânico total. ⁽⁵⁾ Nitrogênio total. ⁽⁶⁾ e ⁽⁷⁾ Capacidade de troca catiônica efetiva e a pH 7,0, respectivamente. ⁽⁸⁾ Índice de saturação de bases.

Os resíduos culturais foram coletados nos municípios de Viçosa e Bambuí – MG, em áreas cultivadas com culturas comerciais e com plantas de cobertura, nas respectivas épocas de colheita e ponto de corte ou dessecação. A caracterização bioquímica e química, e a quantidade dos resíduos aplicados são apresentadas no

Quadro 2. A quantidade de resíduo adicionada em g por unidade experimental representou a proporção da quantidade encontrada no campo, em kg m⁻².

Quadro 2. Caracterização bioquímica e química, e a quantidade de resíduos aportados em cada unidade experimental

Resíduo	Extrativos solúveis		Holocelulose	Lignina	Polifenóis Solúveis Totais	C	N
	Água	Acetona					
	----- g kg ⁻¹ -----					g kg ⁻¹	g kg ⁻¹
Milho	93,5	12,0	288,0	113,2	43,6	449,1	5,01
Braquiária	268,1	26,8	311,2	166,3	106,6	440,4	14,71
Feijão	105,6	10,7	352,9	171,9	65,8	430,7	13,80
Estilosantes	142,6	32,3	332,8	193,1	172,5	469,9	24,08
	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu
	----- g kg ⁻¹ -----					--- mg kg ⁻¹ ---	
Milho	0,38	14,57	1,85	2,60	0,39	14,73	8,15
Braquiária	0,78	22,41	4,70	3,45	1,23	12,97	3,73
Feijão	0,85	19,82	8,64	3,59	2,12	40,87	8,85
Estilosantes	1,50	13,31	7,25	3,22	1,08	95,41	12,93
	C/N	C/P	C/S	Lignina/N	Lignina/P	(Lig+Pol)/N ⁽¹⁾	MS ⁽²⁾ g UE ⁻¹
Milho	89,64	1181,8	1151,5	22,60	295,19	31,30	8,72
Braquiária	29,94	564,6	358,0	11,31	214,63	18,56	9,00
Feijão	31,21	506,7	203,2	12,46	204,94	17,23	8,60
Estilosantes	19,51	313,3	435,1	8,01	129,21	15,17	6,32

⁽¹⁾(Lignina + Polifenóis solúveis totais)/N. ⁽²⁾ Matéria seca em g por unidade experimental.

2.1. Incubação

O experimento de incubação foi conduzido em sala com temperatura controlada, a 25 ±1 °C. Inicialmente 130 g de solo seco foram colocadas em recipientes de polietileno com tampa, de 11 cm de diâmetro e capacidade de 500 mL, com umidade corrigida a 80 % da capacidade de campo. Os resíduos culturais foram secados à sombra e fragmentados manualmente em partículas de 1 a 2 cm, distribuídos sobre uma tela de polietileno, com abertura de 2 mm, previamente posicionada em cima do solo, onde foram umedecidos inicialmente com 10 mL de água deionizada.

A fim de favorecer as trocas gasosas e evitar a redução do teor de O₂, os recipientes eram abertos a cada 2 dias, por 15 minutos. Para evitar a perda excessiva de umidade do resíduo e do solo, esses eram reumedecidos, eventualmente, com 10

mL de água deionizada. Também foi mantido em cada recipiente um frasco de acrílico contendo 7 mL de água deionizada para auxiliar na conservação da umidade do resíduo e do solo.

2.2. Respirometria

A quantificação do C-CO₂ liberado pela respiração microbiana foi realizada conforme o método adaptado de Curl & Rodriguez-Kabana (1972). Foi acondicionado dentro dos recipientes um frasco de acrílico contendo 10 mL de NaOH 1,0 mol L⁻¹ para captura do CO₂. Essa solução foi substituída periodicamente por ocasião das avaliações, aos 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 52, 60, 68, 76, 84, 92, 108, 124, 140, 156 e 175 DAI, onde era titulada com HCl 0,5 mol L⁻¹ utilizando a solução indicadora de fenolftaleína a 1 %.

2.3. Análises dos resíduos culturais

A caracterização bioquímica dos resíduos vegetais foi realizada, inicialmente, pela determinação dos extrativos solúveis em água e em acetona (ABTCP, 1974). As amostras remanescentes dos extrativos de cada resíduo foram divididas, para determinação de holocelulose (Kurschner & Hoffer, 1979) e outra de lignina (TAPPI, 1969). Os polifenóis solúveis totais com extração em metanol 30 % foram determinados por espectrofotometria UV-visível a 720 nm (Grubestic et al., 2005).

Os resíduos culturais separados dos solos aos 0, 25, 75, 125 e 175 DAI foram secados em estufa de circulação forçada de ar, a 60 °C por 72 h e, então, pesados para obtenção da matéria seca. O material vegetal seco foi triturado em moinho do tipo Willey com malha de 1 mm e determinado o teor de N, após digestão sulfúrica e K, Ca, Mg, P, S, Zn e Cu, após digestão nitroperclórica na proporção de 4:1. Com base nos teores de nutrientes e na matéria seca remanescente (MSR) foi calculado o conteúdo dos nutrientes remanescentes (CNR) nos resíduos culturais.

As taxas de decomposição e de liberação dos nutrientes dos resíduos foram estimadas ajustando-se modelos de regressão não lineares aos valores observados, conforme Olson (1963), equação 1, e Wieder & Lang (1982), equações 2 a 4.

$$\text{MSR ou CNR} = X_0^{-kt} \quad (1)$$

$$\text{MSR ou CNR} = A^{-kat} + (100-A) \quad (2)$$

$$\text{MSR ou CNR} = A^{-kat} + (100-A)^{-kbt} \quad (3)$$

$$\text{MSR ou CNR} = X_0 - kt + kt^2 \quad (4)$$

em que MSR ou CNR = quantidade de matéria seca ou conteúdo do nutriente remanescente no tempo, t (dias); X_0 = matéria seca ou conteúdo do nutriente inicial; k , k_a , k_b = constante de decomposição da matéria seca ou de liberação dos nutrientes, constante do compartimento facilmente decomponível (A), e do compartimento mais recalcitrante (100 - A), respectivamente.

A escolha do tipo de modelo foi feita com base no menor valor da soma dos quadrados do erro, significância dos parâmetros da equação e no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) ajustado. A meia vida ($t_{0,5}$) dos resíduos foi calculada conforme a equação 5.

$$t_{0,5} = \frac{-\ln(0,5)}{k} = \frac{0,693}{k} \quad (5)$$

em que $t_{0,5}$ é o tempo necessário para decomposição de 50 % da matéria seca do resíduo (Paul & Clark, 1989).

2.4. Análises dos solos

O solo coletado de cada recipiente aos 0, 25, 75, 125 e 175 DAI foram secados em estufa de circulação forçada de ar, a 60 °C por 48 h e passados em malha de 2 mm. Foram determinados o pH em água, 1:2,5 (v/v), as formas trocáveis de Ca^{2+} e Mg^{2+} com extração em KCl 1 mol L⁻¹ e determinação em espectrofotometria de absorção atômica; o S por fosfato monocálcico em ácido acético 2 mol L⁻¹ e dosagem por turbidimetria, com determinação por espectrofotometria UV-visível a 420 nm (Alvarez V. et al., 2001); o P, o K, o Zn e o Cu por Mehlich – 1, com determinação do P por colorimetria (Braga & Defelipo, 1974), do K por fotometria de emissão de chama e dos micronutrientes por espectrofotometria de absorção atômica. O fósforo remanescente (P-rem) em cloreto de cálcio 0,01 mol L⁻¹ com concentração inicial de 60 mg L⁻¹ de P foi determinado segundo De Filippo & Ribeiro (1997).

Amostras dos solos coletados em cada tempo de avaliação foram maceradas em almofariz de ágata e passadas em peneira com malha de 0,25 mm para as determinações dos teores totais de C orgânico (Yeomans & Bremner, 1988) e de N (Tedesco et al., 1995), baseado no método Kjeldahl (Bremner & Mulvaney, 1982).

2.5. Taxa de recuperação de nutrientes

A taxa de recuperação (TR) foi calculada para os macronutrientes, a fim de indicar a quantidade do nutriente disponível para a planta, recuperado pelo extrator, por unidade do nutriente liberado do resíduo ou aplicado na forma inorgânica (FI), expressa em porcentagem pela equação 6.

$$TR \% = ((QND_{Trat} - QND_t)/QNLR) \times 100 \quad (6)$$

em que QND_{Trat} é a quantidade do nutriente disponível no solo com resíduo ou FI (mg); QND_t , a quantidade do nutriente disponível no solo da testemunha (mg); $QNLR$, a quantidade de nutriente liberada do resíduo cultural ou aplicado (FI) (mg).

2.6. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise da variância, e as médias referentes ao conteúdo inicial de nutrientes nos resíduos foram comparadas pelo teste Tukey, a 5 %, por meio do programa Sisvar 5.3 (Ferreira, 2010). Os modelos que descrevem a cinética da MSR e do CNR foram testados no programa Sigma Plot 11.0.

Os resultados de pH, de P-rem e dos teores dos nutrientes disponíveis, além das TRs dos macronutrientes no solo foram submetidos a análises de regressão múltipla em função do tempo de incubação e do teor de argila, utilizando o RSREG (Littell et al., 2006), do programa SAS versão 9 (SAS Institute, 2002). A escolha do tipo da equação de regressão foi feita com base no menor valor da soma dos quadrados do erro, significância dos parâmetros da equação e no maior valor do coeficiente de determinação (R^2) ajustado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Decomposição dos resíduos culturais

A quantidade de C-CO₂ liberado e a matéria seca remanescente (MSR) dos resíduos culturais não foram influenciadas pela textura do solo. Gaillard et al. (2003) com base na separação espacial de compartimentos resíduo-solo, avaliaram a atividade microbiana incubando, individualmente, os resíduos da superfície do solo, o solo adjacente e o solo subjacente, e verificaram maior atividade no compartimento resíduo, demonstrando que a atividade microbiana pode ocorrer de forma efetiva no resíduo aportado, sem a interferência da matriz do solo.

Os resultados de C-CO₂ foram expressos em valores líquidos acumulados em cada tempo de avaliação, representados pelo C respirado nos tratamentos com resíduos menos o C respirado no solo da testemunha.

A utilização de resíduos de estilosantes e de braquiária resultou em maior liberação de C-CO₂ até 175 dias após o início da incubação (DAI), seguido de feijão e de milho (Figura 1). O maior teor de N encontrado nos resíduos de estilosantes e de braquiária, tal como a menor relação C/N e Lignina/N podem ter favorecido mineralização do C, e esta tendência foi seguida para os outros resíduos avaliados, demonstrando a importância do N para os microrganismos do solo, como também observado por Redin (2010).

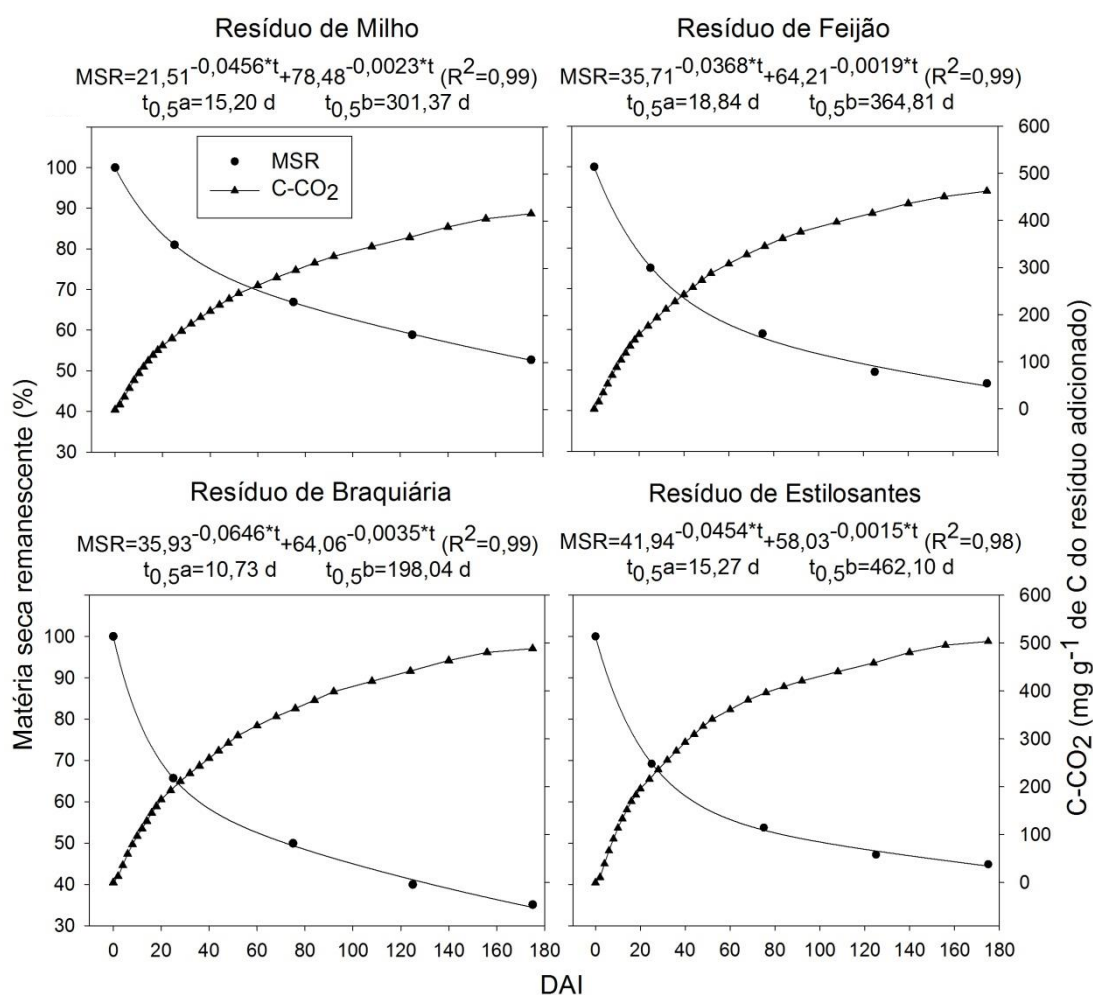


Figura 1. C-CO₂ líquido acumulado e matéria seca remanescente (MSR) dos resíduos até 175 dias após o início da incubação (DAI), com as respectivas meia vida (t_{0,5}), do compartimento facilmente decomponível (t_{0,5a}) e do mais recalcitrante (t_{0,5b}).

A relação inversa das curvas de C-CO₂ e MSR demonstram que quanto maior é a atividade microbiana maior é a redução da matéria seca, sendo estes dependentes

da composição química e bioquímica dos resíduos culturais. O ponto de interseção entre as duas curvas ocorre tão cedo quanto maior for à decomposição, representando a velocidade de decomposição do resíduo (Figura 1).

O maior teor de extrativos solúveis em água nos resíduos de braquiária e de estilosantes (Quadro 2) também pode ter favorecido o rápido aumento na liberação de C-CO₂ e maior redução da matéria seca, apresentando o ponto de interseção entre as curvas de C-CO₂ e MSR com menor tempo, comparado aos resíduos de feijão e de milho (Figura 1). Inicialmente, a mineralização do C de resíduos vegetais ocorre em compostos solúveis em água e ao longo do tempo de incubação outros compostos mais recalcitrantes tornam-se mais importantes a este processo (Jensen et al., 2005).

O melhor modelo ajustado aos dados de MSR de cada resíduo no tempo (Figura 2) foi o modelo exponencial duplo (Eq. 3). Esse modelo apresenta duas fases distintas, e ambas diminuem exponencialmente, a primeira fase ou parte da equação é referente ao compartimento facilmente decomponível ou lábil, com taxas de decomposição mais elevadas, somada ao segundo compartimento, mais recalcitrante e com menores taxas.

Pelos resultados de MSR dos resíduos culturais, observou-se maior proporção lábil para o resíduo de estilosantes (41,94 %) e menor para o de milho (21,51 %), o inverso foi encontrado para o compartimento recalcitrante (Figura 1). Porém, o resíduo de braquiária apresentou maior decomposição, restando apenas 35,1 % da matéria seca inicial, seguido do resíduo de estilosantes, com 44,9 %, aos 175 DAI. A meia vida ($t_{0,5}$) do compartimento facilmente decomponível “a” e do compartimento recalcitrante “b” foi menor no resíduo de braquiária do que no estilosantes, sendo o $t_{0,5}$ do compartimento “b” o maior entre todos os resíduos (462,1 dias).

A maior decomposição dos resíduos de braquiária pode estar associada ao maior teor de extrativos solúveis em água (Quadro 2). A decomposição é impulsionada pela facilidade de degradação de compostos solúveis em água (Bertrand et al., 2006). Além disso, a braquiária apresentou menor teor de extrativos solúveis em acetona comparado com o estilosantes (Quadro 2). Os extrativos solúveis em acetona estão relacionados com compostos lipídicos, que são considerados resistentes à decomposição (Dungait et al., 2012).

A composição bioquímica recalcitrante do estilosantes pode ter retardado o processo de decomposição, além da possível colonização microbiana pouco específica a esses compostos. Gêneros de microrganismos podem prevalecer quanto

ao tipo de resíduo, sendo um fator que regula a decomposição (Moreira & Siqueira, 2006). Neste estudo foi observado, visualmente, intensa colonização fúngica e em grande parte da incubação este desenvolvimento foi específico para cada resíduo.

Os resíduos das plantas de cobertura, braquiária e estilosantes, apresentaram as maiores decomposições (Figura 1) e também os maiores teores de polifenóis, quando comparado às culturas comerciais, milho e feijão (Quadro 2). Apesar dos polifenóis terem efeito inibitório sobre a atividade decompositora, tal efeito pode ter sido superado pelo maior teor de N e de C facilmente decomponível nos resíduos avaliados. Da mesma forma, Redin (2010) encontrou o dobro da concentração de polifenóis e maior mineralização de C em resíduos de plantas de cobertura, quando comparado aos de culturas comerciais.

3.2. Dinâmica de liberação dos nutrientes

A liberação dos nutrientes dos resíduos culturais foi influenciada apenas pelo tipo de resíduo e pelo tempo de incubação. O conteúdo de cada nutriente nos resíduos e nos tempos de incubação são apresentados no Quadro 3.

O modelo quadrático (Eq. 4) foi o que se ajustou melhor aos dados observados de liberação dos nutrientes, para todos os resíduos analisados. Segundo Wieder & Lang (1982) o modelo quadrático pode ser utilizado para descrever a decomposição e a liberação de nutrientes, porém devido à falta de frequência de utilização a extrapolação destes dados pode ser especialmente problemática.

No geral, o padrão de liberação dos nutrientes foi rápida até os 25 DAI, para N, K, Mg e Zn seguido de lenta liberação ao longo do tempo tendendo a estabilização nas últimas avaliações, 125 e 175 DAI. Para P, Ca, S e Cu foram observadas lenta liberação durante todo o experimento, com tendências a estabilização nos últimos DAI (Quadro 3). Crusciol et al. (2008) também obtiveram melhor ajuste do modelo quadrático para a liberação de K e de Mg, porém segundo os autores o melhor ajuste foi relacionado à rápida liberação inicial desses nutrientes e tendência à estabilização nas avaliações subsequentes, devido a liberação de quase todo o K e o Mg contido no resíduo de aveia preta.

Quadro 3. Conteúdo médio observado de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Cu na matéria seca remanescente dos resíduos em cada tempo de avaliação, dias após o início da incubação (DAI), modelo quadrático ajustado para o conteúdo do nutriente remanescente (CNR), seguido do coeficiente de determinação (R²)

Resíduo	Nitrogênio							Fósforo								
	0	DAI			175	Rem ₁₇₅ ⁽¹⁾	Equação	R ²	0	DAI			175	Rem ₁₇₅	Equação	R ²
		25	75	125		%	CNR (\hat{y}) = X ₀ -kt+kt ²			25	75	125		%	CNR (\hat{y}) = X ₀ -kt+kt ²	
		mg	mg	mg	mg	UE ⁻¹			mg	mg	mg	mg	mg	UE ⁻¹		
Milho	43,68 d	28,53	30,08	32,40	32,00	73,26	$\hat{y}=39,41-0,20t+1,0e-3t^2$	0,50	3,12 c	2,79	2,54	2,35	2,58	82,69	$\hat{y}=3,10-0,01t+5,2e-5t^2$	0,97
Braquiária	132,42 b	62,05	63,19	64,63	61,19	46,21	$\hat{y}=114,00-1,07t+4,6e-3t^2$	0,66	7,02 b	4,41	4,46	4,03	4,82	68,66	$\hat{y}=6,45-0,05+2,0e-4t^2$	0,77
Feijão	118,61 c	58,23	60,61	69,45	53,19	44,84	$\hat{y}=100,88-0,75t+3,0e-3t^2$	0,55	7,27 b	5,17	5,12	5,44	5,91	81,29	$\hat{y}=6,76-0,04+2,0e-4t^2$	0,67
Estilosantes	152,08 a	75,08	65,68	70,65	59,97	39,43	$\hat{y}=132,53-1,29t+5,2e-3t^2$	0,73	9,46 a	6,17	5,84	5,10	6,14	64,90	$\hat{y}=8,82-0,07+3,0e-4t^2$	0,84
Resíduo	Potássio							Cálcio								
	0	DAI			175	Rem ₁₇₅	Equação	R ²	0	DAI			175	Rem ₁₇₅	Equação	R ²
		25	75	125		%	CNR (\hat{y}) = X ₀ -kt+kt ²			25	75	125		%	CNR (\hat{y}) = X ₀ -kt+kt ²	
		mg	mg	mg	mg	UE ⁻¹			mg	mg	mg	mg	mg	UE ⁻¹		
Milho	127,00 c	88,75	74,69	54,63	46,27	36,43	$\hat{y}=120,02-0,85t+2,5e-3t^2$	0,95	16,15 d	13,35	13,35	13,04	13,20	81,73	$\hat{y}=15,48-0,05t+2,0e-4t^2$	0,74
Braquiária	201,70 a	123,75	104,42	71,85	64,80	32,16	$\hat{y}=186,43-1,63t+5,4e-3t^2$	0,92	42,28 c	31,49	28,95	30,05	35,21	83,28	$\hat{y}=40,24-0,26t+1,3e-3t^2$	0,86
Feijão	170,38 b	104,16	89,81	62,71	69,48	40,78	$\hat{y}=158,18-1,45t+5,5e-3t^2$	0,91	74,23 a	57,16	49,35	60,33	61,73	83,16	$\hat{y}=70,24-0,39t+2,0e-3t^2$	0,68
Estilosantes	84,10 d	56,20	51,36	30,81	39,88	47,42	$\hat{y}=80,02-0,67t+2,5e-3t^2$	0,90	45,81 b	35,49	33,59	39,63	39,98	87,27	$\hat{y}=43,02-0,18t+1,0e-3t^2$	0,55
Resíduo	Magnésio							Enxofre								
	0	DAI			175	Rem ₁₇₅	Equação	R ²	0	DAI			175	Rem ₁₇₅	Equação	R ²
		25	75	125		%	CNR (\hat{y}) = X ₀ -kt+kt ²			25	75	125		%	CNR (\hat{y}) = X ₀ -kt+kt ²	
		mg	mg	mg	mg	UE ⁻¹			mg	mg	mg	mg	mg	UE ⁻¹		
Milho	22,68 b	18,31	12,35	11,54	10,92	48,15	$\hat{y}=22,39-0,17t+6,0e-4t^2$	0,98	3,42 d	3,23	3,68	3,15	3,71	108,44	$\hat{y} = \bar{y}$	-
Braquiária	31,04 a	21,47	21,32	17,38	19,55	62,98	$\hat{y}=29,12-0,19t+8,0e-4t^2$	0,82	11,04 b	7,28	8,79	7,11	7,67	69,47	$\hat{y}=10,06-0,04t+2,0e-4t^2$	0,50
Feijão	30,86 a	22,96	21,45	20,46	20,55	66,59	$\hat{y}=29,15-0,16t+6,0e-4t^2$	0,85	18,24 a	12,71	11,46	8,03	9,04	49,56	$\hat{y}=17,36-0,13t+5,0e-4t^2$	0,92
Estilosantes	20,32 c	14,67	13,74	12,32	12,87	63,34	$\hat{y}=19,17-0,12t+5,0e-4t^2$	0,87	6,80 c	4,59	5,07	4,47	5,53	81,32	$\hat{y}=6,31-0,04t+2,0e-4t^2$	0,63
Resíduo	Zinco							Cobre								
	0	DAI			175	Rem ₁₇₅	Equação	R ²	0	DAI			175	Rem ₁₇₅	Equação	R ²
		25	75	125		%	CNR (\hat{y}) = X ₀ -kt+kt ²			25	75	125		%	CNR (\hat{y}) = X ₀ -kt+kt ²	
		mg	mg	mg	mg	UE ⁻¹			mg	mg	mg	mg	mg	UE ⁻¹		
Milho	0,13 c	0,10	0,08	0,09	0,08	61,54	$\hat{y}=0,12-0,001t+2,0e-6t^2$	0,86	0,071 c	0,06	0,05	0,04	0,03	42,86	$\hat{y}=0,07-3,0e-4t+7,0e-7t^2$	0,96
Braquiária	0,12 c	0,08	0,08	0,08	0,09	75,00	$\hat{y}=0,11-0,001t+3,0e-6t^2$	0,67	0,033 d	0,03	0,03	0,02	0,02	66,67	$\hat{y}=0,03-1,0e-4t+5,0e-7t^2$	0,99
Feijão	0,35 b	0,26	0,22	0,24	0,22	62,86	$\hat{y}=0,33-0,002t+8,0e-6t^2$	0,80	0,076 b	0,07	0,05	0,05	0,05	62,50	$\hat{y}=0,08-5,0e-4t+2,0e-6t^2$	0,86
Estilosantes	0,60 a	0,49	0,62	0,58	0,54	90,00	$\hat{y} = \bar{y}$	-	0,082 a	0,09	0,08	0,08	0,07	87,50	$\hat{y}=0,08-4,0e-5t-2,0e-7t^2$	0,66

⁽¹⁾ Nutriente remanescente em porcentagem do conteúdo inicial para 175 dias após o início da incubação. * Valores seguidos de mesma letra, na coluna 0 DAI, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Em razão desse padrão não houve bom ajuste do modelo exponencial, normalmente utilizado em trabalhos relacionados à ciclagem de nutrientes.

Em experimentos realizados em campo, observam-se diferentes padrões da cinética de decomposição e de liberação dos nutrientes de resíduos culturais, este fato, muitas vezes é justificada por fatores ambientais, como a frequência e a intensidade de chuvas, como relatado em estudos com resíduos de espécies de braquiária (Pacheco et al., 2011) e com resíduo de milho (Marcelo et al., 2012).

Neste estudo a transferência dos nutrientes do resíduo para o solo, possivelmente pode ter ocorrido pelo manejo de reumedecimento nos resíduos incubados e, ou pelo desenvolvimento e crescimento micelial de fungos, que inicialmente desenvolviam-se no resíduo e ao longo do tempo penetravam no solo.

A intensidade da liberação de N, P e S foi proporcional ao conteúdo inicial desses elementos no resíduo e inversamente proporcional às relações C/N, C/P e C/S. O resíduo de milho, com relação C/N superior a 30 (Quadro 2), tendeu a imobilização apresentando a menor taxa de liberação de N, chegando ao final de 175 DAI com 73,26 % do conteúdo inicial, para o resíduo de estilosantes, com relação C/N inferior a 25, foi observado a maior liberação entre os resíduos (Quadro 3).

O P pode ser encontrado nos resíduos como fosfato de inositol, ácidos nucléicos e fosfolipídios, esses compostos podem ser resistentes à decomposição (Siqueira et al., 2004), no entanto o processo de mineralização é regulado pela relação C/P, onde o valor maior ou igual a 300 tende a imobilização e relação menor que 200 favorece a mineralização. Até 175 DAI, os resíduos de estilosantes e braquiária foram os que mais liberaram P, restando no resíduo 64,90 e 68,66 % do conteúdo inicial, respectivamente (Quadro 3). Embora as relações C/P encontradas inicialmente nos resíduos de braquiária e de feijão sejam semelhantes (Quadro 2), não foi observado a mesma proporção na liberação de P. A maior atividade microbiana e decomposição do resíduo de braquiária, provavelmente alterou o balanço entre imobilização e mineralização, resultando em mineralização antecipada de P em relação ao resíduo de feijão, com menor atividade e decomposição.

Quanto ao S, a relação C/S maior que 400 pode causar imobilização, enquanto menor que 200 implica em mineralização. O feijão foi o resíduo que apresentou maior teor de S e sua relação próxima a 200 explicaria a maior liberação, seguido do resíduo de braquiária, estilosantes e milho, este último com relação C/S

muito alta, o que contribuiu para o conteúdo final de 8,44 % superior ao inicial (Quadro 3).

Desta forma, o desenvolvimento dos microrganismos decompositores seguem requisitos estequiométricos entre o carbono e os nutrientes contidos nos resíduos vegetais (Cleveland & Liptzin, 2007), esta relação estequiométrica do resíduo e da exigência de nutrientes de determinadas comunidades microbianas decompositoras, exerce controle nos processos de imobilização e mineralização (Manzoni et al. 2010; Mooshammer et al. 2012). O controle estequiométrico influencia a estrutura da comunidade microbiana e a atividade enzimática, modificando os padrões de liberação dos nutrientes (Keiblinger et al. 2012). Embora os estudos da teoria estequiométrica, em grande parte, estejam voltados para C:N:P, outros nutrientes podem ser influenciados.

O Ca foi acumulado no resíduo nos últimos dias de avaliação, 125 e 175 DAI, para braquiária, feijão e estilosantes, e no milho com tendência a estabilização. A baixa liberação do Ca, também é relatada em outros trabalhos e pode estar relacionada com a imobilização microbiana deste nutriente no resíduo e, ou com a grande presença deste elemento na parede celular, o que dificulta sua liberação.

Porém Franchini et al. (2001) estudando a mobilidade do Ca de resíduos culturais para o solo, verificaram significativo aumento dos valores de pH nos extratos dos resíduos, inicialmente com valores entre 5 e 6, e após 15 dias de incubação para valores maiores que 7, os autores aliam esse aumento do pH com a descarboxilação de compostos orgânicos que consomem prótons, e que ânions orgânicos estariam formando complexos com o Ca. No entanto, em meio alcalino, a oxidação biológica de compostos orgânicos que contêm cálcio pode resultar na formação de CaCO_3 (Pocknee & Sumner, 1997), este pouco solúvel poderia minimizar a liberação do nutriente, acumulando-o nos resíduos.

Para todos os resíduos a maior liberação ocorreu para o K. O K não está associado a componentes estruturais do tecido vegetal, o que permite fácil liberação deste elemento após o rompimento da membrana plasmática (Marschner, 2003).

O Mg foi o segundo elemento com maior liberação para o resíduo de milho, entretanto para braquiária, feijão e estilosantes este foi o terceiro, antecedido pela liberação do K e do N. Segundo Marschner (2003), 70 % do Mg atua livre no vacúolo, sendo facilmente liberado, os 30 % restantes são liberados de forma gradual, pois fazem parte de componentes estruturais das plantas.

Baixos conteúdos de Zn e Cu foram encontrados nos resíduos, demonstrando pouco potencial como fonte desses micronutrientes, principalmente de Cu. O Zn atua como cofator enzimático, essencial para a atividade, regulação e estabilização da estrutura proteica do vegetal, e o Cu além de ser componente enzimático é componente estrutural da proteína plastocianina (Dechen & Nachtigall, 2006). Ambos fazem parte de estruturas nitrogenadas e foram encontrados em maior conteúdo no resíduo de estilosantes, onde também obteve menor liberação destes (Quadro 3). Estudos de liberação de micronutrientes são escassos, talvez pelo baixo conteúdo encontrado nos resíduos, mas com o aporte contínuo e a manutenção destes sobre o solo, ao longo do tempo, possam a ser importantes.

3.3. pH, fósforo remanescente (P-rem) e teor de nutrientes nos solos

De forma geral, os baixos teores de N total nos solos (Quadro 1), as relações C/N dos resíduos culturais (Quadro 2) e a aplicação única de resíduo na superfície do solo podem ter contribuído para a redução dos teores de carbono orgânico total (COT) dos solos durante a incubação, e quando comparado à testemunha observou-se que o aporte de resíduo estimulou a mineralização do C já existente no solo, em especial para os resíduos com menor decomposição e em solos com maior teor de argila (Figura 2). Em estudo realizado por Zhang et al. (2013) observaram que a aplicação de fonte externa de C favoreceu a mineralização do C nativo dos solos, principalmente quando os solos eram argilosos e possuíam teores menores que 2 g kg^{-1} de N total e relação C/N da fonte de C maior que 10.

Nos solos com resíduos de estilosantes e de braquiária, com maiores decomposições, verificou-se lenta redução do COT ao longo do tempo, quando comparado aos solos com resíduos de milho e feijão (Figura 2), o que pode estar aliado a maior transferência de C desses resíduos para o solo.

Os microrganismos nos solos da testemunha foram estimulados pela condição de incubação, sem adição externa de C e nutrientes, os teores de COT reduziram lentamente em solos com maior teor de argila, e de forma mais acentuada nos solos com menor teor de argila, provavelmente pela maior facilidade de acesso ao C (Figura 2). Os mecanismos de proteção da matéria orgânica dependem das propriedades físico químicas do solo, envolvendo a proteção física por meio dos agregados do solo e a química pela interação entre as cargas das partículas orgânicas

com as dos minerais do solo (Six et al., 2002). Para os demais tratamentos esta diferença na redução de COT em função do teor de argila foi menos pronunciada.

Ao longo do tempo os teores de nitrogênio total (NT) reduziram no solo, essas reduções foram menos pronunciadas nos solos com resíduos de braquiária e de estilosantes (Figura 2), onde se verificou maior liberação de N (Quadro 3).

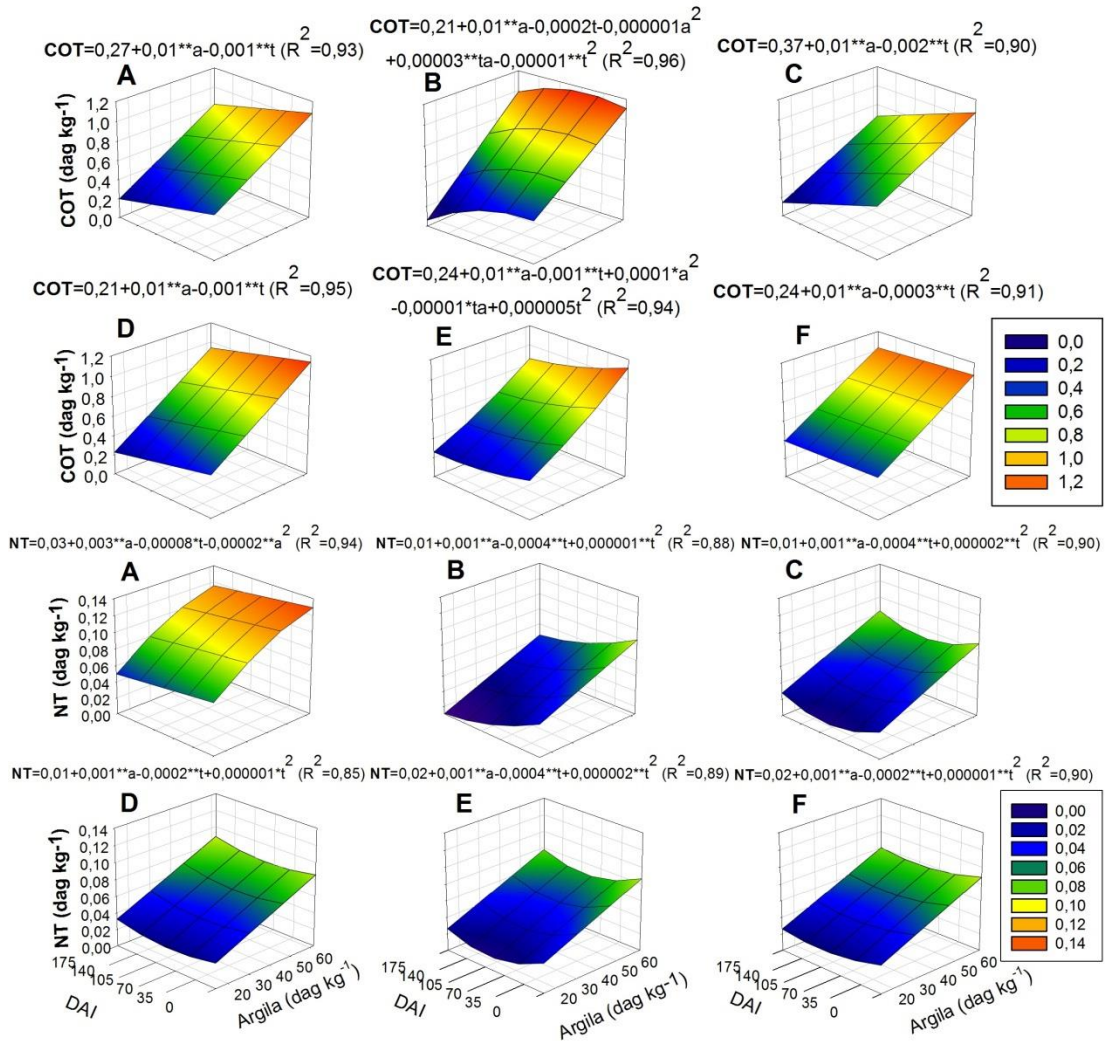


Figura 2. Teores totais de carbono orgânico (COT) e nitrogênio (NT) nos solos com fontes inorgânicas dos nutrientes (A), sem adição de nutrientes e resíduo (B), com resíduo de milho (C), de braquiária (D), de feijão (E) e de estilosantes (F). * e ** Parâmetros da equação significativos a 5 e 1 %, respectivamente, referentes as variáveis: a – teor de argila, t – tempo e ta – interação entre estes. DAI – dias após o início da incubação.

Porém, o efeito da maior liberação de N nos primeiros 25 DAI (Quadro 3) não foi observada no solo, possivelmente parte do N pode ter sido perdido por volatilização, na forma de NH₃. De acordo com Moreira & Siqueira (2006) o processo de mineralização ou amonificação é conhecido pela conversão do nitrogênio orgânico para amônia (NH₃), no solo este pode equilibrar formando

amônio (NH_4^+). Cantarella (2007) resalta que isso ocorre em condições ácidas, em meio alcalino predominaria NH_3 . A alcalinidade no extrato de resíduos orgânicos após 15 dias da incubação foi observada por Franchini et al. (2001), o que resultaria em perdas de N por volatilização.

Os valores de pH reduziram ao longo do tempo de avaliação nos solos que receberam resíduos de braquiária e de estilosantes (Figura 3), a acidificação pode estar relacionada com as transformações do N. O NH_4^+ , originado da mineralização do N, é consumido pelos nitrificadores e rapidamente oxidado a NO_2^- e, posteriormente, a NO_3^- , assim para cada mol de NH_4^+ há liberação de 2 moles de H^+ (Cantarella, 2007). Yan et al. (1996) estudaram a influência de compostos orgânicos nas alterações do pH em solos incubados, e observaram aumento do pH seguido de queda, resultante do processo de nitrificação. Santos et al. (2012), em estudo realizado em campo, verificaram maior acidificação em áreas com resíduos de braquiária e de estilosantes.

De forma inversa, os resíduos de milho, e principalmente feijão aumentaram o pH em solos com menor teor de argila (Figura 3), nestes resíduos também foi observado a menor liberação de N (Quadro 3). Yan et al. (1996) e Souza et al (2007) ressaltam que a oxidação biológica além de consumir prótons, libera elétrons aumentando o pH, aliado a este Pavinato & Rosolem (2008) atribuíram o aumento do pH a complexação de H^+ e Al^{+3} por ácidos orgânicos.

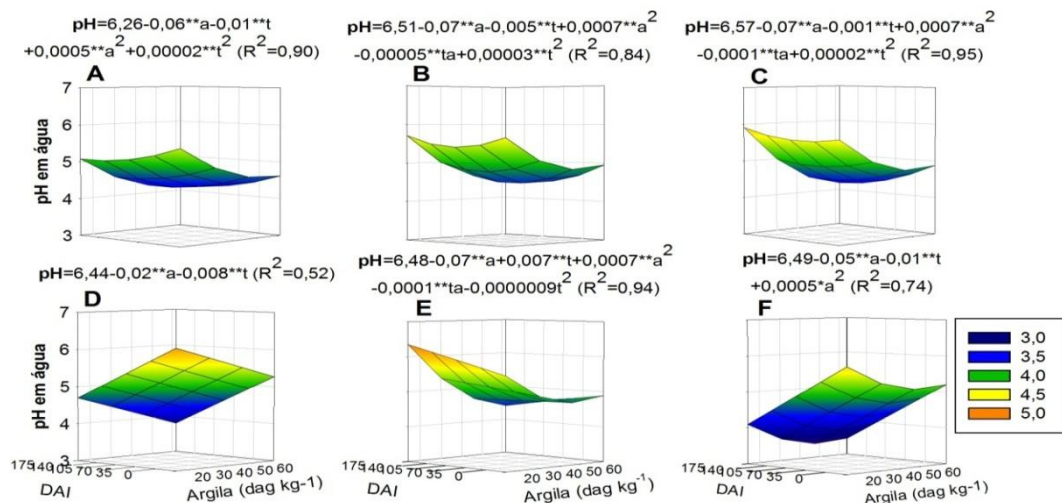


Figura 3. pH em água nos solos com fontes inorgânicas dos nutrientes (A), sem adição de nutrientes e resíduo (B), com resíduo de milho (C), de braquiária (D), de feijão (E) e de estilosantes (F). * e ** Parâmetros da equação significativos a 5 e 1 %, respectivamente, referentes as variáveis: a – teor de argila, t – tempo e ta – interação entre estes. DAI – dias após o início da incubação.

A maior contribuição dos resíduos em relação ao aumento da disponibilidade de nutrientes no solo foi observada para o K, a contribuição seguiu a mesma ordem de liberação, sendo o resíduo de braquiária > feijão > milho > estilosantes (Figura 4).

A contribuição potencial de K desses resíduos nos solos pode ser observada pelos teores iniciais e finais do tempo de avaliação, em que inicialmente foram considerados baixos para os solos muito argiloso e argiloso, e muito baixo para os solos médio e arenoso de acordo com as classes de interpretação de resultados de análise de solo, proposto por Alvarez V. et al. (1999). Ao final dos 175 DAI os teores desse nutriente nos solos com todos os resíduos foram classificados como muito bons.

Quanto ao teor de Mg^{2+} trocável nos solos, a contribuição dos resíduos não seguiu a mesma ordem de liberação deste nutriente, mas a ordem de liberação do K (Figura 4). Provavelmente o aumento da disponibilidade de Mg^{2+} trocável nos solos foi influenciado pela maior quantidade de K liberado, que sem perdas por lixiviação poderia ter deslocado Mg^{2+} do complexo sortivo do solo, aumentando a disponibilidade na mesma ordem que o K.

Franchini et al. (2001) estudando a contribuição de resíduos incubados de nabo forrageiro, tremoço, aveia preta, soja e trigo, na disponibilidade de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K em solo arenoso observaram maior contribuição para o K, seguido do Mg^{2+} .

Reduções nos teores trocáveis de Ca^{2+} foram observadas nos solos de todos os tratamentos (Figura 4). Da mesma forma, essas diminuições dos teores de Ca^{2+} também foi evidenciado por Franchini et al. (2001), nos solos de todos os resíduos. Os autores atribuíram este efeito a complexação por ânions orgânicos, com maior afinidade por Ca^{2+} .

Por outro lado, o Ca^{2+} pode ter sido imobilizado pela biomassa microbiana do solo. Seguindo a relação estequiométrica entre o carbono e os nutrientes do composto orgânico e as exigências nutricionais dos microrganismos decompositores do solo (Sinsabaugh et al., 2008).

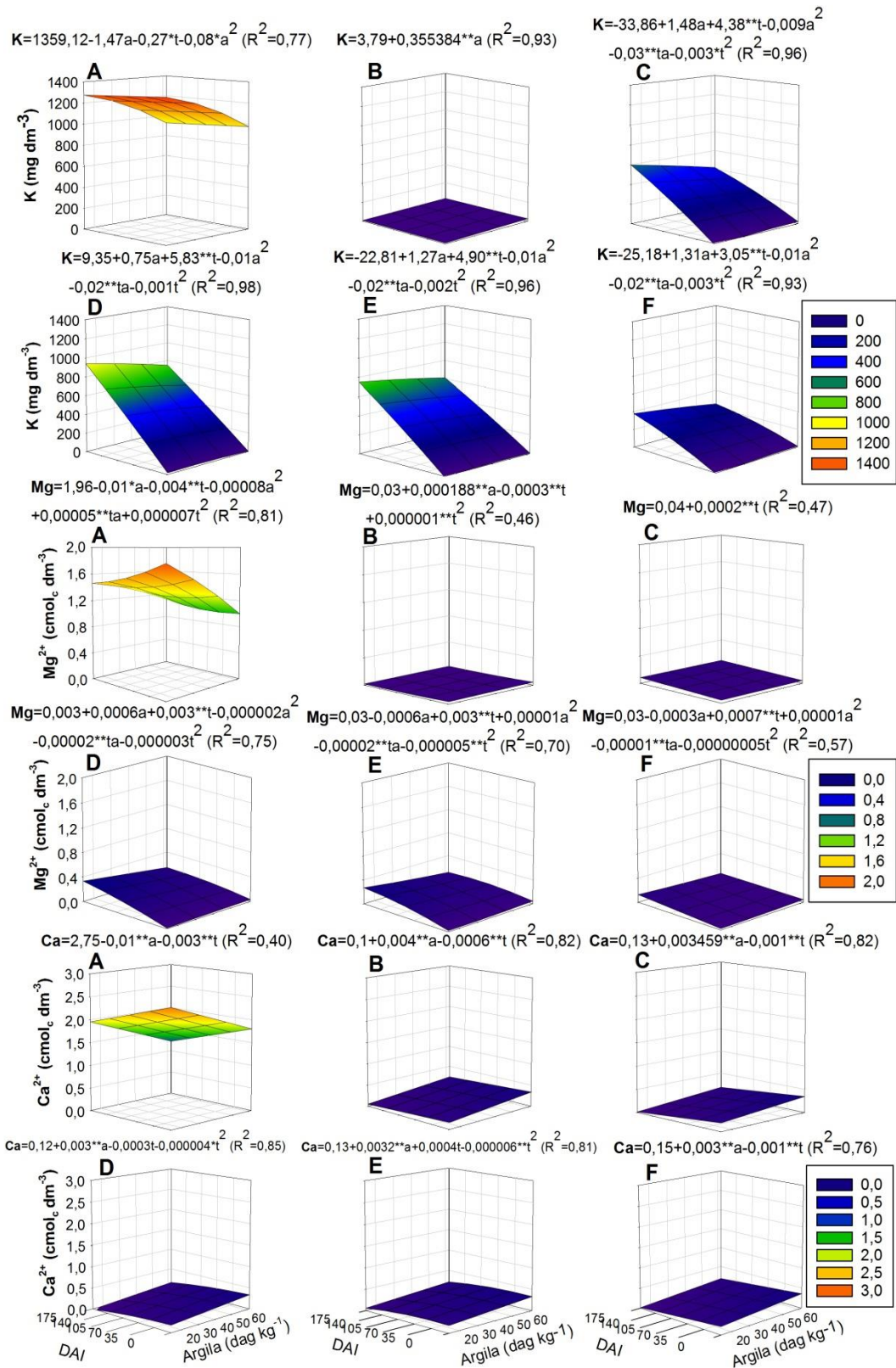


Figura 4. Teores disponíveis de K e trocáveis de Ca²⁺ e Mg²⁺ nos solos com fontes inorgânicas dos nutrientes (A), sem adição de nutrientes e resíduo (B), com resíduo de milho (C), de braquiária (D), de feijão (E) e de estilosantes (F). * e ** Parâmetros da equação significativos a 5 e 1 %, respectivamente, referentes as variáveis: a – teor de argila, t – tempo e ta – interação entre estes. DAI – dias após o início da incubação.

Inicialmente o S disponível nos solos, segundo as classes de interpretação recomendado por Alvarez V. et al. (1999), foi o único nutriente que possuía teores considerados muito bons para os solos com textura muito argilosa, argilosa e média, e bom para a textura arenosa (Quadro 1). Deste modo, em ambiente fechado favoreceria a formação do par iônico entre sulfato (SO_4^{2-}) e o Ca^{2+} , reduzindo a disponibilidade de ambos.

Em solos bem drenados o SO_4^{2-} é a forma predominante de S, que podem formar sais, tendo como o mais estável o sulfato de cálcio (Mello & Perez, 2009). O mesmo pode ter ocorrido com o Mg^{2+} , nas reduções observadas ao longo do tempo nos solos da testemunha e com adição de fontes inorgânicas (Figura 4).

Os teores de S disponível diminuíram durante a incubação, exceto nos solos com resíduo de feijão (Figura 5), esta diminuição pode estar relacionada com a imobilização, formação de pares iônicos com cátions e, ou voltada a adsorção, em semelhança ao P. A adsorção pode ocorrer eletrostaticamente ou por ligação covalente, de acordo com Alvarez V. et al. (2007) a ligação covalente ocorre na adsorção específica que gera redução na disponibilidade do nutriente. Esses autores ainda ressaltam que pelo grau de afinidade dos ânions pelas partículas do solo, o ânion H_2PO_4^- seria mais adsorvido que o SO_4^{2-} , e retido com maior energia.

Os principais fatores que influenciam a adsorção de SO_4^{2-} pelo solo são, o pH, a natureza coloidal, o tempo de reação, a sua concentração na solução do solo, a competição com outros ânions e, ainda, o tipo de cátion acompanhante na solução (Yamada, 1988).

O resíduo de feijão aumentou de forma expressiva a disponibilidade de S nos solos, apresentando ser uma fonte potencial deste nutriente, alcançando o teor potencial médio no solo arenoso, representado pelo teor inicial do solo com adição de fonte mineral. Mas, segundo Alvarez V. et al. (1983) *apud* Alvarez V. et al. (2001), o fosfato monocálcico em ácido acético, utilizado como extrator neste estudo para S disponível, tem a capacidade de colocar em solução maiores quantidades de S disponível em solos arenosos do que solos argilosos, sendo sensível a capacidade tampão de sulfatos dos solos.

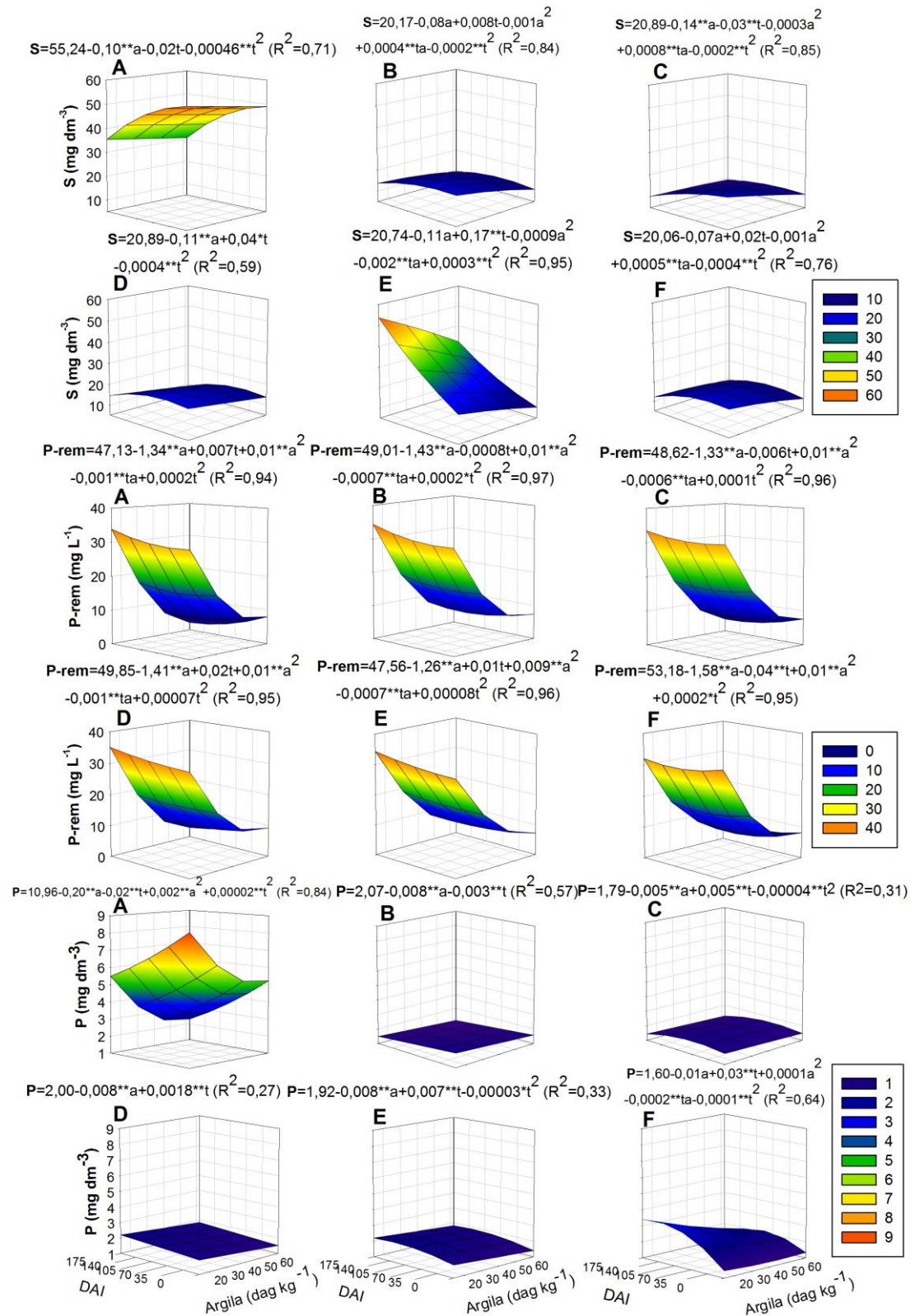


Figura 5. Teores disponíveis de S, Fósforo remanescente (P-rem) e disponíveis de P nos solos com fontes inorgânicas dos nutrientes (A), sem adição de nutrientes e resíduo (B), com resíduo de milho (C), de braquiária (D), de feijão (E) e de estilosantes (F). * e ** Parâmetros da equação significativos a 5 e 1 %, respectivamente, referentes as variáveis: a – teor de argila, t – tempo e ta – interação entre estes. DAI – dias após o início da incubação.

Pouca alteração foi observada no P-rem ao longo dos 175 DAI, apresentando semelhantes padrões entre os tratamentos (Figura 5). Embora algumas pesquisas relatem a relação positiva entre o carbono orgânico total (COT) e P-rem (Pereira et al., 2010; Guareschi et al., 2012), este efeito não foi pronunciado neste estudo.

Os teores de P nos solos que receberam resíduos orgânicos foram menores do que os observados com a adição de fonte mineral (Figura 5). Tal fato aponta para a baixa transferência de P-resíduos para o solo. O maior aumento do P disponível foi observada nos solos com resíduo de estilosantes, com teores aproximados, de 3 mg dm⁻³ para o solo arenoso e de 2 mg dm⁻³ para o muito argiloso, teores ainda considerados muito baixo para solos agrícolas.

Houve diminuição do P disponível no solo que recebeu fonte mineral durante a incubação, o mesmo também foi observado na testemunha e com resíduo de milho (Figura 5), este com a menor liberação de P (Quadro 3). Essas perdas de disponibilidade podem estar envolvidas a processos biológicos, como a imobilização microbiana e, ou, químicos, representadas pela precipitação do P em solução com formas iônicas de Fe, Al e Ca, principalmente, e pela adsorção específica em oxidróxidos de Fe e de Al (Novais et al., 2007), além disso o tempo de contato do P com a argila aumenta a adsorção específica (Machado et al., 2011).

Os maiores teores de P disponível encontrados em solos arenosos em relação aos argilosos, principalmente com adição de fontes inorgânicas dos nutrientes e com resíduos de estilosantes (Figura 5), pode estar relacionado ao desgaste do extrator, sensível à capacidade tampão de P dos solos. O extrator Mehlich-1 pode subestimar os valores de P disponível, com frequência nos solos argilosos, em razão do desgaste do poder de extração (Novais et al., 2007).

A disponibilidade dos micronutrientes, Zn e Cu, foi pouco influenciada pelos resíduos culturais, apresentando semelhança com a testemunha (Figura 6). Os maiores teores de Zn encontrados nos solos que receberam a fonte mineral indicam a baixa transferência de Zn-resíduos para os solos. Embora seja relatado na literatura a influência do pH na disponibilidade de micronutrientes, este estudo não evidencia tal controle para Zn e Cu. Os extratores ácidos, como o Mehlich-1, não são capazes de apresentar a influência do pH do solo na disponibilidade dos micronutrientes (Abreu et al., 2007).

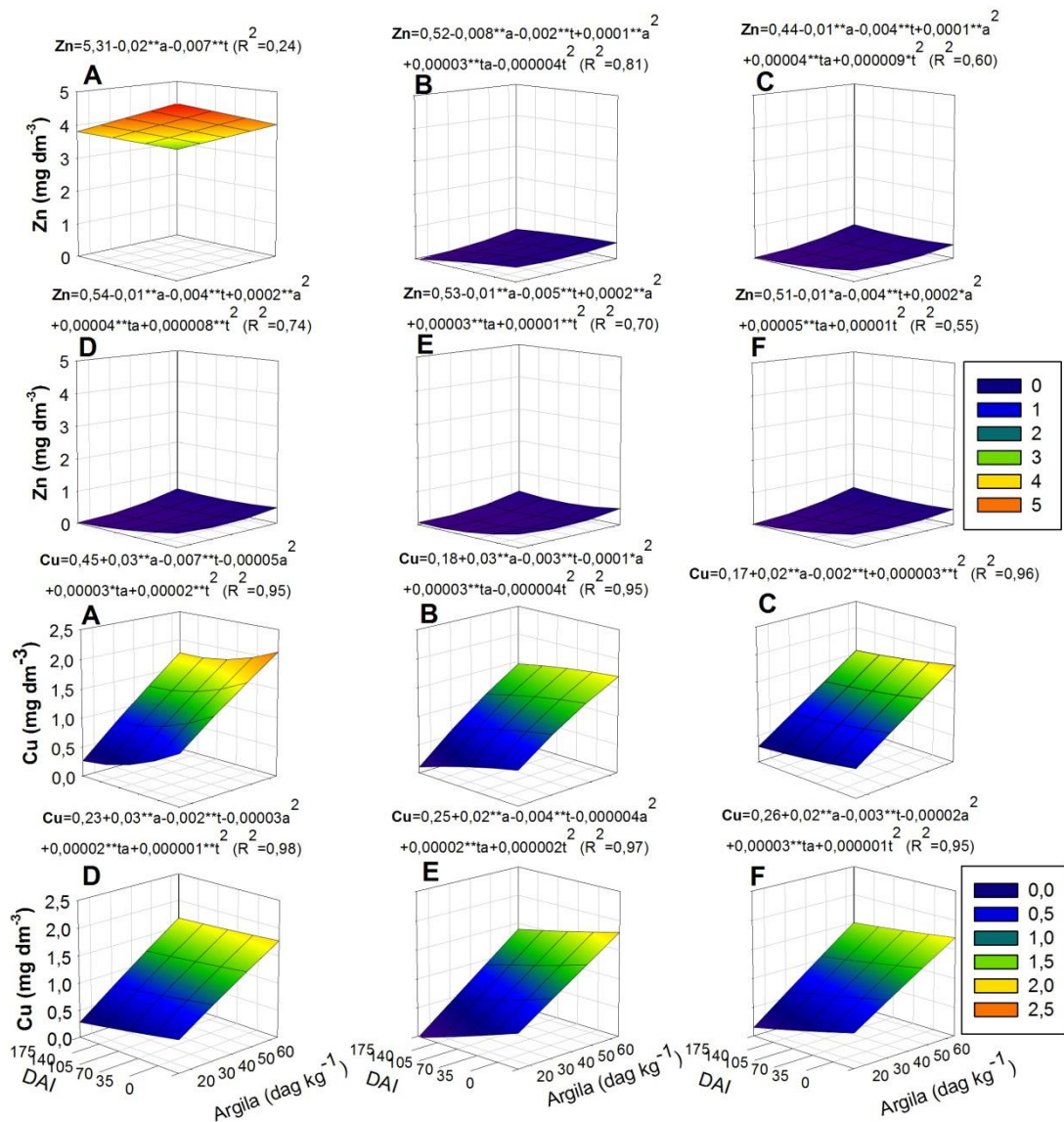


Figura 6. Teores disponíveis de Zn e Cu nos solos com fontes inorgânicas dos nutrientes (A), sem adição de nutrientes e resíduo (B), com resíduo de milho (C), de braquiária (D), de feijão (E) e de estilosantes (F). * e ** Parâmetros da equação significativos a 5 e 1 %, respectivamente, referentes as variáveis: a – teor de argila, t – tempo e ta – interação entre estes. DAI – dias após o início da incubação.

3.4. Taxa de recuperação dos macronutrientes

As maiores taxas de recuperação (TRs) de NT foram encontradas nos solos com adição de N mineral, utilizando o nitrato de amônio, alcançando aproximadamente valores entre 50 a 60 %, a depender do teor de argila (Figura 7). Em solos com resíduos as TRs de NT variaram, o que pode ser atribuído a atividade microbiana, ao pH do solo e as perdas por volatilização.

Maior atividade microbiana aliada à relação C/N maior que 30 do material orgânico pode indicar mais N imobilizado na biomassa microbiana (Voigtlaender,

2012), assim como, o N em solos mais ácidos prevaleceria o $N-NH_4^+$ e segundo Ferreira (2011), em solos ácidos haveria inibição do processo de nitrificação. As perdas por volatilização também podem reduzir potencialmente os valores das TRs, pois seriam quantificados como N liberado.

No geral, as TRs para P foram baixas e o padrão diferente quanto ao tipo de resíduo aportado (Figura 7), pequenas recuperações também foram encontradas por Santos (2010) quando aplicado baixas quantidades de P. Nos solos com resíduos de milho e de feijão observaram-se as maiores TRs, ambos entre o solo de textura média a argilosa, também foi observado maiores taxas no solo muito argiloso quando comparado com os demais tratamentos. Este fato pode estar relacionado com a lenta liberação de P desses resíduos, que favoreceu menor adsorção específica do elemento aos minerais do solo.

Em solos com adição da fonte mineral e com resíduos de estilozantes, onde houve maior e mais rápida liberação de P (Quadro 3), foi observada diminuição da TR à medida que aumentava o teor de argila, segundo Bonfim et al. (2003), isso, normalmente ocorre devido a capacidade tampão de P dos solos.

As TRs de K foram crescentes no tempo, alcançando valores próximos a 80 % para solos com menor teor de argila, resíduos de feijão, estilozantes e milho, e 60 % com braquiária (Figura 7). Medeiros et al. (2010), aplicando doses crescente de fonte solúvel de K, em Latossolos e Argissolos com texturas arenosa, média e argilosa, observaram TRs na faixa de 86 a 106 %, utilizando o Mehlich – 1 como extrator.

As menores TRs para Ca e Mg foram observadas nos solos com aporte de resíduos culturais, podendo indicar que a complexação por ânions orgânicos e, ou a imobilização microbiana ocorrida nos solos possam ser as principais vias para a redução da disponibilidade desses elementos para as plantas, quando comparado as TRs encontradas nos solos com aplicação de fontes inorgânicas (Figura 8). Prezotti (2001) utilizando equações obtidas entre os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} trocáveis recuperadas pelo extrator KCl 1 mol L^{-1} em função de doses aplicadas encontrou TR de 76,61 e 79,90 %, respectivamente.

Para o S, as maiores TRs foram obtidas em solos com resíduo de feijão, e nesses solos quanto maior o teor de argila menor a TR. Por outro lado, as menores TRs de S foram observadas nos solos com resíduo de milho, principalmente em solo

com menor teor de argila (Figura 8), que pode estar relacionado com a imobilização microbiana de S.

Souza (1999) obteve recuperação de 51,1 % do S aplicado no solo, menor taxa de recuperação foi observada por Prezotti (2001), 15,4 % de S, ambos utilizando o extrator fosfato monocálcico em ácido acético para o S disponível no solo.

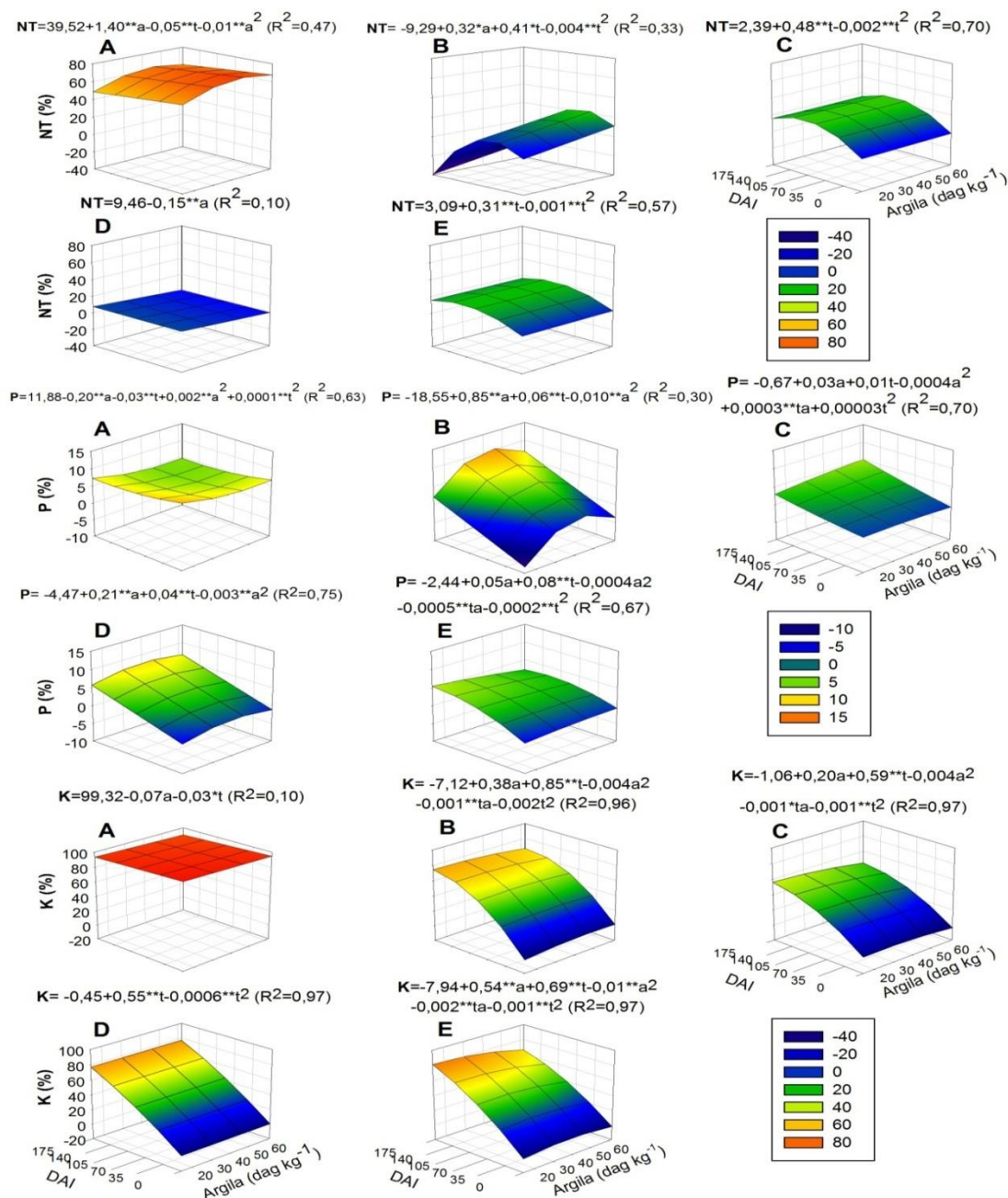


Figura 7. Taxas de recuperação do nitrogênio total (NT), do P e do K disponíveis nos solos com, fontes inorgânicas dos nutrientes (A), resíduo de milho (B), de braquiária (C), de feijão (D) e de estilpnite (E). * e ** Parâmetros da equação significativos a 5 e 1 %, respectivamente, referentes: a – teor de argila, t – tempo e ta – interação entre estes. DAI – dias após o início da incubação.

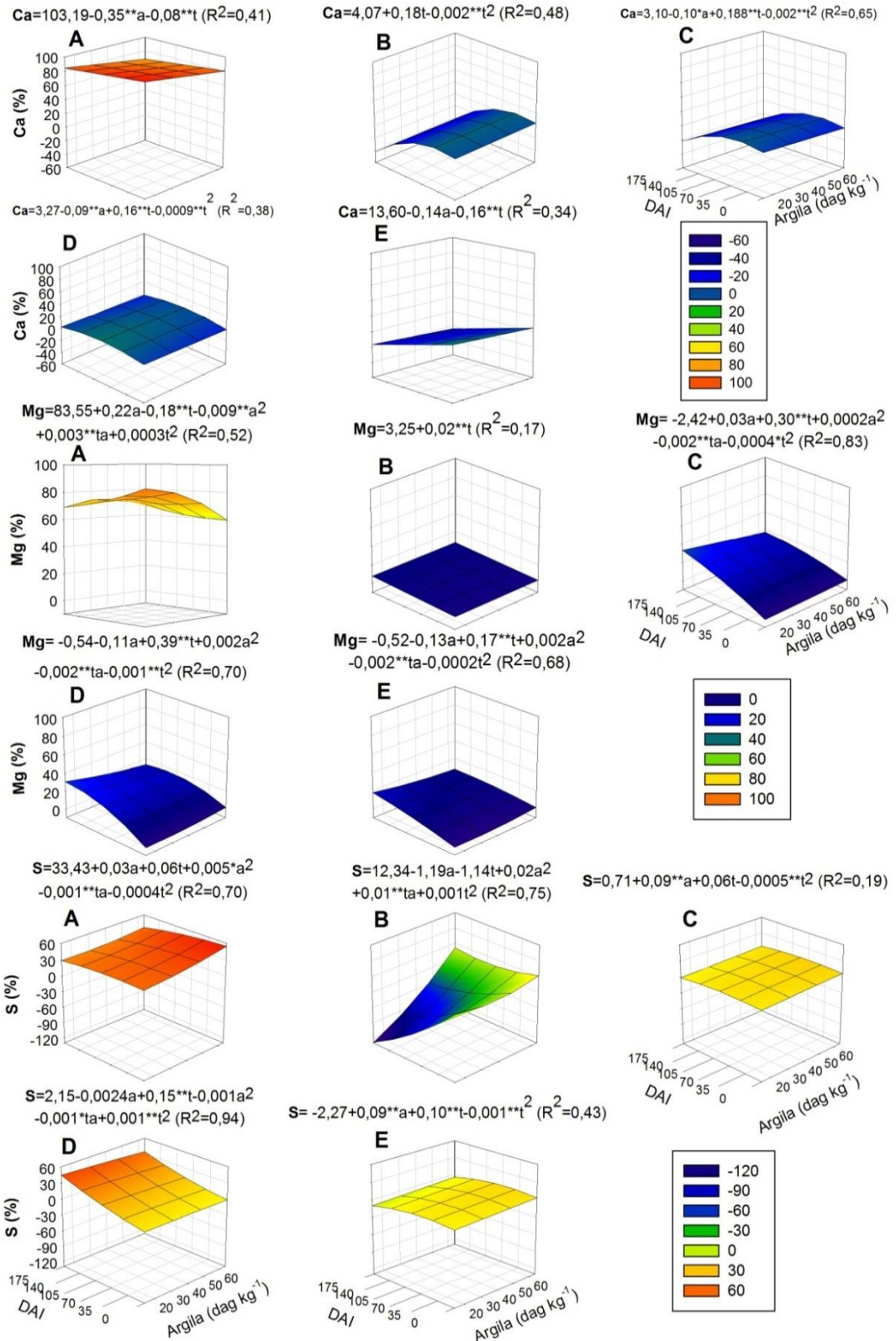


Figura 8. Taxas de recuperação do Ca, do Mg e do S disponíveis nos solos com, fontes inorgânicas dos nutrientes (A), resíduo de milho (B), de braquiária (C), de feijão (D) e de estilpnites (E). * e ** Parâmetros da equação significativos a 5 e 1 %, respectivamente, referentes: a – teor de argila, t – tempo e ta – interação entre estes. DAI – dias após o início da incubação.

4. CONCLUSÕES

- A decomposição dos resíduos culturais aportados na superfície do solo e a liberação de nutrientes são influenciadas pela composição química e bioquímica dos resíduos culturais ao longo dos 175 dias de avaliação;
- A textura do solo e o tempo de incubação regulam o pH, os teores totais de carbono orgânico, de nitrogênio e dos nutrientes disponíveis provindos de cada tipo de resíduo;
- Os nutrientes liberados, a partir de resíduos culturais, não estão, totalmente, nas formas disponíveis às plantas nos solos com diferentes texturas, ocorrendo as menores taxas de recuperação para Ca, Mg e K.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- O estudo auxilia na compreensão dos efeitos da ciclagem biogeoquímica dos nutrientes de resíduos culturais, e informa as relações entre os nutrientes liberados do resíduo com a forma disponível destes no solo, podendo, no futuro, ser incorporados a sistemas de recomendação de corretivos e fertilizantes que visem os resíduos culturais como fonte de nutrientes;
- Estudos futuros devem ser desenvolvidos a fim de investigar os processos e fatores que controlam a transferência dos nutrientes dos resíduos culturais ao solo, e a proporção em que esses estão envolvidos, bem como os reflexos na disponibilidade dos nutrientes em diferentes solos.

6. LITERATURA CITADA

ABREU, C.A.; LOPES, A.S. & SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.645-736.

ADAMS, M.A. & ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling and nitrogen mineralization in eucalypt forests south-eastern Australia I. Nutrient Cycling and nitrogen turnover. *Plant and Soil*, 92:319-339, 1986.

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura de solo solteiras e consorciadas. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, 27:601-612, 2003.

ALBRECHT, A.; CADISCH, G.; BLANCHART, E.; SITOMPUL, S.M. & VANLAUWE, B. Below-ground inputs: relationships with soil quality, soil C storage and soil structure. In: NOORDWIJK, M.V.; CADISCH, G. & ONG, C.K.,

eds. Below-ground interactions in tropical agroecosystems: Concepts and models with multiple plant components. Wallingford, CAB International, 2004. p.193-207.

ALVAREZ V., V.H.; ROSCOE, R.; KURIHARA, C.H. & PEREIRA, N.F. Enxofre. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa – MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. Cap. X, p. 595-644.

ALVAREZ V., V.H.; DIAS, L.E.; RIBEIRO, F.S.; SOUZA, R.B. & FONSECA, C.A. Métodos de análises de enxofre em solos e plantas. Viçosa, MG, Editora UFV, 2001. 131p.

ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5a Aproximação. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999, p.43-60.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. Normas técnicas ABCP. São Paulo: ABTCP, 1974.

BELLOTE A.F.; DEDECEK R.A. & SILVA H.D. Nutrientes minerais, biomassa e deposição de serapilheira em plantio de Eucalyptus com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. Pesquisa Florestal Brasileira, 56:31-41, 2008.

BERTRAND, I.; CHABBERT, B.; KUREK, B. & RECOUS, S. Can the biochemical features and histology of wheat residues explain their decomposition in soil? Plant and Soil, Amsterdam, 281:291-307, 2006.

BONFIM, E.M.S.; FREIRE, F.J.; SANTOS, M.V.F.; SILVA, T.J.A. & FREIRE, M.B.G.S. Avaliação de extratores para determinação de 12 fósforo disponível de solos cultivados com *Brachiaria brizantha*. Acta Scientiarum Agronomy, 25:323-328, 2003.

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. Revista Ceres, 21:73-85, 1974.

BREMNER, J.M. & MULVANEY, C.S. Nitrogen-total. In: PAGE, A.L. (Ed.). Methods of soil analysis. Madison: ASA, 1982. pt.2, p.595-624.

CALONEGO, J.C.; GIL, F.C.; ROCCO, V.F. & SANTOS, E.A. Persistência e liberação de nutrientes da palha de milho, braquiária e labe-labe. Bioscience Journal 28:770-781, 2012.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.375-470.

CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F. de; MARTINEZ, H.E.P. & NOVAIS, R.F. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F., ALVAREZ V., V.H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B.

& NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do Solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 769-872.

CLEVELAND, C.C. & LIPTZIN, D. C:N:P stoichiometry in soil: is there a "Redfield ratio" for the microbial biomass? *Biogeochemistry*, 85: 235–252, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Brasil. Acompanhamento de safra brasileira: grãos, oitavo levantamento, maio 2013. Brasília, 2013. 30p. (Publicação mensal). Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_05_09_11_56_07_boletim_2_mai_2013.pdf Acesso em: maio 2013.

CRUSCIOL, C.A.C.; MORO, E.; LIMA, E. do V. & ANDREOTTI, M. Taxas de decomposição e de liberação de macronutrientes da palhada de aveia preta em plantio direto. *Bragantia*, 67:481-489, 2008.

CURL, E.A. & RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R.E., eds. *Research methods in weed science*. Atlanta: Southern Weed Society, 1972. p.162-194.

DE FILIPPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. *Análise química do solo (metodologia)*. 2 ed. Viçosa: UFV, 1997. 26p.

DECHEN, A.R. & NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes In: FERNANDES, M.S., ed. *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. cap. 13, p. 327-354.

DEVI, B.N. & YADAVA, P.S. Influence of climate and litter quality on litter decomposition and nutrient release in sub-tropical forest of Northeast India. *Journal of Forest Research*, 21:143-150, 2010.

DUNGAIT, J.A.J.; HOPKINS D.W.; GREGORY A.S. & WHITMORE A.P. Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. *Global Change Biology*, 18:1781–1796, 2012.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA - FEBRAPDP. *Plantio direto em números*. 2011. Disponível em: http://www.febrapdp.org.br/download/publicacoes/Importancia_da_palahada_no_Sistema_Plantio_Direto-faca_chuva_ou_faca_sol.pdf. Acesso em: abr. 2012.

FERREIRA, C.A.; SILVA, H.D. da; REISSMANN, C.B.; BELLOTE, A.F.J. & MARQUES, R. *Nutrição de Pinus no Sul do Brasil: diagnóstico e prioridades de pesquisa*. Colombo: Embrapa Florestas, 2001. 23 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 60).

FERREIRA, D.F. *SISVAR Versão 5.3. Sistema de análises estatísticas*. Departamento de Ciências Exatas. UFLA, Lavras, MG, 2010.

FERREIRA, N.F.R. Potencial de nitrificação líquida em solos da ilha Terceira. Angra do Heroísmo, Açores - Portugal, Universidade dos Açores, 2011. 80p. (Tese de Mestrado).

FLOSS, E. Benefícios da biomassa de aveia ao sistema de semeadura direta. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, 57 (1): 25-29, 2000.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO AQUASTAT database, conservation agriculture, 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/ca/6c.html> Acesso em: maio 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. FAO statistical yearbook, world food and agriculture, 2012, Rome. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/015/i2490e/i2490e00.htm>. Acesso em: maio 2013.

FOSTER, N.W. & BHATTI, J.S. Forest ecosystems: Nutrient cycling. Encyclopedia of Soil Science, 2006. p. 718-721.

FRANCHINI, J.C.; GONZALEZ-VILA, F.J.; CABRERA, F.; MIYAZAWA, M. & PAVAN, M.A. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. Plant Soil, 231:55- 63, 2001.

GAILLARD, V.; CHENU, C. & RECOUS, S. Carbon mineralization in soil adjacent to plant residues of contrasting biochemical quality. Soil Biology & Biochemistry 35:93-99, 2003.

GAMA-RODRIGUES, A.C.; GAMA-RODRIGUES, E.F. & BRITO, E.C. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura em Argissolo VermelhoAmarelo na região noroeste fluminense-RJ. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 31:1421-1428, 2007.

GRUBESIC, R. J.; VUKOVIC, J.; KREMER, D. & VLADIMIR-KNEZEVIC, S. Spectrophotometric method for polyphenol analysis: Prevalidation and application on Plantago L. species. Journal of Pharmaceutical Biomedical Analysis 39: 837–842. 2005.

GUARESCHI, R.F.; PEREIRA, M.G. & PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36:909-920, 2012.

JENSEN, L.S. SALO, T.; PALMASON, F.; BRALAND T.A.; HENRIKSENT.M.STEMBERG, B.; PEDERSEN, A.; LUNDSTRÖM, C. & ESALA, M. Influence of biochemical quality on C and N mineralisation from a broad variety of plant materials in soil. Plant and Soil, Amsterdam, 273:307- 326, 2005.

JOHNSON, J.M.F.; BARBOUR, N.W. & LACHNIGHT-WEYERS, S. Chemical composition of crop biomass impacts its decomposition. Soil Science Society America Journal, 71:155–162, 2007.

KEIBLINGER, K.M.; SCHNEIDER, T.; ROSCHITZKI, B.; SCHMID, E.; EBERL, L.; HÄMMERLE, I.; LEITNER, S.; RICHTER, A.; WANEK, W.; RIEDEL, K. & ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Effects of stoichiometry and temperature perturbations on beech leaf litter decomposition, enzyme activities and protein expression. *Biogeosciences*, 9:4537–4551, 2012

KLIEMANN, H.J.; BRAZ, A.J.P.B. & SILVEIRA, P.M. Taxa de decomposição de resíduos de espécies de cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 36:21-28, 2006.

KURSCHNER, K. & HOFFER, A. Technical chemical paper. *Zellstoff Fabr.*, 26, 1979, p.125.

LITTELL, R.C.; MILLIKEN, G.A.; STROUP, W.W.; WOLFINGER, R.D. & SCHABENBERGER, O. SAS for MIXED models. Cary: SAS Institute, 2006. 633 p.

MACHADO, V.J.; SOUZA, C.H.E.; ANDRADE, B.B; LANA, R.M.Q. & KORNDÖRFER, G.H. Curvas de disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico. *Bioscience Journal*, 27(1):70-76, 2011.

MANZONI, S., TROFYMOW, J.A., JACKSON, R.B. & PORPORATO, A. Stoichiometric controls on carbon, nitrogen, and phosphorus dynamics in decomposing litter. *Ecological Monographs*, 80, 89–106, 2010.

MARCELO, A.V.; CORÁ, J.E & FERNANDES, C. Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II - Decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1568-1582, 2012.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. London, United Kingdom: Academic Press. 2003. 889p.

MEDEIROS, J.S.; OLIVEIRA, F.H.T.; ARRUDA, J.A.; VIEIRA, M.S. & FONTES, M.P.F. Eficiência de extratores de potássio disponível em solos do estado da paraíba com graus de desenvolvimento pedogenético diferentes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:183-194, 2010.

MELLO, J.W.V. & PEREZ, D.V. III – Equilíbrio químico das reações no solo. In: MELO, V.F. & ALLEONI, L.R.F., eds. *Química e Mineralogia do Solo. Parte I – Conceitos básicos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 151-250.

MONTEIRO, H.C.; CANTARUTTI, R.B.; JUNIOR, D.; REGAZZI, A.J. & FONSECA, M. Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 31:1092-1102, 2002.

MOOSHAMMER, M., WANEK, W., SCHNECKER, J., WILD, B., LEITNER, S., HOFHANSL, F., BLÖCHL, A., HÄMMERLE, I., FRANK, A. H., FUCHSLUEGER, L., KEIBLINGER, K. M., ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S., & RICHTER, A. Stoichiometric controls of nitrogen and phosphorus cycling in decomposing beech leaf litter, *Ecology*, 93:770–782, 2012.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2º Ed. Editora UFLA: Lavras, 2006. 729p.

MORETTO, A.S., DISTEL, R.A. & DIDONE, N.G. Decomposition and nutrient dynamics of leaf litter and roots from palatable and unpalatable grasses in a semi-arid grassland. *Applied Soil Ecology*, 18:31–37, 2001.

NOVAIS, R.F. & MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.134-177.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J. & NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-537.

OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44:322-331, 1963.

PACHECO, L.P.; LEANDRO, W.M.; MACHADO, P.L.O. de A.; ASSIS, R.L.; COBUCCI, T.; MADARI, B.E. & PETTER, F.A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46:17-25, 2011.

PAUL, E.A. & CLARK, F.E. Soil microbiology and biochemistry. San Diego, Academic Press. 1989. 275 p.

PAVINATO, P.S. & ROSOLEM, C.A. Disponibilidade de nutrientes no solo: Decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:911-920, 2008.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J. & TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 45:508-514, 2010.

POCKNEE, S. & SUMNER, M.E. Cation and nitrogen contents of organic matter determine its soil liming potential. *Soil Science Society America Journal*, 61:86-92, 1997.

PRESCOTT, C.E. Decomposition and mineralization of nutrients from litter and humus. In: RAD, H. B., ed. Nutrient acquisition by plants an ecological perspective: ecological studies. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 2005. p. 15–41.

PREZOTTI, L.C. Sistema para recomendação de corretivos e de fertilizantes para a cultura do café arábica. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 93p. (Tese de Doutorado).

REDIN, M. Composição bioquímica e decomposição da parte aérea e raízes de culturas comerciais e de plantas de cobertura do solo. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS. 2010. (Tese de mestrado).

REISSMANN, C.B. & WISNIEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de Pinus. In: GONÇALVEZ, J.L.M. & BENEDETTI, V., eds. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-165.

RUIZ, H.A. Incremento da exatidão da análise granulométrica do solo por meio da coleta da suspensão (silte + argila). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29:297-300, 2005.

SANTOS, G.G.; SILVEIRA, P.M.; MARCHÃO, R.L.; PETTER, F.A. & BECQUER, T. Atributos químicos e estabilidade de agregados sob diferentes culturas de cobertura em latossolo do cerrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16(11):1171-1178, 2012.

SANTOS, H.C. Cinética de sorção e disponibilidade de fósforo em função do tempo de contato do fósforo com o solo. Areia, PB, Universidade Federal da Paraíba, 2010. 56p. (Tese de Doutorado).

SAS Institute Inc., Post-Installation Guide for the SAS[®] System Version 9 for Microsoft[®] Windows[®], Cary, NC: SAS Institute Inc., 2002.

SILVER, W.L. & MIYA, R.K. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. Oecologia, New York, 129(1):407-419, 2001.

SINSABAUGH, R. L.; LAUBER, C. L.; WEINTRAUB, M. N.; AHMED, B.; ALLISON, S. D.; CRENSHAW, C.; CONTOSTA, A. R.; CUSACK, D.; FREY, S.; GALLO, M. E.; GARTNER, T. B.; HOBBIE, S. E.; HOLLAND, K.; KEELER, B. L.; POWERS, J. S.; STURSOVA, M.; TAKACS-VESBACH, C.; WALDROP, M. P.; WALLENSTEIN, M. D.; ZAK, D. R., & ZEGLIN, L. H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale, Ecology Letters, 11:1252–1264, 2008.

SIQUEIRA, J. O.; ANDRADE, A. T. & FAQUIN, V. O papel dos microrganismos na disponibilização e aquisição de fósforo pelas plantas. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S., eds. Fósforo na agricultura brasileira. Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. p. 117-156.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A. & PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. Plant Soil, 241:155–176, 2002.

SOUZA, D.M.G.; MIRANDA, L.N. & OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L., eds. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.205-274.

SOUZA, R.B. Níveis críticos de enxofre em solos e em folhas de cultivares de café. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 88p. (Tese de Doutorado).

TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY - TAPPI. Testing methods. recommended practices specification. New York. TAPPI Standards. 1969.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S. J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS-Departamento de Solos, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, C.M.; CARVALHO, G.J.; SILVA, C.A.; ANDRADE, M.J.B. & PEREIRA, J.M. Liberação de macronutrientes das palhadas de milheto solteiro e consorciado com feijão-de-porco sob cultivo de feijão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:497-506, 2010.

TIAN, G.; BADEJO, M.A.; OKOH, A.I.; ISHIDA, F.; KOLAWOLE, G.O.; HAYASHI, Y. & SALAKO, F.K. Effects of residue quality and climate on plant residue decomposition and nutrient release along the transect from humid forest to Sahel of West Africa. *Biogeochemistry*, 86:217-229, 2007.

TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINE`RES, M.; CHE`NEBY, D. & NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 64(3):918-926, 2000.

VOIGTLAENDER, M. Produção de biomassa aérea e ciclagem de nitrogênio em consórcio de genótipos de *Eucalyptus* com *Acacia mangium* Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2012. 95 p. (Tese de Doutorado).

WIEDER, R.K. & LANG, G.E. A critique of the analytical methods used in examining decomposition data obtained from litter bags. *Ecology*, 63:1636-1642, 1982.

YAMADA. T. Capacidade de adsorção máxima de sulfatos no solo como parâmetro adicional na recomendação de gesso. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 1988. 73 p. (Tese de Doutorado).

YAN, F.; SCHUBERT, S. & MENGEL, K. Soil pH increase due to biological decarboxylation of organic anions. *Soil Biology & Biochemistry*, 28:617-624, 1996.

YEOMANS, J.C. & BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 19:1467-1476, 1988.

ZHANG, W.; WANG, X. & WANG, S. Addition of external organic carbon native soil organic carbon decomposition: A meta-analysis. *Plos one*, 8:1-6, 2013.

7. ANEXOS

ANEXO A. Análise da variância do conteúdo inicial de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Cu de cada resíduo

FV⁽¹⁾	GL⁽²⁾	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu
R⁽³⁾	3	8980,02***	27,84***	10519,60***	2258,41***	122,84***	163,40***	0,21***	0,002***
Erro	12	25,73	0,34	154,80	17,92	0,82	1,03	0,0003	0,00003
Média	-	111,70	6,72	145,79	44,62	26,22	9,88	0,30	0,07
CV (%)	-	4,54	8,71	8,53	9,49	3,46	10,29	6,13	8,43

⁽¹⁾ Fonte de variação. ⁽²⁾ Graus de liberdade. ⁽³⁾ Tipo de resíduo cultural. ns, *, **, *** - não significativo, significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F, respectivamente.

ANEXO B. Análise da variância para C-CO₂ líquido acumulado em 175 dias após o início da incubação, da matéria seca remanescente (MSR) e do N, P, K, Ca, Mg, S, Zn e Cu remanescente na matéria seca do resíduo

FV ⁽¹⁾	GL ⁽²⁾	Quadrado médio									
		C-CO ₂	MSR	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu
R ⁽³⁾	3	27199,97***	75,36***	41758,87***	224,29***	56176,58***	29530,89***	1612,18***	1098,50***	3,99***	0,04***
A ⁽⁴⁾	3	398,22*	0,11**	17,25 ns	0,37 ns	241,49**	7,55 ns	7,70**	1,52*	0,001 ns	0,0001 ns
T ⁽⁵⁾	4	-	214,27***	40978,94***	63,58***	89241,94***	1579,40***	1237,12***	159,88***	0,04***	0,005***
R x A	9	123,95 ns	0,05*	41,37*	0,18 ns	73,05 ns	47,89***	4,10**	0,73 ns	0,004 ns	0,00009 ns
R x T	12	-	2,79***	3248,02***	6,34***	3838,79***	191,00***	31,58***	51,64***	0,02***	0,0007***
A x T	12	-	0,03 ns	27,81 ns	0,16 ns	42,44 ns	14,50 ns	2,77 ns	0,64 ns	0,0001 ns	0,00001 ns
R x A x T	36	-	0,03 ns	19,75 ns	0,15 ns	39,23 ns	17,16 ns	1,82 ns	0,51 ns	0,0001 ns	0,00002 ns
Erro	240	132,55	0,03	17,01	0,21	54,13	14,57	1,60	0,49	0,0004	0,00003
Média	-	473,58	5,29	66,70	4,98	85,84	36,72	18,83	7,25	0,25	0,05
CV (%)	-	2,43	3,09	6,18	9,31	8,57	10,40	6,71	9,61	8,82	9,55

⁽¹⁾ Fonte de variação. ⁽²⁾ Graus de liberdade. ⁽³⁾ Tipo de resíduo cultural. ⁽⁴⁾ Teor de argila. ⁽⁵⁾ Tempo de incubação. ns, *, **, *** - não significativo, significativo a 5, 1 e 0,1 % pelo teste F, respectivamente.

ANEXO C. Teores totais de carbono orgânico (COT) e de nitrogênio (NT), e valores de pH em água em cada avaliação, dias após o início da incubação (DAI), nos solos com diferentes texturas da testemunha, com o aporte de fontes inorgânicas dos nutrientes (FI), de resíduo de milho, de braquiária, de feijão e de estilosantes (média de 4 repetições)

Resíduo	COT (dag kg ⁻¹)					NT (dag kg ⁻¹)					pH em água				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
Muito argilosa															
FI	1,11	1,00	0,91	0,88	0,84	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	4,78	4,27	4,26	4,22	4,06
Testemunha	1,11	1,13	1,13	1,13	0,98	0,10	0,07	0,07	0,07	0,06	4,78	4,78	4,67	4,62	4,65
Milho	1,11	1,01	0,85	0,80	0,66	0,10	0,07	0,07	0,07	0,07	4,78	4,70	4,47	4,15	4,22
Braquiária	1,11	1,15	1,12	0,97	0,89	0,10	0,07	0,08	0,08	0,08	4,78	5,68	5,18	4,05	3,77
Feijão	1,11	1,04	0,99	0,94	0,88	0,10	0,07	0,07	0,06	0,07	4,78	4,75	4,71	4,57	4,43
Estilosantes	1,11	1,09	1,04	1,03	1,07	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	4,78	5,17	4,92	3,47	3,55
Argilosa															
FI	0,85	0,88	0,85	0,64	0,66	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	4,87	4,39	4,37	4,39	4,18
Testemunha	0,85	0,94	0,91	0,82	0,67	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	4,87	4,87	4,67	4,37	4,73
Milho	0,85	0,85	0,81	0,57	0,46	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	4,87	4,78	4,60	4,37	4,44
Braquiária	0,85	0,94	0,86	0,77	0,64	0,08	0,05	0,06	0,06	0,06	4,87	6,07	5,16	4,05	3,98
Feijão	0,85	0,79	0,68	0,56	0,56	0,08	0,06	0,05	0,05	0,06	4,87	4,88	4,76	4,84	4,60
Estilosantes	0,85	0,85	0,78	0,75	0,76	0,08	0,06	0,06	0,06	0,06	4,87	5,34	4,33	3,66	3,65

Continua...

ANEXO C. Continuação

Resíduo	COT (dag kg ⁻¹)					NT (dag kg ⁻¹)					pH em água				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
	Média														
FI	0,61	0,58	0,50	0,41	0,38	0,09	0,08	0,09	0,09	0,09	5,09	4,66	4,66	4,67	4,50
Testemunha	0,61	0,63	0,58	0,33	0,33	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	5,09	5,09	4,92	4,68	4,94
Milho	0,61	0,74	0,54	0,39	0,28	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	5,09	5,16	4,90	4,90	5,16
Braquiária	0,61	0,61	0,47	0,43	0,52	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	5,09	6,60	4,72	4,49	4,45
Feijão	0,61	0,48	0,51	0,42	0,46	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	5,09	5,16	5,04	5,40	5,37
Estilosantes	0,61	0,74	0,66	0,59	0,56	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	5,09	5,85	4,33	3,99	3,83
	Arenosa														
FI	0,39	0,45	0,47	0,23	0,12	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	5,62	5,22	5,21	5,23	5,10
Testemunha	0,39	0,39	0,38	0,29	0,06	0,04	0,01	0,01	0,02	0,02	5,62	5,63	5,55	5,32	5,38
Milho	0,39	0,54	0,40	0,19	0,17	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	5,62	5,81	5,67	5,67	6,00
Braquiária	0,39	0,44	0,31	0,26	0,25	0,04	0,01	0,03	0,03	0,04	5,62	7,36	5,05	5,10	5,04
Feijão	0,39	0,29	0,34	0,24	0,23	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	5,62	5,74	5,70	6,44	6,41
Estilosantes	0,39	0,39	0,31	0,37	0,48	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	5,62	6,47	4,39	4,51	4,28

ANEXO D. Teores disponíveis de K e trocáveis de Mg²⁺ e Ca²⁺ em cada avaliação, dias após o início da incubação (DAI), nos solos com diferentes texturas da testemunha, com o aporte de fontes inorgânicas dos nutrientes (FI), de resíduo de milho, de braquiária, de feijão e de estilosantes (média de 4 repetições)

Resíduo	K (mg dm ⁻³)					Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)					Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
Muito argilosa															
FI	983	951	911	936	949	0,96	0,95	1,04	1,15	1,01	1,85	1,78	1,65	1,41	1,29
Testemunha	26	26	26	27	25	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,31	0,32	0,30	0,26	0,25
Milho	26	84	206	368	384	0,04	0,06	0,05	0,07	0,08	0,31	0,33	0,29	0,27	0,16
Braquiária	26	100	287	610	724	0,04	0,07	0,08	0,13	0,15	0,31	0,35	0,30	0,25	0,20
Feijão	26	76	227	534	584	0,04	0,08	0,07	0,18	0,10	0,31	0,35	0,34	0,29	0,26
Estilosantes	26	45	114	204	244	0,04	0,04	0,04	0,06	0,06	0,31	0,33	0,36	0,18	0,20
Argilosa															
FI	1208	1174	1095	1112	1070	1,33	1,27	1,14	1,35	1,27	1,76	1,75	1,71	1,76	1,59
Testemunha	21	20	19	20	19	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,26	0,27	0,24	0,15	0,15
Milho	21	86	211	376	492	0,04	0,06	0,05	0,06	0,08	0,26	0,26	0,24	0,13	0,10
Braquiária	21	140	332	624	816	0,04	0,05	0,07	0,23	0,17	0,26	0,26	0,21	0,14	0,06
Feijão	21	111	253	566	616	0,04	0,08	0,07	0,18	0,11	0,26	0,29	0,26	0,20	0,12
Estilosantes	21	62	127	282	280	0,04	0,05	0,04	0,09	0,06	0,26	0,30	0,27	0,14	0,14

Continua...

ANEXO D. Continuação

Resíduo	K (mg dm ⁻³)					Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)					Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
	Média														
FI	1258	1233	1223	1191	1184	1,69	1,60	1,31	1,52	1,29	2,28	2,19	2,12	1,87	1,63
Testemunha	14	14	14	13	14	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,23	0,25	0,16	0,11	0,14
Milho	14	85	207	473	547	0,04	0,07	0,05	0,07	0,09	0,23	0,27	0,15	0,11	0,09
Braquiária	14	178	361	719	859	0,04	0,07	0,11	0,33	0,24	0,23	0,25	0,17	0,12	0,03
Feijão	14	123	262	585	703	0,04	0,07	0,10	0,27	0,22	0,23	0,28	0,20	0,18	0,12
Estilosantes	14	52	136	321	315	0,04	0,04	0,04	0,09	0,08	0,23	0,29	0,16	0,05	0,05
	Arenosa														
FI	1314	1303	1302	1270	1373	1,81	1,74	1,41	1,64	1,51	2,82	2,70	2,21	2,08	1,88
Testemunha	9	9	9	9	8	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,13	0,14	0,08	0,06	0,06
Milho	9	75	218	508	562	0,03	0,06	0,03	0,09	0,11	0,13	0,21	0,07	0,03	0,01
Braquiária	9	180	368	726	930	0,03	0,05	0,09	0,36	0,29	0,13	0,18	0,09	0,07	0,03
Feijão	9	108	262	604	738	0,03	0,09	0,07	0,30	0,24	0,13	0,19	0,15	0,14	0,08
Estilosantes	9	46	136	360	354	0,03	0,02	0,03	0,15	0,13	0,13	0,23	0,14	0,04	0,03

ANEXO E. Valores de fósforo remanescente (P-rem) e teores disponíveis de P e S em cada avaliação, dias após o início da incubação (DAI), nos solos com diferentes texturas da testemunha, com o aporte de fontes inorgânicas dos nutrientes (FI), de resíduo de milho, de braquiária, de feijão e de estilosantes (média de 4 repetições)

Resíduo	P-rem (mg L ⁻¹)					P (mg dm ⁻³)					S (mg dm ⁻³)				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
Muito argilosa															
FI	8,58	3,87	3,97	3,00	3,14	5,30	4,99	3,61	3,65	3,07	51,44	49,19	46,93	41,67	33,23
Testemunha	8,58	4,60	3,75	3,99	4,26	1,54	1,55	1,49	1,07	1,16	10,39	12,95	13,37	10,36	8,62
Milho	8,58	4,60	4,87	3,28	3,24	1,54	1,40	1,64	1,35	1,26	10,39	12,75	12,72	9,74	9,00
Braquiária	8,58	7,30	5,51	3,09	3,14	1,54	1,41	1,97	1,66	1,80	10,39	17,09	16,65	11,88	8,60
Feijão	8,58	5,50	4,64	4,21	3,64	1,54	1,37	1,93	1,64	1,69	10,39	13,73	18,78	22,01	31,22
Estilosantes	8,58	5,57	5,04	3,04	7,99	1,54	1,17	2,27	1,96	1,92	10,39	14,16	14,94	11,62	8,29
Argilosa															
FI	11,33	10,23	9,46	5,60	6,91	4,95	4,68	4,35	4,18	3,82	50,30	49,55	46,63	44,73	33,62
Testemunha	11,33	7,99	7,92	8,58	10,51	1,63	1,61	1,67	1,14	1,54	11,84	14,33	15,24	12,53	12,03
Milho	11,33	10,45	9,41	8,43	10,16	1,63	1,64	1,95	1,52	1,43	11,84	13,64	14,28	10,87	9,91
Braquiária	11,33	13,32	10,32	8,14	10,48	1,63	1,36	2,18	1,56	2,06	11,84	19,36	17,24	11,95	12,88
Feijão	11,33	10,81	9,13	9,07	11,01	1,63	1,49	2,41	1,85	1,84	11,84	16,43	21,48	29,72	42,49
Estilosantes	11,33	11,79	9,68	5,43	8,71	1,63	1,51	2,38	2,38	1,70	11,84	15,95	15,20	11,66	11,03

Continua...

ANEXO E. Continuação

Resíduo	P-rem (mg L ⁻¹)					P (mg dm ⁻³)					S (mg dm ⁻³)				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
	Média														
FI	18,04	16,12	18,16	18,97	21,48	6,27	6,03	5,81	5,57	4,75	50,46	49,21	48,91	45,14	38,76
Testemunha	18,04	15,93	19,13	19,38	20,63	1,73	1,68	1,71	1,33	1,55	17,09	19,12	17,51	16,05	14,45
Milho	18,04	19,68	18,71	17,58	21,78	1,73	1,53	2,17	1,55	1,54	17,90	18,07	15,89	12,49	10,79
Braquiária	18,04	20,66	18,04	17,89	21,16	1,73	1,33	2,41	1,83	2,13	17,09	22,18	18,16	15,81	14,95
Feijão	18,04	19,49	21,66	20,50	23,23	1,73	1,73	2,45	1,88	2,37	17,09	21,17	27,73	38,03	48,86
Estilosantes	18,04	19,56	18,96	15,58	17,78	1,73	1,47	2,40	3,95	2,39	17,09	19,70	18,23	16,39	14,68
	Arenosa														
FI	32,27	27,33	34,58	30,97	33,35	9,13	8,70	6,33	6,26	6,56	55,74	55,24	47,77	49,75	39,18
Testemunha	32,27	29,99	34,29	32,80	33,25	2,01	2,01	2,07	1,56	1,20	18,47	20,66	17,58	14,73	14,01
Milho	32,27	31,82	34,11	32,26	32,55	2,01	1,18	2,32	1,63	1,25	18,47	19,40	15,29	11,81	11,18
Braquiária	32,27	32,74	35,43	35,50	34,55	2,01	1,96	2,51	1,71	2,15	18,47	23,29	18,15	15,03	15,26
Feijão	32,27	32,60	33,52	33,11	32,68	2,01	1,25	2,59	1,88	2,37	18,47	24,03	30,69	43,68	51,77
Estilosantes	32,27	30,28	33,72	33,09	33,88	2,01	1,23	2,60	4,28	3,14	18,47	21,17	17,39	14,19	11,92

ANEXO F. Teores disponíveis de Zn e Cu em cada avaliação, dias após o início da incubação (DAI), nos solos com diferentes texturas da testemunha, com o aporte de fontes inorgânicas dos nutrientes (FI), de resíduo de milho, de braquiária, de feijão e de estilosantes (média de 4 repetições)

Resíduo	Zn (mg dm ⁻³)					Cu (mg dm ⁻³)				
	DAI									
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
Muito argilosa										
FI	4,27	4,01	4,02	4,01	3,01	1,97	1,97	1,82	1,87	1,69
Testemunha	0,46	0,46	0,36	0,39	0,36	1,68	1,65	1,55	1,64	1,38
Milho	0,46	0,17	0,39	0,48	0,39	1,68	1,68	1,85	1,64	1,05
Braquiária	0,46	0,36	0,38	0,42	0,52	1,68	1,68	1,64	1,58	1,21
Feijão	0,46	0,30	0,32	0,41	0,44	1,68	1,73	1,62	1,54	1,28
Estilosantes	0,46	0,39	0,35	0,47	0,65	1,68	1,59	1,55	1,56	1,47
Argilosa										
FI	3,99	3,80	3,67	3,61	2,53	1,73	1,73	1,26	1,19	1,17
Testemunha	0,42	0,41	0,32	0,23	0,02	1,32	1,30	1,12	1,16	0,97
Milho	0,42	0,14	0,16	0,19	0,05	1,32	1,34	1,32	1,01	0,62
Braquiária	0,42	0,33	0,19	0,14	0,03	1,32	1,33	1,18	1,03	0,76
Feijão	0,42	0,28	0,09	0,11	0,03	1,32	1,27	1,08	1,04	0,82
Estilosantes	0,42	0,30	0,18	0,29	0,03	1,32	1,26	1,11	1,19	0,87

Continua...

ANEXO F. Continuação

Resíduo	Zn (mg dm ⁻³)					Cu (mg dm ⁻³)				
	DAI									
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
	Média									
FI	4,10	3,89	3,78	3,77	2,43	1,20	1,17	0,77	0,84	0,64
Testemunha	0,41	0,40	0,26	0,15	0,06	1,03	1,01	0,76	0,65	0,56
Milho	0,41	0,14	0,14	0,13	0,06	1,03	0,92	0,77	0,59	0,09
Braquiária	0,41	0,32	0,19	0,14	0,07	1,03	0,99	0,68	0,52	0,23
Feijão	0,41	0,23	0,19	0,18	0,10	1,03	0,94	0,60	0,45	0,34
Estilosantes	0,41	0,28	0,14	0,28	0,04	1,03	0,74	0,54	0,79	0,52
	Arenosa									
FI	5,44	5,33	5,28	5,13	3,95	0,80	0,80	0,39	0,27	0,35
Testemunha	0,38	0,37	0,24	0,13	0,03	0,58	0,44	0,38	0,38	0,03
Milho	0,38	0,10	0,11	0,11	0,02	0,58	0,44	0,46	0,20	0,02
Braquiária	0,38	0,24	0,13	0,15	0,02	0,58	0,44	0,33	0,16	0,03
Feijão	0,38	0,21	0,09	0,09	0,07	0,58	0,43	0,25	0,15	0,04
Estilosantes	0,38	0,20	0,10	0,13	0,02	0,58	0,54	0,26	0,41	0,07

ANEXO G. Taxas de recuperação aparente de nitrogênio total (NT), P e K em cada avaliação, dias após o início da incubação (DAI), nos solos de diferentes texturas com fontes inorgânicas dos nutrientes (FI), com resíduo de milho, de braquiária, de feijão e de estilosantes (média de 4 repetições)

Resíduo	NT (%)					P (%)					K (%)				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
Muito argilosa															
FI	69,21	66,63	69,73	58,79	57,17	7,21	6,60	4,06	4,94	3,83	94,83	89,32	85,42	87,79	89,20
Milho	0,00	0,52	20,21	33,97	-15,98	0,00	-6,78	3,65	5,16	5,83	0,00	21,01	47,39	65,23	61,29
Braquiária	0,00	1,28	17,23	31,24	17,80	0,00	-0,80	2,47	2,79	4,66	0,00	13,07	37,10	62,28	60,57
Feijão	0,00	-0,02	-3,21	-3,76	1,25	0,00	-1,26	2,80	4,45	5,52	0,00	10,24	34,51	65,12	76,57
Estilosantes	0,00	13,13	18,16	24,94	15,82	0,00	-1,57	2,96	2,84	2,30	0,00	9,24	37,29	45,94	68,47
Argilosa															
FI	69,49	62,71	68,98	64,28	68,77	5,89	5,41	4,73	5,36	4,72	102,42	102,38	95,48	96,91	93,24
Milho	0,00	18,30	26,89	10,82	-42,74	0,00	2,55	6,18	6,39	6,77	0,00	22,30	46,53	62,52	74,61
Braquiária	0,00	6,46	27,89	21,75	16,38	0,00	-1,24	2,44	1,76	5,32	0,00	19,62	40,73	59,10	73,88
Feijão	0,00	15,19	6,35	-3,46	6,09	0,00	-0,75	4,33	5,18	6,58	0,00	17,44	36,83	64,47	75,15
Estilosantes	0,00	11,99	23,47	13,59	12,71	0,00	-0,42	2,51	3,59	2,13	0,00	19,28	41,88	62,47	74,95
Média															
FI	68,89	61,92	62,71	62,71	62,14	7,24	6,87	6,46	6,69	5,40	98,78	96,80	96,01	93,49	92,91
Milho	0,00	18,86	0,09	-18,99	-48,13	0,00	-5,84	8,98	3,27	4,58	0,00	21,10	42,07	72,19	75,10

Continua...

ANEXO G. Continuação

Resíduo	NT (%)					P (%)					K (%)				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
Média															
Braquiária	0,00	7,91	19,94	17,64	16,46	0,00	-1,57	3,04	1,92	4,18	0,00	24,09	40,54	61,88	70,19
Feijão	0,00	13,75	7,98	3,73	1,36	0,00	0,29	3,91	3,76	8,75	0,00	18,57	34,87	60,33	77,59
Estilosantes	0,00	15,56	16,01	16,91	17,94	0,00	-0,74	2,16	6,86	3,66	0,00	15,44	42,29	65,47	77,34
Arenosa															
FI	62,06	57,22	50,17	44,68	47,23	10,23	9,61	6,12	6,75	7,18	94,34	93,51	93,47	91,16	98,65
Milho	0,00	30,52	-20,52	-8,31	-25,64	0,00	-29,93	4,55	0,94	5,96	0,00	18,03	41,39	71,43	71,22
Braquiária	0,00	-1,31	33,22	19,08	10,95	0,00	-0,19	1,72	0,49	2,77	0,00	22,83	38,28	57,15	69,65
Feijão	0,00	13,72	7,98	5,67	6,12	0,00	-3,79	2,72	1,88	6,19	0,00	15,46	32,62	57,17	74,84
Estilosantes	0,00	17,96	13,91	18,11	20,12	0,00	-2,50	1,51	6,45	5,00	0,00	13,69	40,40	68,25	80,96

ANEXO H. Taxas de recuperação aparente de Ca, Mg e S em cada avaliação, dias após o início da incubação (DAI), nos solos de diferentes texturas com fontes inorgânicas dos nutrientes (FI), com resíduo de milho, de braquiária, de feijão e de estilosantes (média de 4 repetições)







Resíduo	Ca (%)					Mg (%)					S (%)				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
Muito argilosa															
FI	92,52	88,14	54,01	69,40	63,05	58,98	58,17	65,04	72,55	62,96	54,26	51,08	47,32	44,14	34,70
Milho	0,00	3,94	-2,03	9,39	-61,71	0,00	8,64	4,41	6,83	8,14	0,00	-13,77	-25,63	-30,46	2,21
Braquiária	0,00	5,44	0,31	-11,10	-19,64	0,00	5,27	9,03	14,06	18,61	0,00	14,90	12,45	5,41	-0,03
Feijão	0,00	4,77	4,00	1,32	-0,94	0,00	8,01	8,55	26,34	11,35	0,00	0,39	10,99	15,78	36,37
Estilosantes	0,00	1,21	14,22	-41,28	-25,94	0,00	1,32	4,09	8,75	8,47	0,00	7,75	9,54	2,36	-3,57
Argilosa															
FI	82,28	81,87	81,98	89,45	79,99	76,38	72,85	65,28	78,22	73,05	46,61	45,64	40,65	71,72	27,96
Milho	0,00	-11,12	-8,15	-14,90	-40,54	0,00	7,59	2,73	4,83	6,54	0,00	-19,41	-16,52	-58,96	-60,39
Braquiária	0,00	-2,63	-4,95	-1,54	-37,30	0,00	1,79	6,55	23,12	18,62	0,00	17,06	6,95	-1,85	3,16
Feijão	0,00	2,88	2,21	8,04	-7,97	0,00	7,96	6,90	23,32	11,25	0,00	4,76	11,75	21,36	42,07
Estilosantes	0,00	4,01	7,29	-5,59	-4,89	0,00	3,71	1,87	12,34	6,46	0,00	7,21	-0,15	-4,60	-10,46
Média															
FI	93,64	91,39	92,31	87,24	74,11	87,84	82,30	67,59	79,42	66,70	36,34	34,89	36,41	33,73	28,19
Milho	0,00	24,89	-10,57	-5,57	-38,21	0,00	11,77	3,00	7,31	7,74	0,00	-35,71	-40,01	-113,16	-116,12

Continua...

ANEXO H. Continuação

Resíduo	Ca (%)					Mg (%)					S (%)				
	DAI														
	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175	0	25	75	125	175
	Média														
Braquiária	0,00	2,24	1,05	0,81	-37,66	0,00	5,23	12,26	31,68	26,28	0,00	9,12	2,04	0,71	1,69
Feijão	0,00	1,78	3,87	11,95	-2,81	0,00	5,42	11,83	34,27	26,33	0,00	4,14	17,03	24,51	42,46
Estilosantes	0,00	12,38	-0,77	-25,22	-37,04	0,00	1,93	2,76	13,72	9,35	0,00	3,18	3,31	5,78	0,90
	Arenosa														
FI	93,95	90,91	96,27	91,22	82,54	85,09	81,86	67,19	77,77	71,78	37,02	36,49	31,86	36,96	26,56
Milho	0,00	45,41	-2,59	-20,80	-33,86	0,00	8,21	1,33	8,23	7,98	0,00	-48,74	-56,59	-85,81	-113,10
Braquiária	0,00	5,73	1,79	1,22	-8,43	0,00	2,62	9,59	31,46	30,57	0,00	5,59	1,62	0,80	3,78
Feijão	0,00	6,90	6,08	12,76	5,90	0,00	8,63	7,77	34,78	27,60	0,00	6,42	20,05	29,38	42,46
Estilosantes	0,00	19,33	12,63	-15,68	-7,68	0,00	-1,92	2,48	21,16	18,66	0,00	2,70	-0,98	-2,45	-17,63

ANEXO I. Ilustrações dos resíduos culturais em cada tempo de avaliação, em dias após o início da incubação (DAI)

Tempo (DAI)	Resíduo de milho	Resíduo de braquiária	Resíduo de feijão	Resíduo de estilosantes
0				
25				
75				
125				
175				