

EDUARDO DA SILVA MATOS

**CICLAGEM DE NUTRIENTES POR LEGUMINOSAS HERBÁCEAS
EM CAFEZAIS ORGÂNICOS**

Tese 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

2005

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

T

M433c
2005

Matos, Eduardo da Silva, 1980-

Ciclagem de nutrientes por leguminosas herbáceas em
cafezais orgânicos. / Eduardo da Silva Matos. – Viçosa:
UFV, 2005.

xiii, 70f : il. ; 29cm.

Inclui anexo.

Orientador: Eduardo de Sá Mendonça.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Inclui bibliografias.

1. Adubação verde. 2. Leguminosa. 3. Nitrogênio.
5. Café - Nutrição. I. Universidade Federal de Viçosa.
II.Título.


CDD 22.ed. 631.874

EDUARDO DA SILVA MATOS

**CICLAGEM DE NUTRIENTES POR LEGUMINOSAS HERBÁCEAS
EM CAFEZAIS ORGÂNICOS**

Tese 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: 05 de julho de 2005.


Prof.^a Igene Maria Cardoso
(Conselheira)


Paulo César de Lima


Prof. Rinaldo Bertola Cantarutti


Prof. Gilberto Bernardo de Freitas


Prof. Eduardo de Sá Mendonça
(Orientador)

À minha mãe Teresinha
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela família, amigos e força que tem me concedido.

Aos meus pais, Teresinha e Edmar, e à minha irmã, Leila, pelo apoio incondicional e por estarem sempre presentes na minha vida.

À Universidade Federal de Viçosa, em particular ao Departamentos de Solos pela oportunidade de realização do curso.

À Capes e Fapemig pelo apoio financeiro na realização do projeto e a Eпамig pela execução do mesmo.

Ao Professor Eduardo de Sá Mendonça, pela orientação, motivação e amizade.

À Professora Irene Maria Cardoso, pelo estímulo e sugestões que contribuíram para realização deste trabalho.

Ao Professor Ivo Ribeiro da Silva, pelo auxílio durante a realização do curso e pelas sugestões.

Ao Pesquisador Paulo César de Lima pela confiança, sugestões e auxílios técnicos.

Aos agricultores “Jésus” e “Dadim” pela condução dos experimentos e pelo aprendizado.

Ao bolsista recém-doutor, Wanderlei A. A. de Lima pela ajuda e condução dos trabalhos de campo e pelo convívio.

Aos integrantes das repúblicas “Os Pirigozo” e “Os K-nalhas”, além dos associados e associadas, pelo convívio e amizade.

Aos amigos Barbosa, Anselmo, Mattiello e Renato pelo companheirismo e disponibilidade.

Aos Colegas de pós-graduação Paloma, Karina, Flancer, Beno, Fabrício, Letúzia, Regina, Renata pela amizade e “farras” durante todo o período de realização do curso.

Aos Estudantes de graduação, Marino, Igor e Karina pelo auxílio nas análises de laboratório e pelo aprendizado.

Às secretárias do Departamento de Solos Sônia, Luciana, Sandra e Tatiana pela competência e paciência.

A todos funcionários do Departamento Solos em especial ao “Seu” Brás pela atenção e intensa colaboração no desenvolvimento das análises.

A todos os professores do Departamento Solos pela atenção e disponibilidade.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho, meu agradecimento.

BIOGRAFIA

EDUARDO DA SILVA MATOS, filho de Maria Teresinha da Silva e Edmar de Oliveira Matos nasceu em Brasília, Distrito Federal, no dia 21 de agosto de 1980.

Em março de 1998, ingressou no curso de Agronomia da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, graduando-se em agosto de 2003.

Em agosto de 2003, iniciou o curso de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, submetendo-se à defesa de tese em 05 de julho de 2005.

CONTEÚDO

	Página
RESUMO	x
ABSTRACT.....	xii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1.....	3
BIOMASSA E NUTRIENTES TOTAIS NA PARTE AÉREA DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS.....	3
RESUMO	3
ABSTRACT.....	4
1. INTRODUÇÃO.....	5
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
2.1. Localização e descrição dos experimentos.....	7
2.2. Caracterização dos materiais vegetais.....	8
2.3. Análises estatísticas.....	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
3.1. Produção de matéria seca na parte aérea de adubos verdes.....	10
3.2. Teores de nutrientes na parte aérea de adubos verdes.....	11

3.3. Quantidades totais de nutrientes na parte aérea de adubos verdes.....	13
4. CONCLUSÕES.....	17
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18
CAPÍTULO 2.....	22
DECOMPOSIÇÃO DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS.....	22
RESUMO	22
ABSTRACT.....	23
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
2.1. Localização e descrição dos experimentos.....	26
2.2. Caracterização química e bioquímica do material vegetal.....	28
2.3. Taxa de decomposição e liberação de nutrientes.....	29
2.4. Análises estatísticas.....	29
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
3.1. Características químicas e bioquímicas dos adubos verdes.....	30
3.2. Decomposição e liberação de nutrientes por adubos verdes.....	32
3.3. Estimativa dos totais de nutrientes liberados para os cafezais.....	39
4. CONCLUSÕES.....	42
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	43

CAPÍTULO 3.....	47
MINERALIZAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO POR LEGUMINOSAS HERBÁCEAS PROVENIENTES DE DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS.....	47
RESUMO	47
ABSTRACT.....	48
1. INTRODUÇÃO.....	49
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	51
2.1. Localização e descrição dos experimentos.....	51
2.2. Estudo dos materiais vegetais.....	52
2.2.1 Caracterização química e bioquímica.....	52
2.2.2 C e N mineralizáveis.....	54
2.3. Análises estatísticas.....	55
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
3.1. Carbono mineralizável.....	56
3.2. Nitrogênio mineralizável.....	59
4. CONCLUSÕES.....	62
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	66
APÊNDICE.....	67

RESUMO

MATOS, Eduardo da Silva, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2005.
Ciclagem de nutrientes por leguminosas herbáceas em cafezais orgânicos.
Orientador: Eduardo de Sá Mendonça. Conselheiros: Irene Maria Cardoso e Ivo Jucksch.

O objetivo deste trabalho foi determinar: as quantidades totais de nutrientes na parte aérea de *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum* e *Stylozanthos guyanensis* sob diferentes condições edafoclimáticas; as taxas de decomposição e liberação de nutrientes dos adubos verdes *A. pintoi*, *C. mucunoides*, *S. aterrimum* e *S. guyanensis* no campo (acondicionados em “sacolas de lambri” de 20 x 20 cm e malha de 2,0 x 6,0 mm e coletados após 0, 15, 30, 60, 120, 240 e 360 dias de incubação), sob diferentes condições edafoclimáticas; e a mineralização de C e N dos resíduos dos diferentes adubos verdes quando adicionados ao solo em condições de temperatura e umidade controladas. Os experimentos foram conduzidos em Araçuaia (950 m de altitude) e Pedra Dourada (690 m). A produção de matéria seca (MS) em Araçuaia variou de 0,94 (*A. pintoi*) a 3,21 t ha⁻¹ (*S. aterrimum*) e de 0,95 (*A. pintoi*) a 2,87 t ha⁻¹ (*S. guianensis*) em Pedra Dourada. Em Araçuaia, *S. aterrimum* apresentou as maiores quantidades de N (115,0 kg ha⁻¹) e P (8,8 kg ha⁻¹), comparado aos outros adubos verdes, e maiores quantidades de K (63,8 kg ha⁻¹) e Ca (30,1 kg ha⁻¹), comparado com *A. pintoi*. *S. guianensis* destacou-se por acumular maiores quantidades de N (92,4 kg ha⁻¹), P (7,4 kg ha⁻¹), K (50,5 kg ha⁻¹) e Ca (33,5 kg ha⁻¹), comparado ao *A. pintoi*, na propriedade de Pedra Dourada. As maiores quantidades de Zn e Cu foram observadas para *S. aterrimum* em Araçuaia e para *S. guianensis* em Pedra Dourada. *S. guianensis* apresentou os menores valores de lignina e das relações lignina/N, lignina/polifenol e (lignina+polifenol)/N. Os valores de polifenóis totais solúveis variaram de 1,19 a 1,86% em Araçuaia e de 1,30 a 2,04% em Pedra Dourada. Entre os resíduos, *C. mucunoides* apresentou os menores e *S. aterrimum* os maiores valores de polifenóis. A taxa de decomposição de MS foi 50,7% menor em Araçuaia e esteve

relacionada com as diferenças climáticas entre as propriedades. As maiores taxas de liberação de nutrientes foram observadas para o P em todas as espécies avaliadas e ocorreram nos primeiros 15 dias, quando mais de 60% do P foi liberado para o sistema. Em média, 32% do total de N presente no material vegetal foi liberado nos primeiros 15 dias. Até os 360 dias, foram liberados pelos adubos verdes, em média, 77,5% do N em Araponga e 88,5% em Pedra Dourada. *S. aterrimum* contribuiu para a adição das maiores quantidades de N, P e K na propriedade de Araponga após 360 dias de decomposição, ciclando, em média, 93,4, 7,8 e 63,6 kg ha⁻¹, respectivamente. Em Pedra Dourada, destacou-se *S. guianensis*, que ciclou 86,2 kg ha⁻¹ de N, 7,1 kg ha⁻¹ de P e 50,4 kg ha⁻¹ de K. Em condições de temperatura e umidade controladas, *A. pintoii* obteve os maiores valores acumulados de C-CO₂ (484,1 mg), quando proveniente de Pedra Dourada e, juntamente com *S. guianensis* (445,5 mg) quando originado de Araponga. A partir da terceira, até a última leitura, observou-se correlação positiva dos valores de C-CO₂ com a relação C/N. Nas leituras finais, os valores acumulados de C-CO₂ correlacionaram-se negativamente com os teores de lignina e com a relação lignina/polifenol (P<0,10). *C. mucunoides* apresentou os maiores valores de N mineralizados na primeira semana de incubação, 83,5 mg kg⁻¹ (Araponga) e 119,0 mg kg⁻¹ (Pedra Dourada), e totais de N mineralizados após 50 dias na propriedade de Pedra Dourada (242,3 mg kg⁻¹). Os totais de N mineralizados ao final da incubação, ao contrário do observado na primeira semana, não se correlacionaram com o conteúdo de polifenóis ou com a relação polifenol/N, mas apenas com os teores de celulose (P<0,05) e foram maiores para os resíduos provenientes de Pedra Dourada.

ABSTRACT

MATOS, Eduardo da Silva, M.S., Universidade Federal de Viçosa, July, 2005. **Nutrient cycling by herbaceous leguminous in organic coffee plantation.** Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Committee Members: Irene Maria Cardoso and Ivo Jucksch.

In order to evaluate the shoot biomass production and the amount of nutrient in the *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum*, e *Stylozanthus guianensis* under two edaphoclimatic conditions; the decomposition and nutrient release rates of green manures: *A. pintoi*, *C. mucunoides*, *S. aterrimum* e *S. guianensis* (placed in 2,0 x 6,0 mm mesh and 20 x 20 cm litterbags and taken out at 0, 15, 30, 60, 120, 240 and 360 days after incubation) under different edaphoclimatic conditions; and the C and N mineralization by green manures originated from two edaphoclimatic conditions carried out an experiment under controlled temperature and humidity. The experiment was in Araponga (with altitude of 950 m) and Pedra Dourada (690 m). Dried biomass production in Araponga changed from 0,94 (*A. pintoi*) to 3,21 t ha⁻¹ (*S. aterrimum*) and from 0,95 (*A. pintoi*) to 2,87 t ha⁻¹ (*S. guianensis*) in Pedra Dourada. In Araponga, *S. aterrimum* accumulated higher amount of N (115,0 kg ha⁻¹) and P (8,8 kg ha⁻¹) than the others green manures and higher amount of K (63,8 kg ha⁻¹) and Ca (30,1 kg ha⁻¹) than *A. pintoi*. *S. guianensis* distinguished by its higher amount of N (92,4 kg ha⁻¹), P (7,4 kg ha⁻¹), K (50,5 kg ha⁻¹) and Ca (33,5 kg ha⁻¹) than *A. pintoi* in the Pedra Dourada farm. The highest amount of Zn and Cu were observed for *S. aterrimum* in Araponga and for *S. guianensis* in Pedra Dourada. The *S. guianensis* showed the lowest lignin content and lignin/N, lignin/polyphenol and (lignin+polyphenol)/N ratios. The total soluble polyphenol content ranged from 1,19 to 1,86% in Araponga and from 1,30 to 2,04% in Pedra Dourada. Among the green manures, *C. mucunoides* had the lowest polyphenol content and *S. aterrimum* the highest. The dried matter decomposition rate was 50,7% lower in Araponga and was related with the climatic differences among the farms. The highest nutrient release rates were observed for P in every species and occurred in first

the 15 days when more than 60% of the P was released from the system. In general, 32% of total N content in the vegetal residue was released in the first 15 days. Until the 360 days, it was released by the green manures, around 77,5% of N in Araponga and 88,5% in Pedra Dourada. After 360 days of decomposition, *S. aterrimum* contributed for add the highest amounts of N, P and K in Araponga farm, recycling 93,4, 7,8 and 63,6 kg ha⁻¹, respectively. *S. guianensis* and *S. aterrimum* distinguished in Pedra Dourada recycling 86,2 kg ha⁻¹ of N, 7,1 kg ha⁻¹ of P and 50,4 kg ha⁻¹ of K. Under controlled temperature and humidity, *A. pintoii* showed the highest accumulated C-CO₂ (484,1 mg) in the residue from Pedra Dourada farm and along with *S. guianensis* (445,5 mg) when originated from Araponga. From the third to the last C-CO₂ measurement the values were positively correlated with C/N ratio. In the final period of incubation, the accumulated C-CO₂ values were negatively correlated with lignin content and lignin/polyphenol ratios. *C. mucunoides* showed the highest N mineralized values in the first week of the incubation (83,5 mg kg⁻¹ in Araponga and 119,0 mg kg⁻¹ in Pedra Dourada) and total N accumulated values after 50 days in Pedra Dourada farm (242,3 mg kg⁻¹). Contrasting to the observed in the first week, total N mineralized values at the end of the incubation did not correlate with the polyphenol content or polyphenol/N ratio, but only with the cellulose content and they were higher for the residues from Pedra Dourada.

INTRODUÇÃO GERAL

O sistema de produção agrícola na Zona da Mata de Minas Gerais caracteriza-se pelo uso de sistemas de manejo com pequena ou nenhuma utilização de adubos químicos, apresentando baixa produtividade (Mendonça & Stott, 2003). Nessas condições, é necessário desenvolver estratégias de manejo mais sustentáveis, com o uso de práticas que potencializam a biodiversidade e os processos biológicos, aumentando a eficiência do processo de ciclagem de nutrientes.

A produção agrícola no sistema orgânico envolve o uso de práticas de manejo que promovem a conservação da matéria orgânica, visando manter a qualidade do solo, a manutenção da fertilidade e produtividade da cultura de interesse, reduzindo a utilização de recursos externos com a maximização do uso de insumos da própria propriedade.

A utilização de leguminosas capazes de realizar simbiose com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, além de promover a manutenção da qualidade da matéria orgânica do solo, funciona como fonte de nitrogênio para a cultura, reduzindo ou dispensando a adubação nitrogenada (Sá & Vargas, 1997). Associada à prática de roçada da vegetação espontânea e cobertura morta, o uso de espécies leguminosas como adubos verdes, estimula a ciclagem de outros nutrientes, contribui para a melhoria da retenção de água, reduz a exposição do solo aos processos erosivos e melhora o aproveitamento de nutrientes pela cultura de interesse (Cobo et al., 2002).

O benefício dos adubos verdes como fonte de nutrientes para a cultura depende da decomposição e liberação de nutrientes e do sincronismo desse processo com a demanda de nutrientes pela planta cultivada (Cobo et al., 2002). A eficiência do processo pode ser melhorada variando-se a característica do material adicionado e o melhor momento para a adição. A característica do resíduo adicionado está normalmente relacionada com a composição química do material, representada, principalmente, pelos teores de C, N, P, lignina e polifenóis, juntamente com suas inter-relações (Mendonça & Stott, 2003; Thomas & Asakawa, 1993), que são os principais controladores da taxa de decomposição e liberação de nutrientes.

O teor de polifenóis no material vegetal e a capacidade destes em complexar proteínas são atributos que afetam os processos de decomposição e mineralização líquida de nitrogênio (Monteiro et al., 2002; Palm & Sanchez, 1991). A princípio, considerava-se que a mineralização de N dos resíduos de plantas era controlada pela concentração inicial de

N ou pela relação C/N desses resíduos; contudo, esse aspecto apenas é verdadeiro se os resíduos apresentarem pouca variabilidade nos teores de lignina e polifenóis (Handayanto et al., 1995).

Além das características referentes à composição de cada planta, os fatores ambientais também interferem na atividade microbiana do solo e, conseqüentemente, na taxa de decomposição da palhada, dentre os quais destacam-se a temperatura, a umidade, o pH, os teores de O₂ e de nutrientes do solo, especialmente a disponibilidade de nitrogênio (Robertson & Morgan, 1996). Em razão de condições climáticas e de solo distintas, haveria então diferentes respostas das leguminosas quanto à adaptação, produção de biomassa, capacidade de fixação de N, imobilização de nutrientes e velocidade de decomposição e de liberação de nutrientes após o seu corte, sendo necessário o estudo das características das diferentes espécies de adubos verdes e destas características associadas ao meio para maximizar sua utilização no sistema orgânico de produção de café.

O objetivo deste trabalho foi determinar: as quantidades totais de nutrientes na parte aérea de *Arachis pintoii*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum* e *Stylozanthos guyanensis* sob diferentes condições edafoclimáticas; as taxas de decomposição e liberação de nutrientes dos adubos verdes *A. pintoii*, *C. mucunoides*, *S. aterrimum* e *S. guyanensis* no campo, sob diferentes condições edafoclimáticas; e a atividade microbiana dos resíduos dos diferentes adubos verdes quando adicionados ao solo em condições de temperatura e umidade controladas.

CAPÍTULO 1

BIOMASSA E NUTRIENTES TOTAIS NA PARTE AÉREA DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

RESUMO

Objetivou-se avaliar a produção de biomassa e as quantidades totais de nutrientes na parte aérea de *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum* e *Stylozanthus guianensis* sob duas condições edafoclimáticas na Zona da Mata de Minas Gerais. Os experimentos foram conduzidos em Araponga (950 m de altitude) e em Pedra Dourada (690 m). A produção de matéria seca (MS) em Araponga variou de 0,94 (*A. pintoi*) a 3,21 t ha⁻¹ (*S. aterrimum*) e de 0,95 (*A. pintoi*) a 2,87 t ha⁻¹ (*S. guianensis*) em Pedra Dourada. Em Araponga, *S. aterrimum* apresentou as maiores quantidades de N (115,0 kg ha⁻¹) e P (8,8 kg ha⁻¹), comparado aos outros adubos verdes, e maiores quantidades de K (63,8 kg ha⁻¹) e Ca (30,1 kg ha⁻¹), comparado com *A. pintoi*. *S. guianensis* destacou-se por acumular maiores quantidades de N (92,4 kg ha⁻¹), P (7,4 kg ha⁻¹), K (50,5 kg ha⁻¹) e Ca (33,5 kg ha⁻¹), comparado ao *A. pintoi*, na propriedade de Pedra Dourada. As maiores quantidades de Zn e Cu foram observadas para *S. aterrimum* em Araponga e para *S. guianensis* em Pedra Dourada. As maiores quantidades de nutrientes na parte aérea pelos adubos verdes deveram-se à maior capacidade de produção de MS.

SHOOT BIOMASS AND TOTAL NUTRIENT OF HERBACEOUS LEGUMINOUS UNDER TWO EDAPHOCLIMATIC CONDITIONS

ABSTRACT

In order to evaluate the shoot biomass production and the amount of nutrient in the *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum*, e *Stylozanthus guianensis* under two edaphoclimatic conditions it was carried out an experiment in the Zona da Mata of Minas Gerais. The experiment was in Araponga (with altitude of 950 m) and Pedra Dourada (690 m). Dried biomass production in Araponga changed from 0,94 (*A. pintoi*) to 3,21 t ha⁻¹ (*S. aterrimum*) and from 0,95 (*A. pintoi*) to 2,87 t ha⁻¹ (*S. guianensis*) in Pedra Dourada. In Araponga, *S. aterrimum* accumulated higher amount of N (115,0 kg ha⁻¹) and P (8,8 kg ha⁻¹) than the others green manures and higher amount of K (63,8 kg ha⁻¹) and Ca (30,1 kg ha⁻¹) than *A. pintoi*. *S. guianensis* distinguished by its higher amount of N (92,4 kg ha⁻¹), P (7,4 kg ha⁻¹), K (50,5 kg ha⁻¹) and Ca (33,5 kg ha⁻¹) than *A. pintoi* in the Pedra Dourada farm. The highest amount of Zn and Cu were observed for *S. aterrimum* in Araponga and for *S. guianensis* in Pedra Dourada. For green manures the highest amount of nutrient accumulated in shoot biomass were due to the high dried biomass production capacity.

1. INTRODUÇÃO

Na agricultura orgânica o uso de insumos sintéticos, como fertilizantes solúveis, é restrito. Nesse sistema, as características do solo e a reposição dos nutrientes devem ser mantidas e melhoradas a partir da otimização na utilização de recursos naturais. Para isso, é imprescindível desenvolver e implementar estratégias de manejo que mantenham a qualidade do solo tais como práticas que conservam a matéria orgânica (MO) e mantêm a fertilidade e produtividade do solo (Dinesh et al., 2004).

Como fonte de materiais orgânicos que trazem grandes benefícios para o solo e para as plantas cultivadas, destacam-se as leguminosas utilizadas como adubos verdes. Dentre as várias espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde, a mucuna-preta (*Stizolobium aterrimum*) destaca-se pela elevada capacidade de produção de biomassa e acúmulo de nutrientes mesmo em solos com baixa fertilidade natural e elevada acidez (Aita et al., 2000). Como a quantidade total de nutrientes na parte aérea está relacionada com a produção de MS, que varia em função do local, a mucuna pode acumular cerca de 280, 26, 144, 70 e 24 kg ha⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, em locais onde a produção de MS é superior a 7,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ (Borkert et al., 2003).

O amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) é uma leguminosa com grande potencial de utilização como adubo verde na cultura do café, por ser uma planta perene e rasteira, com elevada capacidade de acúmulo de N e outros nutrientes. Avaliando a produção de biomassa e o acúmulo de nutrientes de *A. pintoi* em diferentes espaçamentos, Perin et al. (2003) observaram que, após quatro cortes, o amendoim produziu 20 t ha⁻¹ de MS, 572 kg ha⁻¹ de N, 37 kg ha⁻¹ de P e 247 kg ha⁻¹ de K. O mineirão (*Stylosanthes guianensis*) é uma leguminosa herbácea perene, também com potencial para utilização na adubação verde, podendo acumular cerca de 140 kg ha⁻¹ de N (Muhr et al., 2002) e produção de biomassa variando de 3,5 a 8,2 t ha⁻¹ ano⁻¹, valores estes que podem ser melhorados com a utilização desta leguminosa como adubo verde, considerando que a maior parte dos trabalhos desenvolvidos concentra-se na consorciação desta com pastagens (Andrade et al., 2003; Paciullo et al., 2003; Viera-Vargas et al., 1995; Thomas & Azakawa, 1993).

Dentre outras leguminosas utilizadas no consórcio com pastagens e na adubação verde de várias culturas agrícolas, destaca-se o calopogônio (*Calopogonium mucunoides*), uma planta perene, rasteira, que aos 6 meses após plantio chega a produzir 7,6 t ha⁻¹ de MS, acumulando cerca de 195, 15,3 e 90,3 t ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente, podendo ser mais eficiente que outros adubos verdes com alto

potencial de acúmulo de nutrientes, como *Centrosema pubescens*, *Glycine wightii* e *Macropitilium atropurpureum* (Niang et al., 2002).

Não são encontrados muitos trabalhos que enfatizam a capacidade de acúmulo de micronutrientes por adubos verdes (Borkert et al., 2003; Silva et al., 2002), porque as quantidades recicladas de micronutrientes pela maioria das plantas de cobertura satisfazem as necessidades nutricionais das culturas de interesse; as deficiências desses nutrientes são causadas na maioria das vezes por práticas inadequadas de manejo, como o excesso de calagem. Entretanto, é de fundamental importância conhecer as quantidades totais, tanto de macro como de micronutrientes, na parte aérea das leguminosas para estabelecer estratégias de manejo, utilizando adubos verdes, com o objetivo de melhorar a qualidade dos resíduos adicionados a cultura de interesse. Isso porque, em função de diferentes locais de cultivo, ocorrem variações na produção de MS e na composição química das diferentes espécies de adubos verdes, devido à capacidade adaptativa de cada espécie às variações climáticas locais.

O objetivo deste estudo foi avaliar a produção de biomassa e as quantidades totais de nutrientes na parte aérea de *A. pintoi*, *C. mucunoides*, *S. aterrimum* e *S. guianensis* sob duas condições edafoclimáticas, na Zona da Mata de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e Descrição dos Experimentos

Os estudos foram conduzidos no período de dezembro/2003 a abril/2004, em duas unidades experimentais instaladas em áreas de agricultores familiares e em parceria com a UFV/EPAMIG/CTA, nos municípios de Araponga e Pedra Dourada, ambos localizados na região da Zona da Mata de Minas Gerais. A propriedade localizada em Araponga está situada a 20° 38' de latitude sul e 42° 31' de longitude oeste, com altitude média de 950 m, temperatura média máxima e mínima anual de 25,4 e 13,7°C, respectivamente, e precipitação de 1320 mm, com a unidade experimental apresentando face oeste de exposição ao sol. Já a propriedade localizada no município de Pedra Dourada está situada a 20° 50' de latitude sul e 42° 08' de longitude oeste, com altitude média de 690 m, temperatura média máxima e mínima anual de 26,6 e 15,2°C, respectivamente, e precipitação de 1280 mm, com a unidade experimental apresentando face sul de exposição ao sol. O café, em espaçamento de 2,8-3,0 x 0,5-0,8 m, vem sendo cultivado na área em sistema orgânico desde o plantio das mudas e, na época de introdução dos experimentos, encontrava-se em fase de formação, no terceiro ano pós-plantio. Anteriormente ao plantio das leguminosas, realizou-se a correção dos solos de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo para o Estado de Minas Gerais (Fontes, 1999). A adubação e correção do solo foram realizadas aplicando-se 0,26 t ha⁻¹ de calcário, 64 kg ha⁻¹ de gesso, 125 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio e 800 kg ha⁻¹ de termofosfato, em Araponga; e 1,20 t ha⁻¹ de calcário, 300 kg ha⁻¹ de gesso, 125 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio e 800 kg ha⁻¹ de termofosfato, em Pedra Dourada, sendo esses aplicados na entrelinha do cafeeiro e incorporados no momento do plantio. Todas as leguminosas foram plantadas via sementes, obtidas comercialmente, distribuídas em sulcos e incorporadas a uma profundidade média de 1 cm. Não se realizou inoculação das sementes antes do plantio.

Os solos de ambas as áreas são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo e apresentam textura argilosa. As características químicas e físicas dos solos antes da instalação dos experimentos estão na tabela 1.

Tabela 1 - Características químicas e físicas dos solos antes da instalação dos experimentos na profundidade de 0-20 cm

Análise química	Araponga	Pedra Dourada
pH em água (1:2,5)	5,24	5,04
Alumínio trocável (cmol _c /dm ³) ¹	0,47	0,59
Fósforo (mg/dm ³) ¹	1,00	2,92
Potássio (mg/dm ³) ¹	59,8	53,5
Cálcio (cmol _c /dm ³) ²	1,74	0,99
Magnésio (cmol _c /dm ³) ²	0,74	0,47
Carbono orgânico (g/kg) ³	29,0	36,8
Zinco (mg/dm ³) ¹	1,17	1,56
Ferro (mg/dm ³) ¹	40,7	14,7
Manganês (mg/dm ³) ¹	10,4	20,2
Cobre (mg/dm ³) ¹	0,50	0,38
Análise granulométrica		
Areia (%)	39	36
Argila (%)	52	45
Classe textural	argiloso	argiloso

¹ - Mehlich-1; ² - Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³ : KCl 1 mol L⁻¹; ³ - C org. Walkley Black.

Os tratamentos constaram de combinações entre dois locais de cultivo de café (Araponga e Pedra Dourada) e quatro espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde: *Arachis pintoi* (amendoim forrageiro) *Calopogonium mucunoides* (calopogônio), *Stylosanthes guianensis* (mineirão) e *Stizolobium aterrimum* (mucuna), cultivadas nas entrelinhas dos cafezais em parcelas de 2 x 2 m. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 2 x 4 (dois locais e quatro espécies de leguminosas) e quatro repetições, perfazendo 32 unidades experimentais.

2.2. Caracterização dos Materiais Vegetais

Ao atingir o estágio de floração, aproximadamente 120 dias após o plantio, foram coletadas as partes aéreas das leguminosas para quantificação da massa fresca do material, e uma amostra de cada material foi utilizada para determinação da umidade e posteriores análises químicas. Os materiais foram secos em estufa e moídos. Nos resíduos, foram determinados os teores totais de C e N por combustão seca, em analisador Perkin Elmer CHNS/O 2400. Foram determinadas, após digestão nitro-perclórica (Sarruge & Haag, 1974), as concentrações de P de acordo com Braga &

Defelipo (1994); K, por fotometria de chama; e Ca, Mg, Cu, Fe, Zn e Mn, por espectrofotometria de absorção atômica. As quantidades totais de nutrientes na parte aérea de cada adubo verde foram obtidas pela multiplicação dos teores de cada nutriente pela MS total produzida por hectare.

2.3. Análises Estatísticas

Os dados de MS e as quantidade totais de nutrientes na parte aérea dos adubos verdes foram submetidos à análise de variância, empregando-se testes F e Tukey a 5% de probabilidade. Para execução das análises, utilizou-se o programa estatístico SAEG 5.0 (FUNARBE, 1993).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Produção de matéria seca na parte aérea de adubos verdes

A produção de MS variou de 0,94 a 3,21 t ha⁻¹ em Araponga e de 0,95 a 2,87 t ha⁻¹ em Pedra Dourada (Figura 1). Houve diferença na produção de MS entre os adubos verdes (P<0,01) e entre adubos verdes em uma mesma propriedade (P<0,01). *A. pintoi* apresentou os mesmos valores para ambas as localidades, e estes foram os menores comparados aos outros adubos verdes. Em Araponga, os maiores valores de MS foram observados para *S. aterrimum* juntamente com *C. mucunoides*. Em Pedra Dourada, os maiores valores foram para *C. mucunoides* e *S. guianensis*, que produziram 87% a mais de MS, evidenciando o comportamento distinto das espécies de leguminosas em diferentes condições edafoclimáticas (Figura 1).

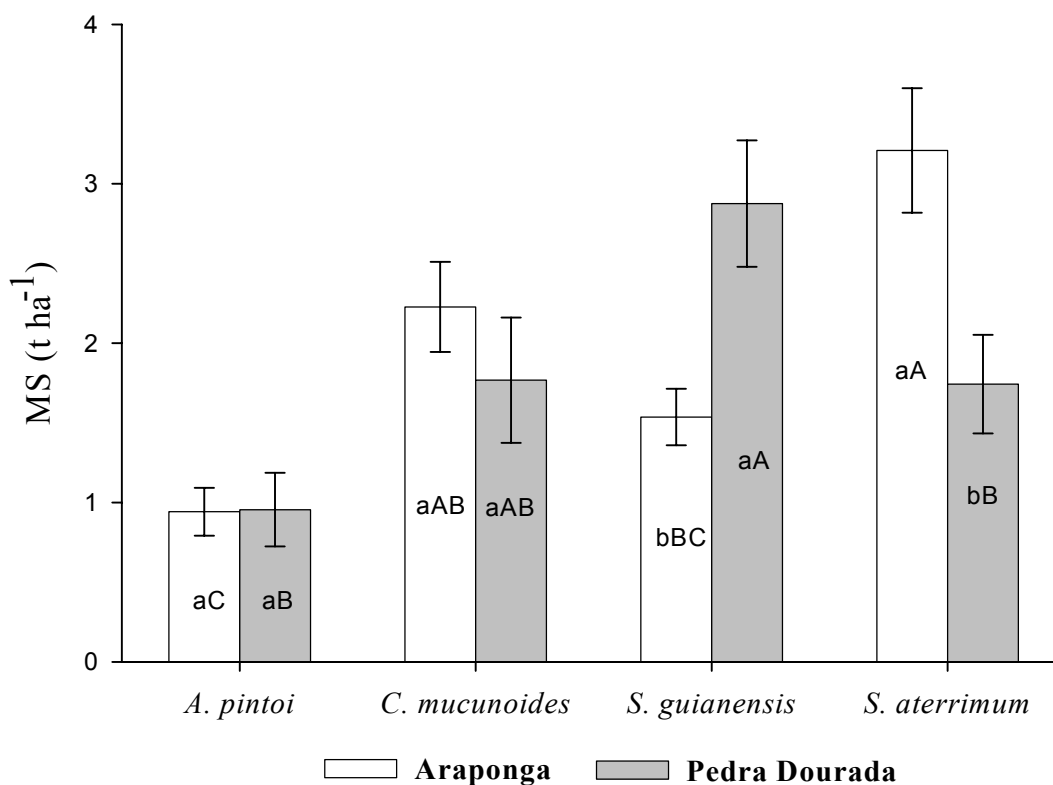


Figura 1 – Médias e erro-padrão (n=4) de matéria seca produzida por adubos verdes nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada. Letras iguais indicam não haver diferença significativa (Tukey a 5%). Letras maiúsculas comparam espécies dentro da propriedade e minúsculas, uma mesma espécie entre propriedades.

Com exceção de *S. guianensis*, os valores totais de MS produzidos pelos adubos verdes são baixos comparados aos encontrados durante um ciclo de produção: 5,0 t ha⁻¹ para *A. pintoi* (Soares et al., 2004), 7,6 t ha⁻¹ para *C. mucunoides* (Niang et al., 2002) e

7,0 t ha⁻¹ para *S. aterrimum* (Aita et al., 2000). Entretanto, por *A. pintoii* e *C. mucunoides* serem plantas perenes, é de se esperar baixa produção de MS por ocasião do primeiro corte, quando estas plantas ainda estão se estabelecendo; a partir do segundo corte, a produção tende a se estabilizar. Em relação a *S. aterrimum*, o intervalo de rendimento de MS pode variar de 1,7 a 8,6 t ha⁻¹ (Borkert et al., 2003), e essa variação pode ser decorrente das diferenças edafoclimáticas entre os locais de cultivo, além de outros fatores, como a ausência de microrganismos nativos eficientes em fixar N atmosférico e capazes de fazer associações simbióticas, quando não é realizada a inoculação das sementes anteriormente ao plantio. Outro fator importante a se considerar é o efeito do sombreamento do café sobre as espécies de leguminosas que foram cultivadas nas entrelinhas, afetando, conseqüentemente o desenvolvimento das plantas.

3.2. Teores de nutrientes na parte aérea de adubos verdes

Os teores de macro e micronutrientes na parte aérea dos adubos verdes são apresentados na tabela 2. Os teores de N na parte aérea variaram de 2,57 a 3,7 dag kg⁻¹ e os de P de 0,24 a 0,30 dag kg⁻¹, com *C. mucunoides* e *S. aterrimum* apresentando os maiores teores de N em ambas as áreas (Tabela 2). *A. pintoii* apresentou os menores teores de N, correspondendo a 2,57 dag kg⁻¹ em Araponga e 2,71 dag kg⁻¹ em Pedra Dourada. Para K, Ca e Mg, observou-se comportamento distinto entre os adubos verdes e comportamento semelhante, com exceção do K, entre as duas propriedades (Tabela 2). Em média, os valores de Ca foram 33,4% maiores para *A. pintoii* e *S. guianensis*, comparado com *C. mucunoides* e *S. aterrimum*. Já em relação a Mg, *A. pintoii* se destacou, obtendo teores médios cerca de 110% maiores comparados aos outros adubos verdes.

Os teores de Fe variaram de 36,5 a 418,3 mg kg⁻¹ e foram influenciados pela espécie utilizada e pelo local de cultivo (P<0,01). De forma geral, os valores de Fe foram 300% maiores para *A. pintoii* e *C. mucunoides*, comparado com *S. guianensis* e *S. aterrimum*. Entre as propriedades, os teores de Fe foram 177% maiores para Araponga e podem estar relacionados com o maior teor de Fe disponível no solo (Tabela 2). Da mesma forma que outros nutrientes, os teores de Fe podem variar em função da parte

Tabela 2 – Teores de macro e micronutrientes na parte aérea dos adubos verdes, nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada

Adubo verde	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn
dag kg ⁻¹mg kg ⁻¹			
Araponga										
<i>A. pintoi</i>	40,8	2,57 B	0,24 bB	2,30	1,12 A	0,45 A	396,0 aA	26,5 bAB	12,1	54,6 b
<i>C. mucunoides</i>	42,1	3,09 AB	0,24 bB	2,24	0,82 B	0,22 B	418,3 aA	27,2 bA	11,7	37,7 b
<i>S. guianensis</i>	43,1	2,95 B	0,25 AB	2,30 a	1,13 A	0,24 B	106,8 aB	23,3 bAB	10,6	53,9 b
<i>S. aterrimum</i>	43,3	3,56 A	0,28 A	2,05	0,91 AB	0,22 B	100,1 aB	22,2 bB	12,2	38,0 b
Pedra Dourada										
<i>A. pintoi</i>	42,7	2,72 B	0,27 aAB	2,26 A	1,09 AB	0,50 A	153,8 bA	31,8 aA	13,1	280,5 aA
<i>C. mucunoides</i>	44,1	3,52 A	0,30 aA	2,10AB	0,83 B	0,20 C	139,3 bA	35,6 aA	12,0	122,1 aB
<i>S. guianensis</i>	43,7	3,20 AB	0,26 B	1,72 bB	1,17 A	0,25 B	38,7 bB	32,6 aA	11,7	261,3 aA
<i>S. aterrimum</i>	45,3	3,70 A	0,26 AB	1,97 AB	0,82 B	0,20 C	36,5 bB	21,9 aB	12,1	141,8 aB

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam espécies dentro da propriedade e minúsculas, uma mesma espécie entre propriedades. A ausência de letras maiúsculas e/ou minúsculas indica inexistência de diferença estatística.

da planta avaliada; assim, teores de Fe na parte aérea similares aos observados para *C. mucunoides* em Araponga foram encontrados no caule desta mesma planta por Oliveira et al. (2004).

Os teores de Zn também variaram em função do local ($P < 0,01$) e da espécie ($P < 0,01$) e, ao contrário do observado para Fe, os valores de Zn foram maiores na propriedade de Pedra Dourada (30%), com exceção de *S. aterrimum*, que apresentou os menores teores de Zn em ambas as propriedades (Tabela 2). Avaliando os níveis de Zn na parte aérea de leguminosas utilizadas na adubação verde, Silva et al. (2002) observaram valores entre 16 e 32 mg kg⁻¹; para *S. aterrimum*, esses foram de 27 a 32 mg kg⁻¹, em quatro plantios consecutivos. Valores de Cu, Zn e Mn também variam de acordo com as partes da planta avaliada, podendo ser de 49, 718 e 102 mg kg⁻¹ para folhas e 11, 32 e 7 mg kg⁻¹ para o caule de *C. mucunoides*, respectivamente, (Oliveira et al., 2004).

Os teores de Cu variaram de 10,6 a 13,1 mg kg⁻¹, não sendo observadas diferenças entre leguminosas e local de cultivo. Em Araponga, os teores de Mn foram similares para *A. pintoi* e *C. mucunoides* (54 mg kg⁻¹) e para *S. aterrimum* e *S. guianensis* (38 mg kg⁻¹). Em Pedra Dourada, esses valores foram superiores aos encontrados em Araponga com *A. pintoi* apresentando valores mais altos (280,5 mg kg⁻¹) (Tabela 2). Com exceção do Mn na propriedade de Pedra Dourada, os teores de micronutrientes na parte aérea encontraram-se nos níveis considerados adequados para leguminosas, que em geral são de 10 a 20 mg kg⁻¹ para Cu, 100 a 450 mg kg⁻¹ para Fe, 30 a 300 mg kg⁻¹ para Zn e 20 a 100 mg kg⁻¹ para Mn (Malavolta et al., 1997). Ao contrário dos macronutrientes, a amplitude de variação nos teores foliares de micronutrientes é muito alta, justificando as grandes diferenças encontradas entre as espécies de adubos verdes e para as mesmas espécies em diferentes localidades.

3.3. Quantidades totais de nutrientes na parte aérea de adubos verdes

As quantidades totais de macronutrientes na parte aérea dos adubos verdes são apresentadas na tabela 3. Em Araponga, *S. aterrimum* apresentou as maiores quantidades de N (115,0 kg ha⁻¹) e P (8,8 kg ha⁻¹), comparado aos outros adubos verdes, bem como de K (63,8 kg ha⁻¹) e Ca (30,1 kg ha⁻¹), comparado com *A. pintoi*. *C. mucunoides* e *S. guianensis* apresentaram quantidades de macronutrientes similares, enquanto *A. pintoi* mostrou as

menores quantidades de N (24,5 kg ha⁻¹), P (2,2 kg ha⁻¹) e K (21,5 kg ha⁻¹). Das espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde, *S. aterrimum* destaca-se pela elevada capacidade de produção de biomassa e quantidade de nutrientes na parte aérea mesmo em solos com baixa fertilidade natural e elevada acidez (Aita et al., 2000). Os dados obtidos por *S. aterrimum* em Pedra Dourada corroboram os observados por Borkert et al. (2003), que encontraram valores semelhantes para o intervalo de produção de MS menor que 2,5 t ha⁻¹. Já na propriedade de Araponga, onde a produção de MS foi de 3,2 t ha⁻¹, observa-se que os dados de P, Ca e Mg são inferiores (em média 60%) aos encontrados pelos mesmos autores que também avaliaram as quantidades totais de nutrientes na parte aérea de *S. aterrimum* no intervalo de rendimento entre 2,5 e 5,0 t ha⁻¹. Avaliando o potencial de produção de MS e quantidades totais de nutrientes de *S. aterrimum*, Oliveira et al. (2002) constataram valores baixos de MS (1,1 t ha⁻¹), o que resultou em baixo acúmulo de N, P, K, Ca e Mg na biomassa, e esse efeito foi atribuído, entre outros fatores, ao ataque de formigas desde a germinação, comprometendo o desenvolvimento da planta.

S. guianensis destacou-se por apresentar as maiores quantidades totais de N (92,4 kg ha⁻¹), P (7,4 kg ha⁻¹), K (50,5 kg ha⁻¹) e Ca (33,5 kg ha⁻¹), comparado ao *A. pintoii*, na propriedade de Pedra Dourada, indicando haver diferenças na capacidade de produção de MS e acúmulo de nutrientes por adubos verdes quando cultivados em face sul de exposição ao sol, comparada com a oeste, além de maiores temperaturas máximas e mínimas condicionadas pela menor ou maior altitude local (690 e 950 m, respectivamente). Essas diferenças podem ser atribuídas à capacidade de cada espécie em adaptar-se às variações climáticas locais (Santos & Campelo Júnior, 2003). Teores de nutrientes na parte aérea, assim como a capacidade de acúmulo de nutrientes por *S. guianensis*, são pouco explorados, visto que os trabalhos se concentram no consórcio desta com pastagens (Andrade et al., 2003; Paciullo et al., 2003). *S. guianensis* pode acumular cerca de 140 t ha⁻¹ de N e produzir 8,2 t ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa (Muhr et al., 2002).

As menores quantidades de N na parte aérea foram encontradas para *A. pintoii* tanto em Araponga (24,5 kg ha⁻¹) quanto em Pedra Dourada (26,7 kg ha⁻¹). Esses resultados estão relacionados tanto com a menor produção de MS (0,94 e 0,95 t ha⁻¹, em

Tabela 3 – Quantidades totais de C, N, P, K, Ca e Mg na parte aérea de adubos verdes, nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada

Adubo verde	C	N	P	K	Ca	Mg
	-----kg ha ⁻¹ -----					
Araponga						
<i>A. pintoii</i>	384,0 C	24,5 C	2,2 C	21,5 C	10,4 B	4,2 AB
<i>C. mucunoides</i>	943,0 AB	69,0 B	5,3 B	50,0 AB	18,5 AB	5,0 AB
<i>S. guianensis</i>	662,6 bBC	46,0 bBC	3,8 bBC	35,7 aBC	17,3 bAB	3,7 bB
<i>S. aterrimum</i>	1383,6 aA	115,0aA	8,8 aA	63,8 aA	30,1 aA	7,0 aA
Pedra Dourada						
<i>A. pintoii</i>	408,9 B	26,7 B	2,55 B	21,0 B	10,2 B	4,7 AB
<i>C. mucunoides</i>	777,9 AB	63,7 AB	5,2 AB	35,3 AB	14,8 B	3,5 B
<i>S. guianensis</i>	1256,8 aA	92,4 aA	7,4 aA	50,5 aA	33,5 aA	7,2 aA
<i>S. aterrimum</i>	787,3 bAB	62,91 bAB	4,9 bAB	34,3 bAB	14,9 bB	3,7 bB

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas comparam espécies dentro da propriedade e minúsculas, uma mesma espécie entre propriedades. A ausência de letras maiúsculas e/ou minúsculas indica inexistência de diferença estatística.

Araponga e Pedra Dourada, respectivamente) quanto com os teores de N na planta, que, em média, corresponderam a 2,6 dag kg⁻¹ nas duas propriedades. As quantidades totais de N na parte aérea de *A. pintoii* são bastante inferiores às encontradas por Soares et al. (2004), que observaram valor de 105 kg ha⁻¹ de N por ocasião do primeiro corte. Durante um ano, *A. pintoii* pode produzir 20 t ha⁻¹ de MS e acumular 520 kg ha⁻¹ de N (Perin et al., 2003).

Da mesma maneira que para *A. pintoii*, a quantidade de total nutrientes na parte aérea de *C. mucunoides* não diferiu entre os locais de cultivo (Tabela 3). Esta leguminosa pode produzir cerca de 7,5 t ha⁻¹ ano⁻¹ de MS e acumular 195 kg ha⁻¹ de N, 15 kg ha⁻¹ de P e 90 kg ha⁻¹ de K (Niang et al., 2002). Os baixos valores encontrados podem estar relacionados, entre outros fatores, com a obtenção do material por ocasião do primeiro corte e/ou com o efeito de sombreamento das espécies de adubos verdes cultivadas na entrelinha do cafeeiro.

De maneira geral, plantas com alto potencial de acúmulo de nutrientes conduzem à produção de resíduos com altas taxas de decomposição e liberação de nutrientes, já que

estas estão correlacionadas com os teores de C, N, P e suas inter-relações (Mendonça & Stott, 2003; Thomas & Asakawa, 1993). Com isso, a utilização de adubos verdes, entre outros benefícios, tende a promover o incremento da ciclagem de nutrientes com o aproveitamento do elevado potencial de produção e decomposição dessas plantas, principalmente em ambiente de clima tropical.

As quantidades totais de micronutrientes na parte aérea dos adubos verdes são mostradas na tabela 4. *S. aterrimum* e *S. guianensis* apresentaram as maiores quantidades de Zn e Cu na parte aérea nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada, respectivamente (Tabela 4). Essa diferença se deveu à maior quantidade de MS produzida pelos adubos verdes em cada propriedade. *S. guianensis* também obteve a maior quantidade de Mn na parte aérea (750,5 kg ha⁻¹) em Pedra Dourada. Já a maior quantidade de Fe foi observada para *C. mucunoides* na propriedade de Araponga. De maneira geral, os teores de Fe e a quantidade de Fe total na parte aérea correlacionaram negativamente com os teores de P (P<0,01), concordando com os dados obtidos por Marrocos et al. (2003), que observaram redução dos teores de P nas folhas com o incremento das concentrações de Fe.

Tabela 4 – Quantidades totais de micronutrientes na parte aérea de adubos verdes, nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada

Adubo verde	Fe	Zn	Cu	Mn
	-----g ha ⁻¹ -----			
Araponga				
<i>A. pintoi</i>	362,7 aB	25,5 B	11,5 B	54,1 bA
<i>C. mucunoides</i>	942,6 aA	61,0 AB	26,1 AB	81,9 A
<i>S. guianensis</i>	152,9 aB	36,2 bAB	16,5bB	85,5 bA
<i>S. aterrimum</i>	307,8 aB	71,2 aA	39,4aA	124,1 aA
Pedra Dourada				
<i>A. pintoi</i>	137,9 bA	30,4 B	13,3 B	263,3 aB
<i>C. mucunoides</i>	247,9 bA	62,9 AB	21,2 AB	214,4 B
<i>S. guianensis</i>	105,6 aA	94,3 aA	34,0 aA	750,5 aA
<i>S. aterrimum</i>	68,9 bA	39,1 bB	21,3 bAB	258,2 aB

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5%. Letras maiúsculas comparam espécies dentro da propriedade e minúsculas, uma mesma espécie entre propriedades. A ausência de letras maiúsculas e/ou minúsculas indica inexistência de diferença estatística.

4. CONCLUSÕES

- *S. aterrimum* apresentou as maiores quantidades de N e P na parte aérea na propriedade de Araponga, enquanto *S. guianensis* destacou-se na propriedade situada a 690 m de altitude e com maiores temperaturas máximas e mínimas anuais, por apresentar as maiores quantidades de N, P, K e Ca, comparado com *A. pintoii*.
- *A. pintoii* e *C. mucunoides* mantiveram as mesmas características produtivas em ambas as localidades aos 120 dias após o plantio.
- As maiores quantidades totais de nutrientes na parte aérea dos adubos verdes deveram-se à maior capacidade de produção de MS.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; FRIES, M.R. & GIACOMINI, S.J. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: Fertbio. 25., 2000. Anais. Santa Maria, SBCS, 2000. CDROM.
- ANDRADE, C. M. S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O.G. & SOUZA, A.L. Desempenho de seis gramíneas solteiras ou consorciadas com o *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão e eucalipto em sistema silvipastoril. Revista Brasileira de Zootecnia, 32:1845-1850, 2003.
- BORKERT, C.M.; GAUDÊNCIO, C.A.; PEREIRA, J.E.; PEREIRA, L.R. & OLIVEIRA JUNIOR, A.; Nutrientes minerais na biomassa da parte aérea em culturas de cobertura de solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38:143-153, 2003.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e planta. Revista Ceres, 21:73-85, 1994.
- COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L. & THOMAS, R.J. Decomposition and nutrient release by green manure in a tropical hillside agroecosystem. Plant and Soil, 240:331-342, 2002.
- DINESH, R.; SURYANARAYANA, M.A.; GHOSHAL CHAUDHURI, S. & SHEEJA, T.E. Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam Fluventic Sulfaquent in a humid tropical region of India. Soil and Tillage Research, 77:69-77, 2004.
- FONTES, P.C.R. Sugestões de adubação para hortaliças. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação. Viçosa : CFSEMG, 1999. p.171-208.
- FUNARBE. SAEG-Sistema para análises estatísticas v. 5.0. Viçosa-MG, 1993.
- HANDAYANTO, E.; CADISCH, G. & GILLER, K. E. Manipulation of quality and mineralization of tropical legume tree prunings by varying nitrogen supply. Plant and Soil, 176:149-160, 1995.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed., Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MARROCOS, P.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; VENEGAS, V.H.A.; BRUCKNER, C.H. & CANTARUTTI, R.B. Interação P x Fe em mudas de macadâmia. Revista Brasileira de Fruticultura, 25:323-325, 2003.
- MENDONÇA, E.S. & STOTT, D.E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. Agroforestry Systems, 57:117-125, 2003.
- MONTEIRO, H.C.F; CANTARUTTI, R.B.; NASCIMENTO JR, D.; REGAZZI, A.J. & FONSECA, D. 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.
- MUHR, L.; TARAWALI, S.A.; PETERS, M. & SHULTZE-KRAFT, R. Soil mineral N dynamics and grain yields following *Centrosema macrocarpum* and *Stylosanthes guianensis*: effects of different rotations and varying levels of N fertiliser. Field Crops Research, 78:197-209, 2002.
- NIANG, A.I.; AMADALO, B.A.; WOLF, J. & GATHUMBI, S.M. Species screenig for short-term planted fallows in the highlands of western Kenya. Agroforestry Systems, 56:145-154, 2002.
- OLIVEIRA, T.K.; CARVALHO, G.J. & MORAES, R.N.S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 37:1079-1087, 2002.
- OLIVEIRA, D.A.; OLIVEIRA, E.D.; MOURA, P.M.; COSTA, D.M.S.; MACHADO, J.C.; SILVA, M.S.L.; GOMES, T.C.A. & SILVA, A.F. Produção de fitomassa e distribuição radicular de leguminosas cultivadas no vale do submédio São Francisco na região Nordeste do Brasil. In: Fertbio. 26., 2004. Anais. Lages, SBCS, 2004. CDROM.

- PACIULLO, D.S.C.; AROEIRA, L.J.M.; ALVIM, M.J. & CARVALHO, M.M. Características produtivas e qualitativas de pastagem de braquiária em monocultivo e consorciada com estilosantes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:421-426, 2003.
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenol contents. *Soil Biology and Biochemistry*, 23:83-88, 1991.
- PERIN, A.; GUERRA, J.G.M. & TEIXEIRA, M.G. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:791-796, 2003.
- ROBERTSON, F.A. & MORGAN, W.C. Effects of management history and legume green manure on soil microorganisms under organic vegetable production. *Australian Journal of Soil Research*, 34:427-440, 1996.
- SÁ, N.M.H. & VARGAS, M.A.T. Fixação biológica de nitrogênio por leguminosas forrageiras. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M., ed. *Biologia dos Solos dos Cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p.127-152.
- SANTOS, V.S. & CAMPELO JÚNIOR, J.H. Influência dos elementos meteorológicos na produção de adubos verdes, em diferentes épocas de semeadura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7:91-98, 2003.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 56p. 1974. (Boletim técnico)
- SILVA, J.A.A.; VITTI, G.C.; STUCHI, E.S. & SEMPIONATO, O.R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-pêra. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24:225-230, 2002.
- SOARES, P.G.; FRANCO, A.A. & RESENDE, A.S. Produção de matéria seca e acúmulo de N em 12 acessos de *Arachis*. In: *Fertbio*. 26., 2004. Anais. Lages, SBCS, 2004. CDROM.

THOMAS, R.J. & ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry*, 25:1351-1361, 1993.

VIERA-VARGAS, M.S.; SOUTO, C.M.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R. M. Quantification of the contribution of N₂ fixation to tropical forage legumes and transfer to associated grass. *Soil Biology and Biochemistry*, 27:1193-1200, 1995.

CAPÍTULO 2

DECOMPOSIÇÃO DE LEGUMINOSAS HERBÁCEAS E LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar as taxas de decomposição e liberação de nutrientes dos adubos verdes *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum* e *Stylozanthus guianensis* no campo, sob duas condições edafoclimáticas, na Zona da Mata de Minas Gerais. Os experimentos foram conduzidos em Araponga (950 m de altitude) e Pedra Dourada (690 m). Os resíduos foram acondicionados em “sacolas de lambri” de 20 x 20 cm e malha de 2 x 6 mm e coletados após 0, 15, 30, 60, 120, 240 e 360 dias de incubação. Os teores de N iniciais na parte aérea variaram de 2,57 a 3,7% e os de P de 0,24 a 0,30%. Entre os adubos verdes, *C. mucunoides* e *S. aterrimum* apresentaram os maiores teores de N em ambas as áreas. *S. guianensis* apresentou os menores valores de lignina e das relações lignina/N, lignina/polifenol e (lignina+polifenol)/N. Os valores de polifenóis totais solúveis variaram de 1,19 a 1,86% em Araponga e de 1,30 a 2,04% em Pedra Dourada. Entre os resíduos, *C. mucunoides* apresentou os menores e *S. aterrimum* os maiores valores de polifenóis. A taxa de decomposição de MS foi 50,7% menor em Araponga e esteve relacionada com as diferenças climáticas entre as propriedades. As maiores taxas de liberação de nutrientes foram observadas para o P em todas as espécies avaliadas e ocorreram nos primeiros 15 dias, quando mais de 60% do P foi liberado para o sistema. Em média, 32% do total de N presente no material vegetal foi liberado nos primeiros 15 dias. Até os 360 dias, foram liberados pelos adubos verdes, em média, 77,5% do N em Araponga e 88,5% em Pedra Dourada. *S. aterrimum* contribuiu para a adição das maiores quantidades de N, P e K na propriedade de Araponga após 360 dias de decomposição, ciclando, em média, 93,4, 7,8 e 63,6 kg ha⁻¹, respectivamente. Em Pedra Dourada, destacou-se *S. guianensis*, que ciclou 86,2 kg ha⁻¹ de N, 7,1 kg ha⁻¹ de P e 50,4 kg ha⁻¹ de K. Ao contrário das características edafoclimáticas, as diferenças na composição química e bioquímica dos adubos verdes tiveram pouca influência nas variações das taxas de decomposição e liberação de nutrientes.

DECOMPOSITION AND NUTRIENTE REALEASE BY HERBACEUS LEGUMINOUS UNDER TWO EDAPHOCLIMATIC CONDITIONS

ABSTRACT

In order to evaluate the decomposition and nutrient release rates of green manures *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum* e *Stylozanthus guianensis* under two edaphoclimatic conditions it was carried out an experiment in the Zona da Mata of Minas Gerais. The experiment was in Araponga (altitude of 950 m) and Pedra Dourada (690 m). The residues were placed in 2 x 6 mm mesh and 20x20 cm litterbags and taken out at 0, 15, 30, 60, 120, 240 and 360 days after incubation. The N content changed from 2,57 to 3,7% and P content from 0,24 to 0,30%. Among the residues, *C. mucunoides* and *S. aterrimum* had the highest N content in both fields. The *S. guianensis* showed the lowest lignin content and lignin/N, lignin/polyphenol and (lignin+polyphenol)/N ratios. The total soluble polyphenol content ranged from 1,19 to 1,86% in Araponga and from 1,30 to 2,04% in Pedra Dourada. Among the green manures, *C. mucunoides* had the lowest polyphenol content and *S. aterrimum* the highest. The dried matter decomposition rate was 50,7% lower in Araponga and was related with the climatic differences among the farms. The highest nutrient release rates were observed for P in every species and occurred in the first 15 days when more than 60% of the P was released from the system. In general, 32% of total N content in the vegetal residue was released in the first 15 days. Until the 360 days, it was released by the green manures, around 77,5% of N in Araponga and 88,5% in Pedra Dourada. After 360 days of decomposition, *S. aterrimum* contributed for add the highest amounts of N, P and K in Araponga farm, recycling 93,4, 7,8 and 63,6 kg ha⁻¹, respectively. *S. guianensis* and *S. aterrimum* distinguished in Pedra Dourada recycling 86,2 kg ha⁻¹ of N, 7,1 kg ha⁻¹ of P and 50,4 kg ha⁻¹ of K. In contrast to edaphoclimatic conditions, in the green manures the chemical and biochemical composition differences had low importance on the changes of the decomposition and nutrient release rates.

1. INTRODUÇÃO

O aporte de materiais orgânicos, comum no manejo orgânico, regula a biomassa microbiana afetando, conseqüentemente, a mineralização de C e a ciclagem da matéria orgânica (MO) e promovendo a melhoria da qualidade do solo (Dinesh et al., 2004). Uma fonte de materiais orgânicos de grande benefício para o solo e para as plantas cultivadas são as leguminosas utilizadas como adubos verdes. As leguminosas destacam-se pela capacidade de associação com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, o que contribui para a incorporação anual de grandes quantidades de N e o conseqüente estímulo à ciclagem de outros nutrientes (Sá & Vargas, 1997).

A capacidade das leguminosas de produzir biomassa, acumular e liberar nutrientes depende da espécie utilizada. Por exemplo, em função do elevado potencial de produção de biomassa e acúmulo de nutrientes, Cobo et al. (2002) observaram que *Mucuna deeringianum* liberou as maiores quantidades de N ($144,5 \text{ kg ha}^{-1}$) e P ($11,4 \text{ kg ha}^{-1}$), quando comparado com 11 adubos verdes, após 20 dias de incubação sob mesmas condições climáticas.

No entanto, dependendo das condições climáticas, do tipo de solo e do sistema de manejo, pode haver influência na qualidade dos adubos verdes, alterando a produção e manutenção da MO, assim como a liberação dos nutrientes para a cultura de interesse. A qualidade do resíduo está normalmente relacionada com a composição química do material e pode ser medida pelos teores de C, N, P, lignina e polifenóis, juntamente com suas inter-relações (Mendonça & Stott, 2003; Thomas & Asakawa, 1993). O alto conteúdo inicial de nutrientes pode ser responsável por altas taxas de decomposição e liberação de nutrientes para o sistema, pois favorece o crescimento e a atividade microbiana. Entretanto, conteúdos consideráveis de polifenóis e polissacarídeos, como hemicelulose e lignina, podem reduzir o efeito do teor de nutrientes em razão da proteção física dos constituintes celulares do ataque microbiano (Cobo et al., 2002).

O processo de decomposição e liberação de nutrientes é essencialmente biológico, associado principalmente à composição da comunidade decompositora assim como da sua atividade, e sujeito à interferência de diversos fatores do meio, dentre os quais se destacam a temperatura, a umidade, o pH, os teores de O_2 e de nutrientes do solo, especialmente a disponibilidade de nitrogênio (Robertson & Morgan, 1996). A influência climática varia

com a espécie de leguminosa. Enquanto Zaharah & Bah (1999) não observaram interferência da frequência de chuvas na taxa de decomposição e liberação de nutrientes para gliricídia (*Gliricidia sepium*), Oliveira et al. (2003) encontraram alterações drásticas para o amendoim forrageiro, quando consideradas as estações secas e úmidas. O tempo de meia-vida da matéria seca do amendoim forrageiro foi reduzido de 272 para 20 dias; a liberação de N, de 123 para 16 dias; e a de P, de 140 para 16 dias, na estação úmida.

Sabendo-se que as taxas de decomposição e liberação de nutrientes são dependentes da composição química e bioquímica e de suas inter-relações, assim como dos fatores edafoclimáticos, torna-se imprescindível o conhecimento das constantes relacionadas com esses processos para se estabelecer estratégias de manejo mais eficientes na utilização dos adubos verdes, em que, através do planejamento da introdução das espécies, seja possível atender às necessidades da cultura de interesse e à disponibilização dos nutrientes mais críticos, potencializando o processo de ciclagem.

O objetivo deste estudo foi determinar as taxas de decomposição e liberação de nutrientes dos adubos verdes *Arachis pintoi*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum* e *Stylozanthus guianensis* em duas condições edafoclimáticas, na Zona da Mata de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e Descrição dos Experimentos

Os estudos foram conduzidos no período de dezembro/2003 a abril/2005, em duas unidades experimentais instaladas em áreas de agricultores familiares e em parceria com a UFV/EPAMIG/CTA, nos municípios de Araponga e Pedra Dourada, ambos localizados na região da Zona da Mata de Minas Gerais. A propriedade localizada em Araponga está situada a 20° 38' de latitude sul e 42° 31' de longitude oeste, com altitude média de 950 m, temperatura média máxima e mínima anual de 25,4 e 13,7°C, respectivamente, e precipitação de 1320 mm (Figura 1), com a unidade experimental apresentando face oeste de exposição ao sol. Já a propriedade localizada no município de Pedra Dourada está situada a 20° 50' de latitude sul e 42° 08' de longitude oeste, com altitude média de 690 m, temperatura média máxima e mínima anual de 26,6 e 15,2°C, respectivamente, e precipitação de 1280 mm (Figura 1), com a unidade experimental apresentando face sul de exposição ao sol. O café, em espaçamento de 2,8-3,0 x 0,5-0,8 m, vem sendo cultivado na área em sistema orgânico desde o plantio das mudas e, no início dos experimentos, encontrava-se no terceiro ano pós-plantio. Anteriormente ao plantio das leguminosas, realizou-se a correção dos solos de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo para o Estado de Minas Gerais (Fontes, 1999). A adubação e correção do solo foram realizadas aplicando-se 0,26 t ha⁻¹ de calcário, 64 kg ha⁻¹ de gesso, 125 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio e 800 kg ha⁻¹ de termofosfato, em Araponga; e 1,20 t ha⁻¹ de calcário, 300 kg ha⁻¹ de gesso, 125 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio e 800 kg ha⁻¹ de termofosfato, em Pedra Dourada, sendo esses aplicados na entrelinha do cafeeiro e incorporados no momento do plantio. Todas as leguminosas foram plantadas via sementes, obtidas comercialmente, distribuídas em sulcos e incorporadas a uma profundidade média de 1 cm. Não se realizou inoculação das sementes antes do plantio.

Os solos de ambas as áreas são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo e apresentam textura argilosa. As características químicas e físicas dos solos antes da instalação dos experimentos estão descritas na tabela 1.

Tabela 1. Características químicas e físicas dos solos antes da instalação dos experimentos na profundidade de 0-20 cm

Análise química	Araponga	Pedra Dourada
pH em água (1:2,5)	5,24	5,04
Alumínio trocável (cmol _c /dm ³) ¹	0,47	0,59
Fósforo (mg/dm ³) ¹	1,00	2,92
Potássio (mg/dm ³) ¹	59,8	53,5
Cálcio (cmol _c /dm ³) ²	1,74	0,99
Magnésio (cmol _c /dm ³) ²	0,74	0,47
Carbono orgânico (g/kg) ³	29,0	36,8
Zinco (mg/dm ³) ¹	1,17	1,56
Ferro (mg/dm ³) ¹	40,7	14,7
Manganês (mg/dm ³) ¹	10,4	20,2
Cobre (mg/dm ³) ¹	0,50	0,38
Análise granulométrica		
Areia (%)	39	36
Argila (%)	52	45
Classe textural	argiloso	argiloso

¹ - Mehlich-1; ² - Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³ : KCl 1 mol L⁻¹; ³ - C org. Walkley Black.

Os tratamentos constaram de combinações entre dois locais de cultivo de café (Araponga e Pedra Dourada) e quatro espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde: *Arachis pintoii* (amendoim forrageiro) *Calopogonium mucunoides* (calopogônio), *Stylosanthes guianensis* (mineirão) e *Stizolobium aterrimum* (mucuna), cultivadas nas entrelinhas dos cafezais em parcelas de 2 x 2 m. Ao atingir o estágio de floração, aproximadamente 120 dias após o plantio, as partes aéreas das leguminosas foram coletadas. Uma amostra de cada material foi usada para determinação da umidade e posteriores análises químicas. Outras seis amostras (100 g de matéria fresca) foram coletadas e acondicionadas em “sacolas de lambri” de 20 x 20 cm e malha de 2 x 6 mm, dispostas sob a projeção da copa das plantas de café e posteriormente recolhidas aos 15, 30, 60, 120, 240 e 360 dias. O tempo zero correspondeu à amostra obtida no corte. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 2 x 4 x 7 (dois locais, quatro espécies de leguminosas e sete tempos) com quatro repetições, perfazendo 224 unidades experimentais.

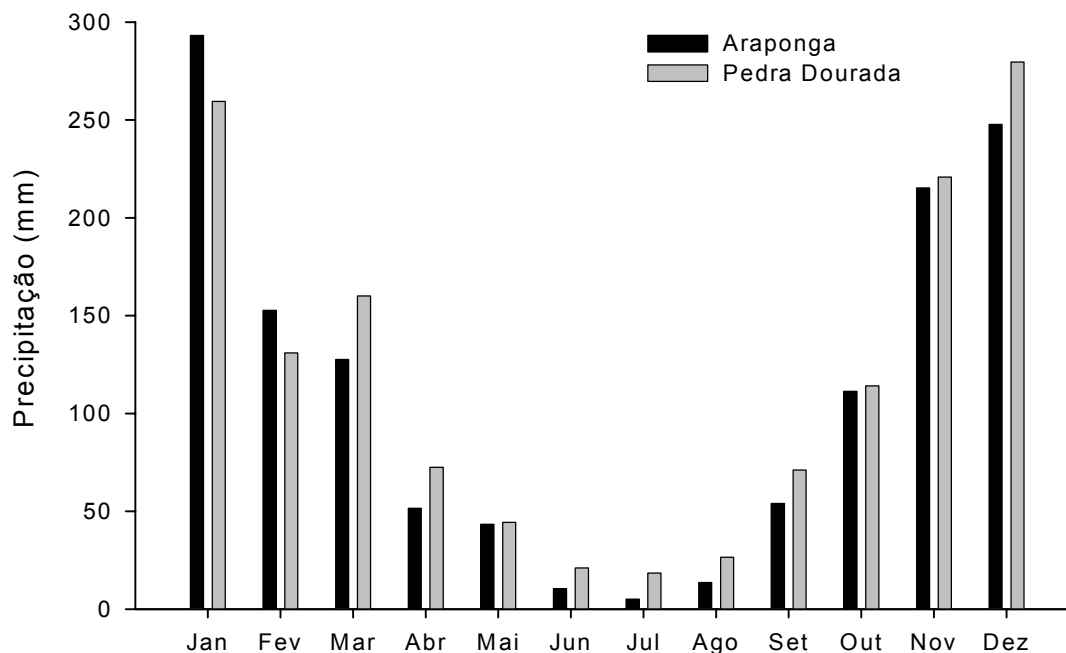


Figura 1 – Distribuição de chuvas ao longo do ano nas bacias do Rio Doce e Paraíba do Sul, onde estão localizadas as propriedades de Araponga e Pedra Dourada, respectivamente (média de 12 anos). Fonte: ANA – Agência Nacional de Águas.

2.2. Caracterização química e bioquímica do material vegetal

Os adubos verdes, após serem secos em estufa, moídos e passados em peneira de 2 mm, foram caracterizados química e bioquimicamente, sendo os teores de C e N obtidos por combustão seca, em analisador Perkin Elmer CHNS/O 2400. Após digestão nitro-perclórica (Sarruge & Haag, 1974), foi determinada a concentração elementar de P, de acordo com Braga & Defelipo (1994); K, por fotometria de chama; e Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica. Os polifenóis solúveis foram extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis (Anderson & Ingram, 1996). Os componentes da parede celular foram obtidos pelo método seqüencial (Van Soest et al., 1991), utilizando-se 2 mL de uma solução a 1% de amilase por amostra, na determinação de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). Os valores de hemicelulose no material analisado, em porcentagem da matéria seca, foram determinados por diferença, subtraindo da FDN a FDA. Os teores de celulose também foram obtidos por diferença, subtraindo da FDA a lignina.

2.3. Taxa de decomposição e liberação de nutrientes

O material inicial correspondente ao tempo zero e os materiais acondicionados nas “sacolas de lambri” e recolhidos aos 15, 30, 60, 120, 240 e 360 dias foram secos em estufa, pesados, moídos e separados por peneira de 2 mm. Nos resíduos, foram determinados os teores totais de C e N por combustão seca, em analisador Perkin Elmer CHNS/O 2400. Foram determinadas, após digestão nitro-perclórica (Sarruge & Haag, 1974), a concentração elementar de P, de acordo com Braga & Defelipo (1994); K, por fotometria de chama; e Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica. A partir destes dados, foram determinados os percentuais de matéria seca (MS), C, N, P, K, Ca e Mg remanescentes em relação às quantidades adicionadas inicialmente; em seguida, estimaram-se as quantidades de nutrientes liberadas após 360 dias. Foram ajustados modelos para avaliar a taxa de decomposição e liberação de nutrientes baseados na equação:

$$XR_t = a \exp^{-kt}$$

Em que XR_t é o peso seco ou nutriente restante a um tempo t e uma constante k de decomposição. O parâmetro “ a ” corresponde ao ponto de máximo da função e representa a quantidade inicial de MS ou de nutriente adicionada nas “sacolas de lambri”.

2.4. Análises Estatísticas

Os dados de percentagem de MS e nutrientes remanescentes foram submetidos à análise de variância, empregando-se os testes F e de Tukey a 5%. Os coeficientes da equação de regressão foram testados pelo teste t a 5% de probabilidade. Na execução das análises utilizou-se o programa estatístico SAEG 5.0 (FUNARBE, 1993).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Características químicas e bioquímicas dos adubos verdes

A composição química e bioquímica inicial dos adubos verdes nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada encontra-se na tabela 2. Os teores de N na parte aérea variaram de 2,57 a 3,70% e os de P de 0,24 a 0,30%, com *C. mucunoides* e *S. aterrimum* apresentando os maiores teores de N em ambas as áreas (Tabela 2). *A. pintoii* apresentou os menores teores de N, correspondendo a 2,57% em Araponga e 2,71% em Pedra Dourada. Para K, Ca e Mg, observou-se comportamento distinto entre os adubos verdes e comportamento semelhante, com exceção do K, entre as duas propriedades (Tabela 2). Em média, os valores de Ca foram 33,4% maiores para *A. pintoii* e *S. guianensis*, comparados com os de *C. mucunoides* e *S. aterrimum*. Já em relação a Mg, *A. pintoii* se destacou, obtendo teores médios cerca de 110% maiores comparados aos outros adubos verdes. Altos teores de nutrientes no material vegetal, geralmente correlacionam-se com altas taxas de decomposição (Cobo et al., 2002)

Os teores de hemicelulose variaram de 12,4 a 16,9%, enquanto os de celulose ficaram entre 26,7 a 32,3%. Com exceção de *C. mucunoides* e *S. aterrimum* na propriedade de Pedra Dourada, os valores de hemicelulose apresentaram pequena variação ($12,6 \pm 0,4$) entre as leguminosas (Tabela 2).

S. guianensis apresentou os menores valores de lignina em ambas as propriedades (6,1% em Araponga e 4,8% em Pedra Dourada). Esses valores foram inferiores aos obtidos por Monteiro et al. (2002). Nesse mesmo estudo, *S. guianensis*, quando comparado com *A. pintoii* e *C. mucunoides*, também apresentou os menores teores de lignina. Em razão dos menores valores de lignina, *S. guianensis* obteve os menores valores das relações lignina/N, lignina/polifenol e (lignina+polifenol)/N, que são indicadores da qualidade do material vegetal (Thomas & Asakawa, 1993).

Os valores de polifenóis totais solúveis variaram de 1,19 a 1,86% em Araponga e de 1,30 a 2,04% em Pedra Dourada, com *C. mucunoides* apresentando os menores e *S. aterrimum* os maiores valores. Os polifenóis desempenham função importante na decomposição e liberação de nutrientes por sua capacidade de se ligar a proteínas,

Tabela 2 – Composição química e bioquímica dos adubos verdes nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada

Adubo verde	C	N	P	K	Ca	Mg	HM	CL	LG	PP	C/P	C/N	$\frac{LG}{N}$	$\frac{LG}{PP}$	$\frac{PP}{N}$	$\frac{(LG+PP)}{N}$
%															
Araponga																
<i>A. pintoi</i>	40,8	2,57	0,24	2,30	1,12	0,45	12,3	27,8	8,4	1,82	170	15,9	3,3	4,6	0,71	4,0
<i>C. mucunoides</i>	42,1	3,09	0,24	2,24	0,82	0,22	12,4	28,2	7,8	1,19	175	13,6	2,5	6,6	0,38	2,9
<i>S. guianensis</i>	43,1	2,95	0,25	2,30	1,13	0,24	12,7	32,3	6,1	1,54	172	14,6	2,1	4,0	0,52	2,6
<i>S. aterrimum</i>	43,3	3,56	0,28	2,05	0,91	0,22	13,2	31,4	10,5	1,86	155	12,2	2,9	5,6	0,52	3,5
Pedra Dourada																
<i>A. pintoi</i>	42,7	2,72	0,27	2,26	1,09	0,50	12,1	31,2	7,8	1,68	158	15,7	2,9	4,6	0,62	3,5
<i>C. mucunoides</i>	44,1	3,52	0,30	2,1	0,83	0,20	16,6	26,7	9,0	1,30	147	12,5	2,6	6,9	0,37	2,9
<i>S. guianensis</i>	43,7	3,20	0,26	1,72	1,17	0,25	12,9	29,8	4,8	1,72	168	13,6	1,5	2,8	0,54	2,0
<i>S. aterrimum</i>	45,3	3,70	0,26	1,97	0,82	0,20	16,9	31,7	8,6	2,04	174	12,3	2,3	4,2	0,55	2,9

HM= hemicelulose; CL = celulose; LG = lignina; e PP = polifenóis totais solúveis.

reduzindo a disponibilidade de N para os microrganismos no solo (Monteiro et al., 2002; Hättenschwiler & Vitousek, 2000). Entretanto, a decomposição dos resíduos é controlada não só pela presença desses compostos nos tecidos da planta, mas pela sua capacidade de complexação de proteínas, além da presença de componentes estruturais, como lignina, celulose e hemicelulose, e das relações C/P, C/N, lignina/polifenol, lignina/N, polifenol/N e (lignina+polifenol)/N (Mendonça & Stott, 2003; Cobo et al., 2002; Handayanto et al., 1995; Northup, 1995; Fox et al., 1990)

3.2. Decomposição e liberação de nutrientes por adubos verdes

A porcentagem de MS remanescente ao longo de 360 dias nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada encontra-se na figura 2. A maior perda de MS ocorreu nos primeiros 15 dias, que é normalmente quando ocorre à maior perda de compostos solúveis mais lábeis e de fácil decomposição (Lupwayi et al., 2004). Na propriedade de Araponga, houve tendência de *S. aterrimum* apresentar os menores percentuais de MS remanescentes até os 60 dias (Figura 2). Dos 120 aos 240 dias de avaliação da decomposição, não se observou redução da MS, e esse efeito esteve relacionado com o período de baixa ocorrência de chuvas na região, que geralmente se concentra entre os meses de junho e setembro, podendo chegar até meados de outubro (Figura 1). Além disso, o processo de

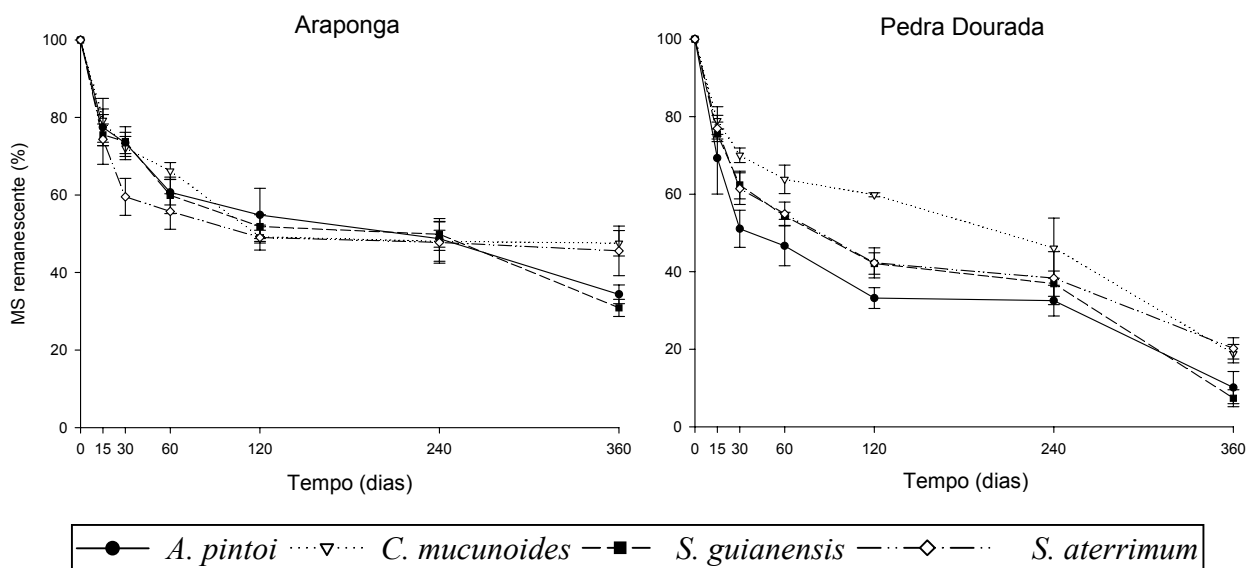


Figura 2 – Porcentagem de MS remanescente ao longo de 360 dias nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada, respectivamente. Barras verticais representam o erro-padrão em relação à média (n=4).

decomposição é acompanhado por intensas transformações dos resíduos orgânicos ao longo do tempo; assim, as taxas de decomposição são inicialmente mais intensas em função da maior quantidade de materiais mais facilmente decomponíveis, como açúcares, aminoácidos e proteínas, e à medida que o processo avança, há o predomínio dos materiais mais recalcitrantes, como lignina, taninos e celulose (Zaharah & Bah, 1999; Thönnissen et al., 2000; Hadas et al., 2004; Lupwayi et al., 2004). Aos 240 dias, na propriedade de Araponga, todas as leguminosas alcançaram valores muito próximos de MS remanescentes ($48,6 \pm 0,9$), não sendo observada diferença entre as mesmas. No entanto, aos 360 dias, fase em que houve restabelecimento do período de chuvas e aumento das temperaturas máximas e mínimas, observou-se nova fase de perda de MS. Nesta fase, *A. pintoii* e *S. guianensis* apresentaram constantes de decomposição semelhantes, assim como *C. mucunoides* e *S. aterrimum*. Contudo, *A. pintoii* e *S. guianensis* apresentaram constantes de decomposição menores que *C. mucunoides* e *S. aterrimum* (Figura 2). Houve então a separação de dois grupos de plantas com comportamentos distintos. Esse efeito também foi observado em Pedra Dourada (Figura 2), porém, nesta propriedade, *C. mucunoides* e *A. pintoii* apresentaram comportamentos opostos durante toda a avaliação, enquanto *S. guianensis* e *S. aterrimum* mostraram comportamento semelhante até os 240 dias. Ao final dos 360 dias, *S. guianensis* apresentou maior redução da MS comparado com *S. aterrimum*, o que fez com que os valores de MS remanescente de *S. guianensis* se iguallassem aos de *A. pintoii*, e o de *S. aterrimum*, aos de *C. mucunoides*.

Comparando as duas propriedades, observaram-se menores valores de MS para a propriedade de Pedra Dourada ($P < 0,01$) durante todo o período de avaliação, efeito esse que se intensificou ao final dos 360 dias. Esse efeito está relacionado com a face sul de exposição ao sol em Pedra Dourada que mantém maior umidade nas entrelinhas do cafeeiro, além das maiores temperaturas máximas e mínimas condicionadas pela menor altitude local (690 m), comparado com a propriedade de Araponga que está a 950 m e apresenta face oeste de exposição ao sol.

Os valores das constantes de decomposição e liberação de nutrientes (k) e do tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) são apresentados na tabela 3. De forma geral, os valores das constantes de decomposição da MS variaram entre as leguminosas e as propriedades; *C. mucunoides* apresentou menor valor da constante “ k ” entre as leguminosas em Pedra Dourada

Tabela 3- Estimativa dos parâmetros (a , k) da equação de decomposição e liberação de nutrientes e do tempo de meia-vida ($t_{1/2}$) para os adubos verdes, em duas condições edafoclimáticas

Adubo verde	$a^{(1)}$	$k^{(1)}$	R^2	$t_{1/2}$	$a^{(1)}$	$k^{(1)}$	R^2	$t_{1/2}$
	(g)	(dia^{-1})			(g)	(dia^{-1})		
	Araponga				Pedra Dourada			
	MS							
<i>A. pintoii</i>	17,93	0,0026**	0,896	269,1	18,57	0,0070**	0,892	98,9
<i>C. mucunoides</i>	18,60	0,0030**	0,918	233,0	20,19	0,0036**	0,946	194,8
<i>S. guianensis</i>	16,62	0,0025**	0,869	278,0	18,86	0,0056**	0,942	123,8
<i>S. aterrimum</i>	14,43	0,0022**	0,726	319,3	15,79	0,0045**	0,919	152,5
	C							
<i>A. pintoii</i>	8,10	0,0058**	0,984	119,1	8,38	0,0088**	0,892	78,5
<i>C. mucunoides</i>	7,25	0,0037**	0,883	187,5	8,82	0,0048**	0,946	144,0
<i>S. guianensis</i>	6,91	0,0032**	0,867	216,0	8,16	0,0066**	0,942	105,2
<i>S. aterrimum</i>	6,40	0,0038**	0,855	183,4	7,19	0,0068**	0,919	101,1
	N							
<i>A. pintoii</i>	0,440	0,0048**	0,906	144,8	0,5098	0,0096**	0,867	72,1
<i>C. mucunoides</i>	0,499	0,0046**	0,835	149,0	0,6226	0,0056**	0,872	123,7
<i>S. guianensis</i>	0,428	0,0036**	0,784	192,5	0,5532	0,0094**	0,853	74,0
<i>S. aterrimum</i>	0,505	0,0042**	0,800	166,3	0,5185	0,0064**	0,798	107,8
	P							
<i>A. pintoii</i>	0,0461	0,0290**	0,807	23,9	0,0574	0,0394**	0,845	17,6
<i>C. mucunoides</i>	0,0414	0,0165**	0,698	42,0	0,0565	0,0211**	0,797	32,8
<i>S. guianensis</i>	0,0458	0,0358**	0,767	19,3	0,0523	0,0357**	0,852	19,4
<i>S. aterrimum</i>	0,0490	0,0344**	0,865	20,1	0,0482	0,0298**	0,839	23,3
	K							
<i>A. pintoii</i>	0,501	0,0145**	0,976	47,7	0,515	0,0120**	0,991	57,8
<i>C. mucunoides</i>	0,500	0,0087**	0,992	79,6	0,545	0,0079**	0,988	87,5
<i>S. guianensis</i>	0,488	0,0139**	0,980	50,0	0,485	0,0113**	0,974	61,3
<i>S. aterrimum</i>	0,394	0,0118**	0,980	58,9	0,399	0,0076**	0,988	91,5
	Ca							
<i>A. pintoii</i>	0,208	0,0022**	0,922	312,4	0,185	0,0034**	0,933	204,0
<i>C. mucunoides</i>	0,167	0,0028**	0,977	251,4	0,216	0,0036**	0,976	194,2
<i>S. guianensis</i>	0,222	0,0023**	0,943	300,2	0,222	0,0033**	0,933	211,7
<i>S. aterrimum</i>	0,152	0,0017**	0,792	421,1	0,158	0,0028**	0,829	243,5
	Mg							
<i>A. pintoii</i>	0,075	0,0038**	0,869	180,8	0,087	0,0038**	0,797	181,8
<i>C. mucunoides</i>	0,050	0,0023**	0,993	301,6	0,049	0,0025**	0,897	273,5
<i>S. guianensis</i>	0,049	0,0022**	0,978	312,5	0,055	0,0038**	0,932	184,0
<i>S. aterrimum</i>	0,039	0,0013**	0,852	521,1	0,041	0,0025**	0,906	277,2

** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

⁽¹⁾Equação de regressão linear: $\hat{y} = \hat{a} \exp^{-kt}$

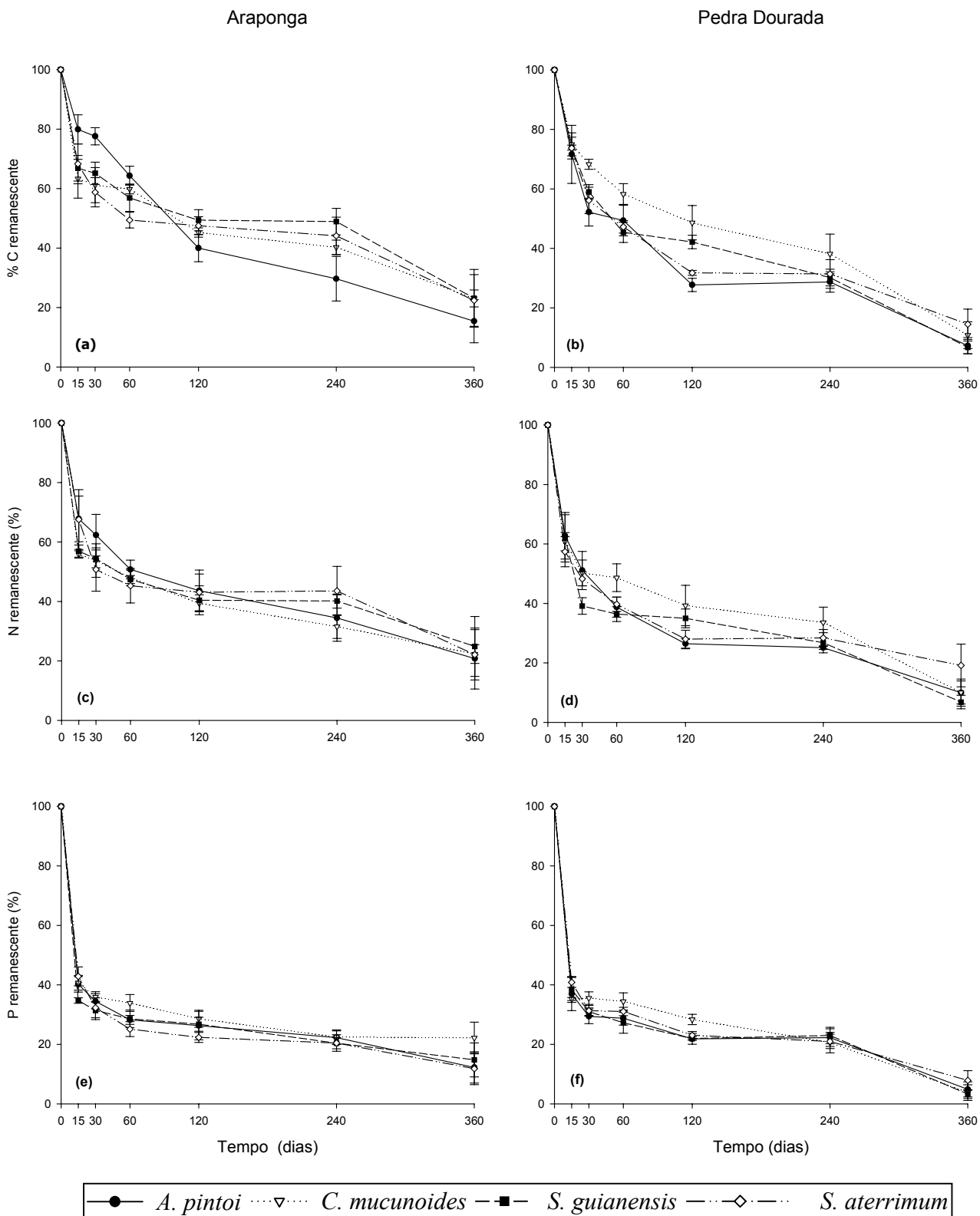


Figura 3 - Porcentagem de C (a, b), N (c, d) e P (e, f) remanescentes ao longo de 360 dias, nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada, respectivamente. Barras verticais representam o erro-padrão em relação a média (n=4).

(0,0036 d⁻¹), e o maior em Araponga (0,0030 d⁻¹) indicando menores taxas de decomposição nesta última. De fato, os valores das constantes de decomposição foram, em média, 50,7% menores em Araponga, e esse efeito, como discutido anteriormente, esteve relacionado com as diferenças edafoclimáticas das duas propriedades, já que não foram observadas correlações entre as constantes de decomposição e os constituintes químicos e bioquímicos e com suas inter-relações. Além disso, outros fatores, como a textura do solo, podem afetar a taxa de decomposição. Altos teores de argila contribuem para a maior retenção de umidade, mas reduzem a aeração do solo (Cabrera et al., 2005; Oliveira et al., 2003; Thönnissen et al., 2000). Dessa forma, como existe interação entre os fatores químicos, físicos e ambientais no controle da atividade microbiana, a redução da aeração no solo de Araponga, por seu maior teor de argila, pode ter contribuído para a menor taxa de decomposição dos resíduos.

Em relação à liberação de nutrientes para o sistema, o K apresentou valores de constantes de liberação variando de 0,0079 d⁻¹ para *C. mucunoides* em Pedra Dourada a 0,0145 d⁻¹ para *A. pintoi* em Araponga. De forma geral, as curvas de liberação de K apresentaram comportamento muito semelhantes entre as propriedades (Figura 4). A liberação de K é dependente, em maior parte, da intensidade de precipitação ao longo do processo de decomposição (Giacomini et al., 2003), que se mantiveram muito próximas para ambas as propriedades (Figura 1). O K vem sendo, constantemente, apresentado como o nutriente com maior velocidade de liberação, por não fazer parte de componentes estruturais das plantas (Lupwayi & Haque, 1999; Cobo et al., 2002; Giacomini et al., 2003). Todavia, as maiores constantes de liberação de nutrientes foram observadas para o P (Tabela 3). Ao contrário do K, o P participa da composição de constituintes das células, como fosfolipídeos, ácidos nucleicos e estruturas do DNA e RNA, além de fazer parte da molécula de ATP, desempenhando importante papel na transferência e no controle de energia da célula (Jahnke, 1992). A liberação de P não está diretamente relacionada com excesso de chuva, mas com os teores totais de P inorgânico, da concentração de P solúvel em água e da atuação de microrganismos nas frações solúveis (Giacomini et al., 2003). Pelo gráfico de liberação de P (Figura 3), observou-se intensa liberação deste nutriente nos primeiros 15 dias, quando, em média, mais de 60% do P havia sido liberado. Esse resultado

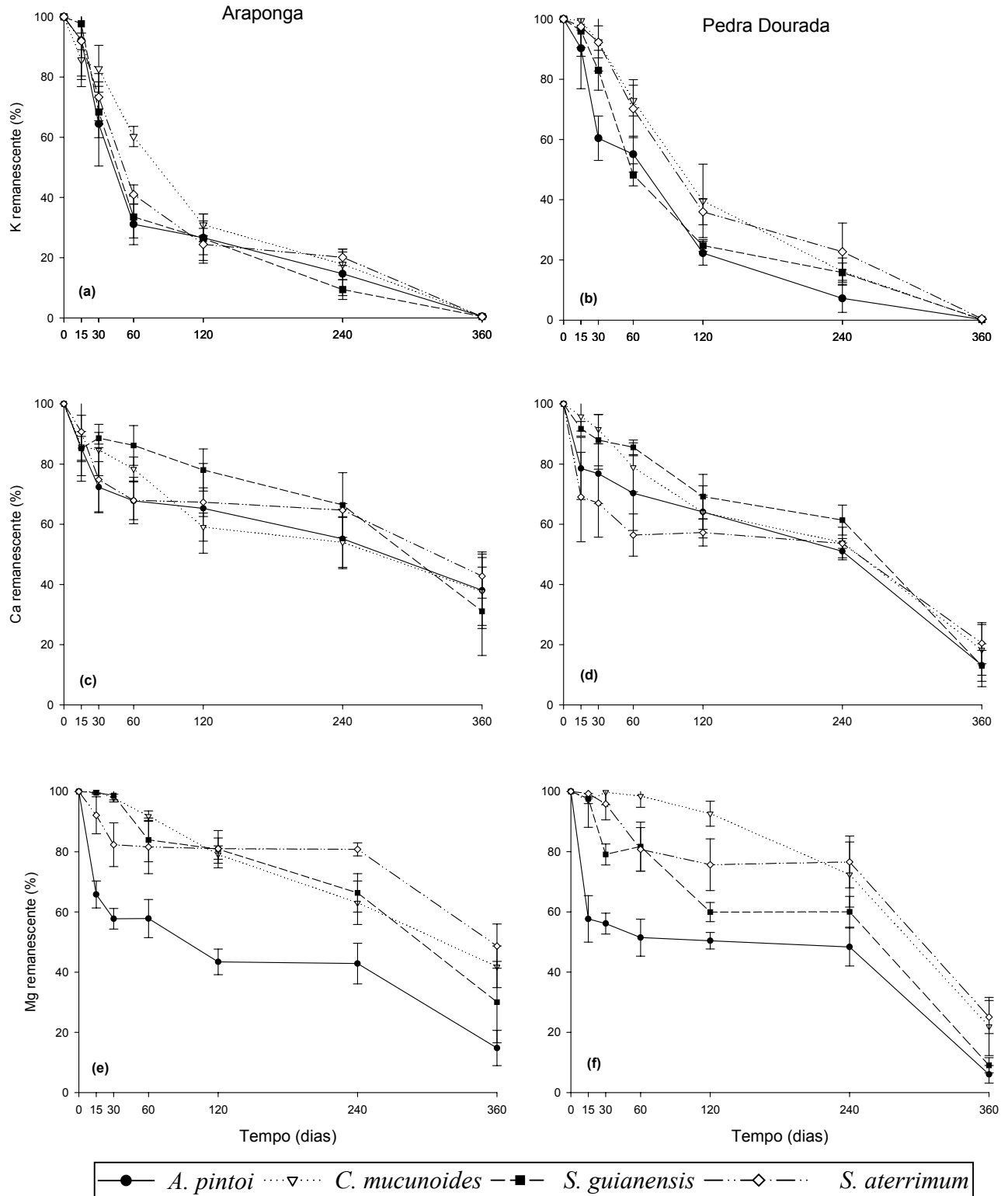


Figura 4 – Porcentagem de K (a, b), Ca (c, d) e Mg (e, f) remanescentes ao longo de 360 dias nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada, respectivamente. Barras verticais representam o erro-padrão em relação a média (n=4).

pode estar relacionado com a liberação das formas inorgânicas de P solúveis, que podem ser rapidamente consumidas pela microbiota (Oliveira et al., 2003). Giacomini et al. (2003) observaram que 64% do P de *Vicia sativa* foi liberado aos 30 dias após o corte, correlacionando essa maior liberação com os teores de P solúvel em água encontrados no material vegetal. Já para *Gliricidia sepium*, 79% do P foi liberado após 70 dias de decomposição, restando somente 11%, que foi relacionado com frações recalcitrantes (Zaharah & Bah, 1999). A liberação de P pode ser influenciada por condições favoráveis para atividade de microrganismos solubilizadores de P (Oliveira et al., 2003). Estes mesmos autores encontraram $t_{1/2}$ de 16,1 dias para *A. pintoi*; neste caso, a eficiência de liberação de P coincidiu com a de N.

A partir dos 30 dias, a taxa de liberação de P reduziu, provavelmente, devido ao esgotamento das frações inorgânicas e frações orgânicas lábeis, restando, em maior parte, frações orgânicas não lábeis, como os fosfatos de inositol (Mueller-Harvey & Wild, 1986).

A liberação de N variou entre as propriedades, com *A. pintoi* apresentando os maiores valores de $t_{1/2}$, correspondendo a 72,1 dias para Pedra Dourada e 144,8 dias para Araponga (Tabela 3). Da mesma forma que a perda de MS, os valores da constante “k” de liberação de N foram 50,2% menores para a propriedade de Araponga, evidenciando a influência das condições edafoclimáticas na decomposição e liberação de nutrientes. Em média, 32% do total de N presente no material vegetal foi liberado nos primeiros 15 dias. Até os 360 dias, foram liberados 77,5% do N em Araponga e 88,5% em Pedra Dourada, indicando que grande parte do N acumulado no tecido vegetal é liberada nos primeiros dias, restando as formas de N mais recalcitrantes. Todo esse processo acarretará a redução da atividade microbiana após os 15 dias iniciais de decomposição. O alto conteúdo inicial de nutrientes no material vegetal pode ser responsável por altas taxas de decomposição (Gupta & Singh, 1981) e liberação de nutrientes para o sistema, por favorecer o crescimento e a atividade microbiana; já o incremento dos teores de polissacarídeos, como celulose e lignina, em função do processo de decomposição, pode reduzir o efeito do teor de nutrientes em razão da proteção física contra o ataque microbiano (Cobo et al., 2002). O conteúdo de polifenóis e, principalmente, o aumento da capacidade de estes complexarem proteínas nos tecidos das plantas podem reduzir a decomposição e liberação de nutrientes (Northup, 1995). Contudo, a resistência do complexo à decomposição depende da

qualidade dos polifenóis e não necessariamente do seu conteúdo total. Northup (1995) demonstraram que altos níveis de polifenóis podem não só inibir a mineralização de N, como também podem correlacionar-se positivamente com a liberação de N orgânico dissolvido (NOD). Eles sugerem que a planta sob forte limitação de N pode se beneficiar do aumento da relação NOD/Nmin. O efeito positivo de aumento desta relação inclui a redução da perda de N do ecossistema por denitrificação e lixiviação de NO_3^- . Adicionalmente, existe a hipótese de que a alta produção de polifenóis por plantas cultivadas em solos com baixa fertilidade natural pode representar uma forma de adaptação, por dar vantagem competitiva para a planta absorver o N na forma orgânica (Hättenschwiler & Vitousek, 2000).

As menores constantes de liberação de nutrientes foram observadas para Ca ($0,0017 \text{ d}^{-1}$) e Mg ($0,0013 \text{ d}^{-1}$) no resíduo de *S. aterrimum* em Araponga; conseqüentemente os valores de $t_{1/2}$ foram os menores, correspondendo a 421,1 e 521,1 dias, respectivamente. A liberação de Ca tem sido correlacionada com os teores dos constituintes da parede celular e o conteúdo inicial de Mg no tecido vegetal (Cobo et al., 2002), porém, esse efeito não foi observado para as leguminosas estudadas, em ambas as propriedades.

A decomposição e liberação de nutrientes estão relacionadas com a composição química e bioquímica dos resíduos vegetais; contudo, quando se avaliam sistemas em ambiente tropical a nível de campo, parece que são as características edafoclimáticas que controlam as variações nas taxas de decomposição dos resíduos de constituição semelhante. Os efeitos dos constituintes certamente serão mais expressivos em materiais mais heterogêneos ou quando as variações do meio são equivalentes ou menos intensas. Thönnissen et al. (2000) observaram que os efeitos dos componentes químicos e bioquímicos sobre a taxa de decomposição de adubos verdes variam drasticamente em função do local e da estação do ano, já que todos eles afetam diretamente a atividade dos microrganismos decompositores.

3.3. Estimativa dos totais de nutrientes liberados para os cafezais

As estimativas dos totais de nutrientes liberados pela parte aérea dos adubos verdes após 360 dias de decomposição são apresentadas na tabela 4. *S. aterrimum* contribuiu para a ciclagem das maiores quantidades de N, P e K na propriedade de Araponga após 360 dias

de decomposição, liberando, em média, 93,0, 7,8 e 63,6 kg ha⁻¹, respectivamente. Já em Pedra Dourada houve destaque para *S. guianensis*, que, após 360 dias, ciclou 86,2 kg ha⁻¹ de N, 7,1 kg ha⁻¹ de P e 50,4 kg ha⁻¹ de K. Essas quantidades correspondem, em média, a 45, 70 e 35% das necessidades de um cafezal com produtividade esperada em torno de 30 sacas ha⁻¹ (Guimarães et al., 1999).

Após 20 semanas de decomposição, Cobo et al. (2002) constataram que as folhas de *Mucuna deeringianum* (mucuna-anã) liberaram 144,5 kg ha⁻¹ de N e 11,4 kg ha⁻¹ de P, superando outros 11 adubos verdes, entre estes *Tithonia diversifolia*, que liberou as maiores quantidades de K (129,3 kg ha⁻¹), Ca (112,6 kg ha⁻¹) e Mg (25,9 kg ha⁻¹). Já as quantidades de nutrientes adicionadas ao solo por *S. aterrimum* em trabalho desenvolvido por Silva et al. (2002) corresponderam a 85,6 kg ha⁻¹ de N, 8,2 kg ha⁻¹ de P e 60,5 kg ha⁻¹ de K, valores estes muito próximos aos encontrados neste trabalho para a propriedade de Araponga.

Considerando que as quantidades de nutrientes liberados por *A. pintoi*, *C. mucunoides*, *S. guianensis* e *S. aterrimum* correspondem apenas ao conteúdo presente na parte aérea, é de se esperar que a contribuição dos adubos verdes para a incorporação anual de N, P, K, Ca e Mg seja ainda maior do que a estimada pela tabela 4, já que as raízes têm importante contribuição na incorporação de nutrientes no solo.

Tabela 4 – Estimativa do total de nutrientes liberados pela parte aérea de adubos verdes após 360 dias de decomposição

Adubo verde	N	P	K	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹				
Araponga					
<i>A. pintoi</i>	19,9	2,0	21,4	6,3	3,4
<i>C. mucunoides</i>	53,9	4,1	49,8	12,0	2,9
<i>S. guianensis</i>	34,5	3,2	35,6	11,9	2,2
<i>S. aterrimum</i>	93,0	7,8	63,6	17,6	3,6
Pedra Dourada					
<i>A. pintoi</i>	24,3	2,4	21,0	8,6	4,4
<i>C. mucunoides</i>	57,3	5,0	35,2	12,1	2,7
<i>S. guianensis</i>	86,2	7,1	50,4	29,2	6,6
<i>S. aterrimum</i>	50,4	4,6	34,1	11,8	2,8

Tão importante quanto as quantidades totais é a velocidade com que a maior parte dos nutrientes é liberada para o sistema. Isso porque deve haver sincronismo entre as taxas de liberação e a demanda de nutrientes pela cultura de interesse (Palm & Sanchez, 1991; Zaharah & Bah, 1999; Mafongoya et al., 2000; Cobo et al., 2002). Regular esse sincronismo não é simples, já que as taxas de liberação de cada nutriente são diferentes e o processo de decomposição, principalmente ao nível de campo, é muito dependente das condições microclimáticas locais. Entretanto, é possível desenvolver estratégias de manejo utilizando plantas mais adaptadas a cada região, com potencial de produção de MS e capacidade de acúmulo de nutrientes distintos. A partir desse ponto, o conhecimento das taxas de liberação dos nutrientes torna-se imprescindível para se fazer o planejamento da introdução dos adubos verdes, considerando as necessidades da cultura de interesse e a disponibilização dos nutrientes mais críticos.

4. CONCLUSÕES

- As taxas de decomposição e, com exceção do K, as taxas de liberação de nutrientes dos adubos verdes *Arachis pintoii*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum* e *Stylozanthos guyanensis* aumentaram com a redução da altitude, com maiores temperaturas máximas e mínimas anuais e menor incidência de luz solar diária.
- Ao contrário das características edafoclimáticas, as diferenças na composição química e nos teores totais de lignina, polifenóis, celulose e hemicelulose dos adubos verdes não se correlacionaram com as variações das taxas de decomposição e liberação de nutrientes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.D. & INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford, UK CAB International, 1996. 171p.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e planta. *Revista Ceres*, 21:73-85,1994.
- CABRERA, M.L.; KISSEL, D.E. & VIGIL, M.F. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *Journal Environment Quality*, 34:75-79, 2005.
- COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L. & THOMAS, R.J. Decomposition and nutrient release by green manure in a tropical hillside agroecosystem. *Plant and Soil*, 240:331-342, 2002.
- DINESH, R.; SURYANARAYANA, M.A.; GHOSHAL CHAUDHURI, S. & SHEEJA, T.E. Long-term influence of leguminous cover crops on the biochemical properties of a sandy clay loam Fluventic Sulfaquent in a humid tropical region of India. *Soil and Tillage Research*, 77:69-77, 2004.
- FONTES, P.C.R. Sugestões de adubação para hortaliças. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação. Viçosa : CFSEMG, 1999. p.171-208.
- FOX, R.H.; MYERS, R.J.K. & VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume in soil as influenced by their polyphenol, lignin and nitrogen contents. *Plant and Soil*, 129:251-259, 1990.
- FUNARBE. SAEG-Sistema para análises estatísticas v. 5.0. Viçosa-MG, 1993.
- GIACOMINI, S.J.; AITA, C.; HÜBNER, A.P.; LUNKES, A.; GUIDINI, E. & AMARAL, E. B. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:1097-1104, 2003.

- GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A. E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B.; LOPES, A.S.; NOGUEIRA; F. D.; MONTEIRO, A.V.C.; OLIVEIRA, J.A. Sugestões de adubação para grandes culturas anuais ou perenes: Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5. Aproximação. Viçosa : CFSEMG, 1999. p.277-341.
- GUPTA, S.R. & SINGH, J.S. The effect of plant species, weather variables and chemical composition of plant material on decomposition in tropical grassland. *Plant and Soil*, 59:99-117, 1981.
- HADAS, A.; KAUTSKY, L.; GOEK, M. & KARA, E.E. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biology and Biochemistry*, 36:255-266, 2004.
- HANDAYANTO, E.; CADISCH, G. & GILLER, K. E. Manipulation of quality and mineralization of tropical legume tree prunings by varying nitrogen supply. *Plant and Soil*, 176:149-160, 1995.
- HÄTTENSCHWILER, S. & VITOUSEK, P.M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *TREE*, 15:238-243, 2000.
- JAHNKE, R. A. The Phosphorus Cycle,. In: BUTCHER, S.S.; CHARLSON, R.J.; ORIAN, G.H. & WOLFE, G.V. eds. *Global Biogeochemical Cycles*. San Diego, Academic Press, 1992. p. 301-315.
- LUPWAYI, N.Z.; CLAYTON, G.W.; DONOVAN, J.T.; HARKER, K.N.; TURKINGTON, T.K. & RICE, W.A. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Canadian Journal of Soil Science*, 84:403-410, 2004.
- LUPWAYI, N.Z. & HAQUE, I. *Leucaena* hedgerow intercropping and cattle manure application in the Ethiopian highlands: I. Decomposition and nutrient release. *Biology and Fertility Soils*, 28:182-195, 1999.
- MAFONGOYA, P.L.; BARAK, P. & REED, J.D. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. *Biology and Fertility Soils*, 30:298-305, 2000.

- MENDONÇA, E.S. & STOTT, D.E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. *Agroforestry Systems*, 57:117-125, 2003.
- MONTEIRO, H.C.F; CANTARUTTI, R.B.; NASCIMENTO JR, D.; REGAZZI, A.J. & FONSECA, D. 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.
- MUELLER-HARVEY, I. & WILD, A. The nature and stability of organic phosphates in leaf litter and soil organic matter in Nigeria. *Soil Biology and Biochemistry*, 18:643-647, 1986.
- NORTHUP, R.R. Polyphenol control of nitrogen release from pine litter. *Nature*, 377:227-229, 1995.
- OLIVEIRA, A.O.; MUZZI, M.R.S.; PURCINO, H.A.; MARRIEL, I.E. & SÁ, N.M.H. Decomposition of *Arachis pintoii* and *Hyparrhenia rufa* litters in monoculture and intercropped systems under lowland soil. *Pesq. agropec. bras.*, 38:1089-1095, 2003.
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenol contents. *Soil Biology and Biochemistry*, 23:83-88, 1991.
- ROBERTSON, F.A. & MORGAN, W.C. Effects of management history and legume green manure on soil microorganisms under organic vegetable production. *Australian Journal of Soil Research*, 34:427-440, 1996.
- SÁ, N.M.H. & VARGAS, M.A.T. Fixação biológica de nitrogênio por leguminosas forrageiras. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M., ed. *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p.127-152.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. *Análises químicas em plantas*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 56p. 1974. (Boletim técnico)

- SILVA, J.A.A.; VITTI, G.C.; STUCHI, E.S. & SEMPIONATO, O.R. Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-‘pêra’. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24:225-230, 2002.
- THOMAS, R.J. & ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biology and Biochemistry*, 25:1351-1361, 1993.
- THÖNNISSEN, C.; MIDMORE, D.J.; LADHA, J.K.; OLK, D.C. & SCHMIDHALTER, U. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agronomy Journal*, 92:253-260, 2000.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. & LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*, 74:3583-3597.
- ZAHARAH, A.R. & BAH, A.R. Patterns of decomposition and nutrient release by fresh *Gliciridia* (*Gliciridia sepium*) leaves in an ultisol. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 55:269-277, 1999.

CAPÍTULO 3

MINERALIZAÇÃO DE CARBONO E NITROGÊNIO POR LEGUMINOSAS HERBÁCEAS PROVENIENTES DE DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

RESUMO

Objetivou-se avaliar a mineralização de C e N de adubos verdes provenientes de duas condições edafoclimáticas, quando adicionados ao solo em condições de temperatura e umidade controladas. Os adubos verdes (*Arachis pintoii*, *Calopogonium mucunoides*, *Stylozanthus guyanensis* e *Stizolobium aterrimum*) originaram-se de Araponga (950 m de altitude) e Pedra Dourada (690 m). *A. pintoii* obteve os maiores valores acumulados de C-CO₂ (484,1 mg), quando proveniente de Pedra Dourada e, juntamente com *S. guianensis* (445,5 mg), quando originado de Araponga. A partir da terceira até a última leitura, observou-se correlação positiva dos valores de C-CO₂ com a relação C/N. Nas leituras finais, os valores acumulados de C-CO₂ correlacionaram-se negativamente com os teores de lignina e com a relação lignina/polifenol (P<0,10). *C. mucunoides* apresentou os maiores valores de N mineralizado na primeira semana de incubação, 83,5 mg kg⁻¹ (Araponga) e 119,0 mg kg⁻¹ (Pedra Dourada), e totais de N mineralizados após 50 dias de incubação na propriedade de Pedra Dourada (242,3 mg kg⁻¹). Os totais de N mineralizados ao final da incubação, ao contrário do observado na primeira semana, não se correlacionaram com o conteúdo de polifenóis ou com a relação polifenol/N, mas apenas com os teores de celulose (P<0,05) e foram maiores para os resíduos provenientes de Pedra Dourada.

CARBON AND NITROGEN MINERALIZATION BY HERBACEUS LEGUMINOUS ORIGINATED FROM TWO EDAPHOCLIMATIC CONDITIONS

ABSTRACT

In order to evaluate the C and N mineralization by green manures originated from two edaphoclimatic conditions it was carried out an experiment under controlled temperature and humidity. The green manures (*Arachis pintoii*, *Calopogonium mucunoides*, *Stizolobium aterrimum*, e *Stylozanthos guianensis*) originated from Araponga (with altitude of 950 m) and Pedra Dourada (690 m). *A. pintoii* showed the highest accumulated C-CO₂ (484,1 mg) in the residue from Pedra Dourada farm and along with *S. guianensis* (445,5 mg) when originated from Araponga. From the third to the last C-CO₂ measurement the values were positively correlated with C/N ratio. In the final period of incubation, the accumulated C-CO₂ values were negatively correlated with lignin content and lignin/polyphenol ratios. *C. mucunoides* showed the highest N mineralized values in the first week of the incubation (83,5 mg kg⁻¹ in Araponga and 119,0 mg kg⁻¹ in Pedra Dourada) and total N accumulated values after 50 days in Pedra Dourada farm (242,3 mg kg⁻¹). Contrasting to the observed in the first week, total N mineralized values at the end of the incubation did not correlate with the polyphenol content or polyphenol/N ratio, but only with the cellulose content and they were higher for the residues from Pedra Dourada.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de leguminosas capazes de realizar simbioses com bactérias eficientes na fixação biológica de nitrogênio tem se tornado uma prática cada vez mais comum para a produção agrícola. Estas, além de promoverem a manutenção da qualidade da matéria orgânica do solo, funcionam como fonte de N para a cultura, reduzindo ou dispensando a adubação nitrogenada (Sá & Vargas, 1997). O potencial das leguminosas em produzir efeitos na manutenção da qualidade do solo e na ciclagem de nutrientes varia muito em função do tipo de solo, do sistema de manejo, da localização geográfica e da época de cultivo, já que esses fatores influenciam a qualidade dos adubos verdes, alterando a sua composição química e bioquímica (Tönnissen et al., 2000).

A mineralização dos resíduos vegetais é dependente da qualidade do resíduo, da temperatura, dos fatores intrínsecos do solo como mineralogia e acidez, da atividade biológica e da disponibilidade de outros nutrientes (Tönnissen et al., 2000). Quando não há influência dos fatores ambientais, os componentes químicos e bioquímicos são os principais controladores da taxa de decomposição (Trinsoutrot et al., 2000). Nos estágios iniciais, a mineralização de C é influenciada, principalmente, pelos teores de nutrientes no resíduo e pela disponibilidade de N e de compostos orgânicos facilmente decomponíveis (Wang et al., 2004). A longo prazo, o remanescente constituído em grande parte por compostos recalcitrantes, como lignina e celulose, que é incrementado em função do processo de decomposição, pode reduzir o efeito do teor de nutrientes devido à proteção física contra o ataque microbiano (Cobo et al., 2002), sendo esses compostos, nesta fase, os principais controladores da mineralização de C do resíduo vegetal (Tonissen et al., 2000).

A mineralização de N é altamente influenciada não só pela relação C/N (Cabrera et al., 2005), mas pelo conteúdo de polifenóis e pela relação polifenol/N, e esse efeito é maior nas primeiras semanas de incubação (Mafongoya et al., 1998; Trinsoutrot et al., 2000). Os polifenóis interferem na mineralização de N através da formação do complexo polifenol-proteína, que se origina logo após a senescência do tecido da planta, quando são liberados no vacúolo, entrando em contato com as proteínas citoplasmáticas ou, quando no solo, a complexação pode ocorrer com proteínas liberadas do litter e/ou com enzimas extracelulares produzidas por microrganismos (Hättenschwiler & Vitousek, 2000). A longo

prazo, a mineralização de N, semelhante à de C, é influenciada pelos teores dos componentes mais recalcitrantes, como celulose (Hadas et al., 2004) e lignina (Palm & Sanchez, 1991; Manfongoya et al., 1998), além da relação lignina/N (Palm & Sanchez, 1991).

Sabendo-se que em função das diferenças edafoclimáticas dos locais de cultivo podem ocorrer variações na composição química e bioquímica dos resíduos dos adubos verdes, refletindo em qualidade diferenciada do resíduo em função da maior capacidade adaptativa de cada espécie a determinado local, torna-se necessário estudar o processo de mineralização de C e N sob temperatura e umidade controladas, a fim de avaliar o efeito dos componentes químicos e bioquímicos e suas inter-relações no processo de decomposição das diferentes espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a mineralização de C e N de adubos verdes provenientes de duas condições edafoclimáticas da Zona da Mata de Minas Gerais, quando adicionados ao solo em condições de temperatura e umidade controladas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e Descrição dos Experimentos

Os adubos verdes foram obtidos em duas unidades experimentais instaladas em áreas de agricultores familiares e produzidos no período de dezembro/2003 a abril/2004 em parceria com a UFV/EPAMIG/CTA, nos municípios de Araponga e Pedra Dourada, ambos localizados na região da Zona da Mata de Minas Gerais. A propriedade localizada em Araponga está situada a 20° 38' de latitude sul e 42° 31' de longitude oeste, a uma altitude média de 950 m, temperatura média máxima e mínima anual de 25,4 e 13,7°C, respectivamente, e precipitação de 1320 mm, com a unidade experimental apresentando face oeste de exposição ao sol. Já a propriedade localizada no município de Pedra Dourada está situada a 20° 50' de latitude sul e 42° 08' de longitude oeste, com altitude média de 690 m, temperatura média máxima e mínima anual de 26,6 e 15,2°C, respectivamente, e precipitação de 1280 mm, com a unidade experimental apresentando face sul de exposição ao sol. O café, em espaçamento de 2,8-3,0 x 0,5-0,8 m, vem sendo cultivado na área em sistema orgânico desde o plantio das mudas e, na época de introdução dos experimentos, encontrava-se em fase de formação, no terceiro ano pós-plantio.

Os solos de ambas as áreas são classificados como Latossolo Vermelho-Amarelo e apresentam textura argilosa. Na época de instalação dos experimentos o solo de Araponga apresentava pH (H₂O) de 5,2; Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ de 0,60, 1,77 e 0,70 cmol_c dm⁻³, respectivamente; P e K disponíveis (Mehlich-1) de 1,8 e 74 mg dm⁻³; e teor de carbono orgânico de 28 g kg⁻¹ (Walkey-Black). Já Pedra Dourada apresentava pH (H₂O) de 5,0; Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ de 1,0, 0,48 e 0,14 cmol_c dm⁻³, respectivamente; P e K disponíveis (Mehlich-1) de 2,4 e 56 mg dm⁻³, respectivamente; e teor de carbono orgânico de 36 g kg⁻¹ (Walkey-Black). Anteriormente ao plantio das leguminosas, realizou-se a correção dos solos de acordo com as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo para o Estado de Minas Gerais (Fontes, 1999). A adubação e correção do solo foram realizadas aplicando-se 0,26 t ha⁻¹ de calcário, 64 kg ha⁻¹ de gesso, 125 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio e 800 kg ha⁻¹ de termofosfato, em Araponga; e 1,20 t ha⁻¹ de calcário, 300 kg ha⁻¹ de gesso, 125 kg ha⁻¹ de sulfato de potássio e 800 kg ha⁻¹ de termofosfato, em Pedra Dourada, sendo esses aplicados na entrelinha do cafeeiro e incorporados no momento do plantio. Todas as

leguminosas foram plantadas via sementes, obtidas comercialmente, distribuídas em sulcos e incorporadas a uma profundidade média de 1 cm. Não se realizou inoculação das sementes antes do plantio.

Os tratamentos constaram de combinações entre dois locais de cultivo de café (Araponga e Pedra Dourada) e quatro espécies de leguminosas utilizadas na adubação verde: *Arachis pintoi* (amendoim forrageiro) *Calopogonium mucunoides* (calopogônio), *Stylosanthes guianensis* (mineirão) e *Stizolobium aterrimum* (mucuna), cultivadas nas entrelinhas dos cafeeiros em parcelas de 2 x 2 m. Ao atingir o estágio de floração, aproximadamente 120 dias após o plantio, foram coletadas as partes aéreas das leguminosas, e uma amostra de cada material foi usada para determinação da umidade e posteriores análises químicas. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em arranjo fatorial 2 x 4 (dois locais e quatro espécies de leguminosas) com quatro repetições, perfazendo 32 unidades experimentais.

2.2. Estudo dos Materiais Vegetais

2.2.1. Caracterização química e bioquímica

Os adubos verdes, após serem secos em estufa, moídos e passados em peneira de 2 mm, foram caracterizados química e bioquimicamente, sendo os teores de C e N obtidos por combustão seca em analisador Perkin Elmer CHNS/O 2400. Após digestão nitro-perclórica (Sarruge & Haag, 1974), foi determinada a concentração elementar de P, de acordo com Braga & Defelipo (1994); K, por fotometria de chama; e Ca e Mg, por espectrofotometria de absorção atômica. Os polifenóis solúveis foram extraídos com metanol (50%) e determinados por colorimetria, utilizando-se o reagente de Folin-Denis (Anderson & Ingram, 1996). Os componentes da parede celular foram obtidos pelo método seqüencial (Van Soest et al., 1991), utilizando-se 2 mL de uma solução a 1% de amilase por amostra, na determinação de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). Os valores de hemicelulose no material analisado, em porcentagem da matéria seca, foram determinados por diferença, subtraindo da FDN a FDA. Os teores de celulose também foram obtidos por diferença, subtraindo da FDA a lignina. Os valores dos componentes químicos e bioquímicos dos adubos verdes provenientes de Araponga e Pedra Dourada estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Composição química e bioquímica dos adubos verdes provenientes das propriedades de Araponga e Pedra Dourada

Adubo verde	C	N	P	K	Ca	Mg	HM	CL	LG	PP	C/P	C/N	$\frac{LG}{N}$	$\frac{LG}{PP}$	$\frac{PP}{N}$	$\frac{(LG+PP)}{N}$
 %															
Araponga																
<i>A. pintoii</i>	40,8	2,57	0,24	2,30	1,12	0,45	12,3	27,8	8,4	1,82	170	15,9	3,3	4,6	0,71	4,0
<i>C. mucunoides</i>	42,1	3,09	0,24	2,24	0,82	0,22	12,4	28,2	7,8	1,19	175	13,6	2,5	6,6	0,38	2,9
<i>S. guianensis</i>	43,1	2,95	0,25	2,30	1,13	0,24	12,7	32,3	6,1	1,54	172	14,6	2,1	4,0	0,52	2,6
<i>S. aterrimum</i>	43,3	3,56	0,28	2,05	0,91	0,22	13,2	31,4	10,5	1,86	155	12,2	2,9	5,6	0,52	3,5
Pedra Dourada																
<i>A. pintoii</i>	42,7	2,72	0,27	2,26	1,09	0,50	12,1	31,2	7,8	1,68	158	15,7	2,9	4,6	0,62	3,5
<i>C. mucunoides</i>	44,1	3,52	0,30	2,1	0,83	0,20	16,6	26,7	9,0	1,30	147	12,5	2,6	6,9	0,37	2,9
<i>S. guianensis</i>	43,7	3,20	0,26	1,72	1,17	0,25	12,9	29,8	4,8	1,72	168	13,6	1,5	2,8	0,54	2,0
<i>S. aterrimum</i>	45,3	3,70	0,26	1,97	0,82	0,20	16,9	31,7	8,6	2,04	174	12,3	2,3	4,2	0,55	2,9

HM= hemicelulose; CL = celulose; LG = lignina; e PP = polifenóis totais solúveis.

2.3. Carbono e nitrogênio mineralizáveis

Para avaliação da mineralização dos resíduos, os materiais vegetais foram incubados em amostras de solo obtidas do horizonte B de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura muito argilosa, que apresentava características químicas conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Características químicas do solo utilizado para incubação dos adubos verdes

Análise química	Valores
pH em água (1:2,5)	4,2
Alumínio trocável (cmol _c /dm ³) ¹	1,37
Fósforo (mg/dm ³) ¹	0,50
Potássio (mg/dm ³) ¹	11,0
Cálcio (cmol _c /dm ³) ²	nd
Magnésio (cmol _c /dm ³) ²	0,03
Carbono orgânico (g/kg) ³	20,0
Análise granulométrica	
Areia (%)	30
Argila (%)	64

¹ - Mehlich-1; ² - Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³ : KCl 1 mol L⁻¹; ³ - C org. Walkley Black; e nd – não detectado.

O C mineralizável foi avaliado por ensaio de respirometria, medindo-se a evolução de C-CO₂, com respirômetro de fluxo contínuo descrito por Curl & Rodriguez-Kabana (1972). A massa de cada material vegetal, equivalente a 2 g de carbono, foi misturada a 100 cm³ do solo (Tabela 2) e acondicionada nas câmaras de incubação do respirômetro (potes herméticos de 377 mL) a 70% da capacidade de campo em ambiente com temperatura controlada (25 ± 1°C). O CO₂ resultante da atividade microbiana foi quantificado pela captura em solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹ e posterior titulação com solução de HCl 0,25 mol L⁻¹. Foram feitas oito medições de C-CO₂ evoluído, sendo as cinco primeiras a cada 48 horas, duas a cada 72 horas e a última com 96 horas, em um total de 480 horas.

As evoluções de C-CO₂, expressas em função do tempo (horas), foram ajustadas em equação logística, conforme o modelo estatístico:

$$Y_i = \frac{a}{1 + e^{-(b+ct_i)}} + \varepsilon_i$$

O parâmetro “a” caracteriza a saturação, enquanto “b” reflete o tempo transcorrido até se atingir a saturação na evolução de C-CO₂. O parâmetro de crescimento da função “c” indica a constante de evolução de C-CO₂, que se relaciona com a constante de mineralização. A magnitude dos parâmetros “a e b” reflete a degradabilidade do resíduo e a atividade microbiana. Por sua vez, t é o tempo e ε_i , o erro aleatório. O t_{1/2}, que reflete o tempo necessário para atingir metade da saturação de C-CO₂, foi calculado a partir da equação: t_{1/2} = -b/c.

Para avaliar a mineralização líquida de N, também se utilizou uma massa de cada material vegetal, equivalente a 2 g de carbono, que foi misturada a 100 cm³ do solo (Tabela 2) e acondicionados em potes plásticos de 500 mL (ambiente aeróbio) a 70% da capacidade de campo em ambiente com temperatura controlada (25 ± 1°C). Foram realizadas amostragens semanais de nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) e nítrico (N-NO₃⁻), extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e determinados colorimetricamente pelo método descrito por Kempers & Zweers (1986) e Yang et al. (1998), respectivamente, por um período de sete semanas. No início e no final do período de incubação, foram quantificados os teores de N total para estimar a perda de N por volatilização.

2.4. Análises Estatísticas

Os totais acumulados de C-CO₂ na última leitura e de N-NO₃⁻ + N-NH₄⁺ na primeira e após sete semanas de incubação foram submetidos a análise de variância, empregando-se os testes F e de Tukey a 5% de probabilidade. Para execução das análises, utilizou-se o programa estatístico SAEG 5.0 (FUNARBE, 1993).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Carbono mineralizável

As quantidades evoluídas de C-CO₂ pelos adubos verdes provenientes das propriedades de Araponga e Pedra Dourada são apresentadas na figura 1. *A. pinto* obteve os maiores valores acumulados de C-CO₂ (484,1 mg) quando proveniente de Pedra Dourada e, juntamente com *S. guianensis* (445,5 mg), quando originado de Araponga (Figura 1). Nas mesmas condições, ao final de 1200 horas, Monteiro et al. (2002) encontraram valores de C-CO₂ evoluído para *A. pinto* e *S. guianensis* da ordem de 1400 e 1000 mg, respectivamente; entretanto, houve superestimativa desses valores, já que os autores não consideraram os números de mols de NaOH que reagem com CO₂ no cálculo do C-CO₂ evoluído.

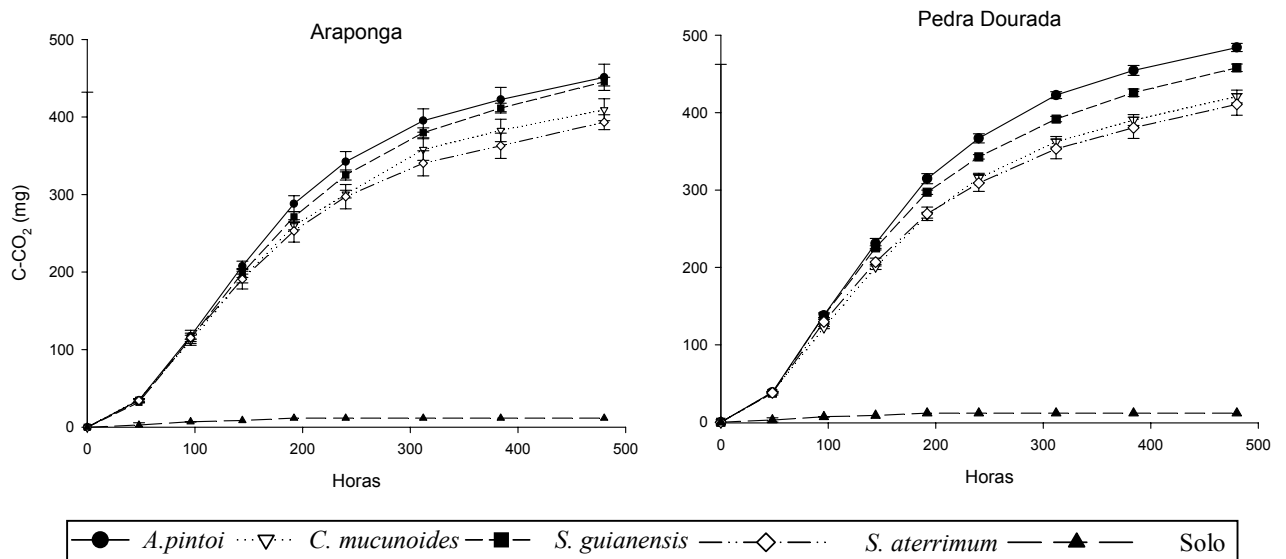


Figura 1 – Quantidades de C-CO₂ evoluídas por adubos verdes provenientes das propriedades de Araponga e Pedra Dourada. Barras verticais representam o erro-padrão em relação à média (n=4).

Nas quatro últimas medições de C-CO₂, dos resíduos de Araponga, foi possível separar os adubos verdes em dois grupos, um composto por *A. pinto* e *S. guianensis*, com emissões de C-CO₂ em torno de 12% maiores que a do outro grupo, composto por *C. mucunoides* e *S. aterrimum*. Em Pedra Dourada, observou-se a mesma tendência, porém *S. guianensis* apresentou valores de C-CO₂ intermediários aos de *A. pinto* e aos de *C.*

mucunoides e *S. aterrimum*. Nesta propriedade, *A. pintoii* apresentou valores, em média, 6, 15 e 18% maiores que *S. guianensis*, *C. mucunoides* e *S. aterrimum*, respectivamente.

Os coeficientes de correlação entre os valores de C-CO₂ acumulados e os componentes químicos e bioquímicos e suas inter-relações são apresentados na tabela 3. A partir da terceira, até a última leitura, os maiores valores de C-CO₂ correlacionaram-se com maiores valores da relação C/N (Tabela 3). De forma geral, a relação C/N pode controlar a decomposição de resíduos com baixos teores de N (Trinsoutrot et al., 2000). Entretanto, no caso dos resíduos vegetais avaliados, a relação C/N variou de 12,2 a 15,9; com isso, a disponibilidade de N passou a não ser mais um fator limitante para o aumento da atividade microbiana, fazendo com que os materiais com menores percentuais de N alcançassem os maiores valores de emissão de C-CO₂. De modo geral, valores menores que 30 para relação C/N favorecem a decomposição e não alteram a atividade microbiana. Por sua vez, altos teores de N no resíduo adicionado, da mesma forma que altas adições de N mineral, podem contribuir para o aumento da mineralização do C nos estágios iniciais, por acelerar a decomposição de carboidratos, mas podem reduzir a quantidade de C-CO₂ acumulado ao final do processo de incubação dos resíduos vegetais, por suprimir a decomposição de lignina nos estágios mais avançados (Wang et al., 2004). Os mecanismos de supressão da decomposição da lignina pelas altas concentrações de N incluem a inibição de enzimas ligninolíticas (Carreiro et al., 2000); formação de compostos aromáticos altamente recalcitrantes, por meio de reações entre aminoácidos e grupos fenólicos da lignina ou substâncias húmicas (Stvenson, 1994); formação de produtos tóxicos ou inibitórios à atividade microbiana, através da complexação de aminoácidos e/ou proteínas por polifenóis e outros metabólitos (Wang et al., 2004); e proteção química de compostos contendo N, pela interação com a fração mineral (Baldock & Skjemstad, 2000).

Nas duas últimas leituras, quando houve tendência de se estabilizar o processo de evolução de C-CO₂ dos resíduos, os valores acumulados dessa variável correlacionaram-se negativamente com os teores de lignina e com a relação lignina/polifenol (P<0,10). Mafongoya et al. (2000) observaram correlação negativa da evolução de C-CO₂ apenas com a relação lignina/N, porém, não fizeram referência às relações com os teores de lignina ou com lignina/polifenol.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação entre os totais de C-CO₂ acumulados e os teores de lignina (LG), polifenóis (PP) e relações C/P, C/N, LG/N LG/PP e PP/N

Tempo (horas)	C-CO ₂ acumulado						
	LG	PP	C/P	C/N	LG/N	LG/PP	PP/N
48	0,051	-0,023	-0,359	-0,180	-0,066	0,118	-0,149
96	-0,376	0,389	-0,153	0,119	-0,340	-0,567 ⁰	0,327
144	-0,506 ⁰	0,298	-0,044	0,489	-0,206	-0,622*	0,517 ⁰
192	-0,496	0,201	-0,014	0,711*	-0,034	-0,559 ⁰	0,604 ⁰
240	-0,480	0,165	-0,051	0,795**	0,041	-0,535 ⁰	0,641*
312	-0,519 ⁰	0,036	0,031	0,867**	0,057	-0,471	0,588 ⁰
384	-0,576 ⁰	0,035	0,040	0,838**	-0,022	-0,514 ⁰	0,563 ⁰
480	-0,602 ⁰	0,051	0,034	0,821**	-0,064	-0,549 ⁰	0,561 ⁰

⁰, *, ** Significativo a 10, 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Não se observou correlação entre os totais de C-CO₂ e a relação C/P (Tabela 3). Entretanto, Mendonça & Stott (2003), trabalhando com diferentes resíduos vegetais, observaram alta correlação da evolução de C-CO₂ com a relação C/P; contudo, para esses autores a disponibilidade de P era um fator limitante para a atividade microbiana, visto que o solo utilizado apresentava baixos teores de P disponível e os resíduos utilizados mostravam alta relação C/P, variando de 321 a 931. Neste trabalho, apesar do solo também apresentar baixos valores de P disponível (Tabela 2), os resíduos das leguminosas apresentaram relação C/P entre 148 e 170, valores estes que, certamente, foram suficientes para atender à demanda de P da microbiota, já que valores menores que 200 para a relação C/P não alteram a atividade microbiana.

Os parâmetros da equação logística de evolução de C-CO₂ são apresentados na tabela 4. O tempo de meia-vida ($t_{1/2}$), que reflete o tempo necessário para se atingir metade da saturação de C-CO₂, variou de 150 a 161,1 horas para os resíduos de Araponga e de 145,8 a 152,5 horas para os de Pedra Dourada. Em relação ao ponto de saturação de C-CO₂ (a), observou-se comportamento semelhante entre os adubos verdes em ambas as propriedades (Tabela 4), porém, os resíduos de Araponga obtiveram menores quantidades de C-CO₂ no ponto de saturação que os de Pedra Dourada ($P < 0,05$). Esse efeito pode ser reflexo das variações na composição química e bioquímica dos resíduos (Tabela 1), em função das diferenças edafoclimáticas dos locais de cultivo (Tonissen et al., 2000),

indicando tendência de qualidade diferenciada para o resíduo proveniente do local com face sul de exposição ao sol e com maiores temperaturas máximas e mínimas condicionadas pela menor altitude (690 m), possivelmente em razão da maior capacidade adaptativa das leguminosas utilizadas neste experimento às variações microclimáticas (Santos & Campelo Júnior, 2003) e/ou edáficas.

Tabela 4- Estimativa dos parâmetros (a, b e c) da equação logística de evolução de CO₂ e do tempo de meia-vida (t_{1/2}) para os adubos verdes em duas condições edafoclimáticas

Adubo verde	a (mg C-CO₂)	b	c (hora⁻¹)	R²	t_{1/2} (horas)
Araponga					
<i>A. pintoi</i>	431,9	-2,86	0,0184	0,996	155,5
<i>C. mucunoides</i>	392,8	-2,71	0,0173	0,995	156,2
<i>S. guianensis</i>	425,2	-2,77	0,0172	0,994	161,1
<i>S. aterrimum</i>	372,7	-2,68	0,0179	0,994	150,0
Pedra Dourada					
<i>A. pintoi</i>	462,4	-2,75	0,0182	0,994	151,7
<i>C. mucunoides</i>	400,7	-2,65	0,0174	0,994	152,5
<i>S. guianensis</i>	433,1	-2,66	0,0178	0,992	149,0
<i>S. aterrimum</i>	387,8	-2,59	0,0178	0,993	145,8
Solo	11,7	-2,60	0,0290	0,993	89,6

$$\text{Equação logística: } \hat{y} = \frac{\hat{a}}{1 + e^{-(\hat{b} + \hat{c}t)}}$$

3.2. Nitrogênio mineralizável

A mineralização e imobilização de N (NO₃⁻ + NH₄⁺) no período de sete semanas, para os resíduos provenientes de Araponga e Pedra Dourada, são apresentadas na tabela 5. Para todas as leguminosas, as maiores quantidades de N liberadas ocorreram na primeira e sétima semanas após a incubação. Nas semanas intermediárias, observou-se predomínio da imobilização (valores negativos de NH₄⁺ + NO₃⁻), que ocorreu até a quinta semana para os materiais provenientes da propriedade de Araponga (Tabela 5). Para os de Pedra Dourada, a imobilização predominou apenas na segunda e terceira semanas após a incubação. A imobilização nos estágios iniciais da decomposição, geralmente, ocorre em materiais com

alta relação C/N, porém, alguns trabalhos têm relatado imobilização de N nos estágios iniciais para materiais com baixa relação C/N (Trinsoutrot et al., 2000; Jensen, 1994), em virtude da complexação do N por polifenóis e subprodutos da degradação da lignina.

C. mucunoides apresentou as maiores quantidades de $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ liberados na primeira semana (83,5 mg kg^{-1} em Araponga e 119,0 mg kg^{-1} em Pedra Dourada). Entre as propriedades, os totais de $\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ liberados na primeira semana não diferiram entre si. Considerando o total mineralizado ao final do período de sete semanas de incubação, não se observou diferença entre os adubos verdes provenientes de Araponga. Para os de Pedra Dourada houve diferença entre os resíduos ($P < 0,05$), com *S. aterrimum* apresentando menor teor total de $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ mineralizado (136,9 mg kg^{-1}), comparado a *C. mucunoides* (242,3 mg kg^{-1}), porém ambos com teores semelhantes aos de *S. guianensis* e *A. pintoii* (Tabela 5). Ao final da sétima semana, os resíduos provenientes de Pedra Dourada mineralizaram cerca de 38,4% a mais de N que os resíduos de Araponga. Esse efeito, conforme discutido anteriormente em relação às evoluções de C-CO₂, pode ser reflexo da qualidade diferenciada do resíduo de Pedra Dourada. Isso porque, em função de condições climáticas e de solo distintas, pode haver diferentes respostas das leguminosas quanto a adaptação, produção de biomassa, capacidade de fixação de N e imobilização de nutrientes, alterando, conseqüentemente, a velocidade de decomposição e de liberação de nutrientes.

O N liberado na primeira semana de incubação correlacionou-se negativamente ($P < 0,01$) com os teores de polifenóis solúveis e com a relação polifenol/N, concordando com os dados normalmente encontrados na literatura, em que, geralmente, se observa alta correlação negativa da mineralização de N com os teores de polifenóis e relação polifenol/N, não havendo correlação com os teores de lignina (Palm & Sanchez 1991; Mafongoya et al., 2000; Cobo et al., 2002). A curto prazo, os polifenóis têm maior interferência nos processos de decomposição e mineralização de N, por inibirem reações enzimáticas decorrentes da complexação desses polifenóis com as proteínas (Monteiro et al., 2002).

Tabela 5 – Mineralização e imobilização de nitrogênio ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$), no período de sete semanas, para os resíduos de adubos verdes provenientes de Araponga e Pedra Dourada

Adubo verde	Semanas							Total de N Mineralizado
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	
$\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ (mg kg^{-1})								
Araponga								
<i>A. pintoi</i>	40,8b	-57,2	-35,0	-5,4	-1,1	44,4	51,5	137,4a
<i>C. mucunoides</i>	83,5a	-16,1	-7,3	-7,2	-33,1	15,8	59,8	161,9a
<i>S. guianensis</i>	72,8ab	-68,7	-44,5	-8,3	-1,4	6,6	60,0	111,6a
<i>S. aterrimum</i>	66,8ab	-66,8	-36,3	-3,4	3,7	3,5	46,5	113,5a
Pedra Dourada								
<i>A. pintoi</i>	54,0b	-99,8	-26,7	8,2	20,1	39,2	68,3	169,9ab
<i>C. mucunoides</i>	119,0a	-36,8	-27,9	16,6	-29,3	52,9	77,9	242,3a
<i>S. guianensis</i>	57,8b	-99,9	-29,1	11,0	12,0	23,7	103,2	176,4ab
<i>S. aterrimum</i>	46,8b	-67,2	-28,5	9,1	-1,3	27,6	63,1	136,9b
Solo	9,3	-3,7	-7,4	2,2	1,8	10,3	16,5	46,9

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para a primeira semana e total de N mineralizado, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os totais de N mineralizados ao final da incubação, ao contrário do observado para a primeira semana, não se correlacionaram com o conteúdo de polifenóis ou com a relação polifenol/N. Embora *A. pintoi*, tenha apresentado os maiores teores de polifenóis (Tabela 1), estes não se correlacionaram com os totais de $\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$ mineralizados ao final do período de incubação (Tabela 5). De forma geral, o conteúdo de polifenóis tem maior influência na mineralização de N somente nas primeiras semanas (Mafongoya et al., 1998; Trinsoutrot et al., 2000). Os totais de N- $\text{NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$ mineralizados correlacionaram-se negativamente apenas com os teores de celulose ($P < 0,05$). A longo prazo, a mineralização é influenciada pelos teores dos componentes de mais difícil decomposição, como celulose (Hadas et al., 2004) e lignina (Palm & Sanchez, 1991; Manfongoya et al., 1998).

4. CONCLUSÕES

- Os maiores teores de N na matéria seca e a menor relação C/N não garantiram maior mineralização de C do resíduo de *S. aterrimum*, que, juntamente com o de *C. mucunoides*, foram inferiores aos de *A. pintoii* e *S. guianensis*.
- Sob temperatura e umidade controladas, a mineralização de C é influenciada pelos teores de lignina e pelas relações lignina/polifenol e C/N; e a mineralização de N, pelos polifenóis solúveis e relação polifenol/N a curto prazo e pelos teores de celulose a longo prazo.
- Em função de condições climáticas e de solo distintas, pode haver diferentes respostas das leguminosas quanto a adaptação, imobilização de nutrientes e composição bioquímica, alterando, conseqüentemente, a atividade microbiana e a mineralização de C e N do resíduo vegetal.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, J.D. & INGRAM, J.S.I. Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods. 2.ed. Wallingford, UK CAB International, 1996. 171p.
- BALDOCK, J.A. & SKJEMSTAD, J.O. Role of soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochemistry*, 31:697-710, 2000.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e planta. *Revista Ceres*, 21:73-85, 1994.
- CABRERA, M.L.; KISSEL, D.E. & VIGIL, M.F. Nitrogen mineralization from organic residues: research opportunities. *Journal Environment Quality*., 34:75-79, 2005.
- CARREIRO, M.M.; SINSABAUGH, R.L.; REPERT, D.A. & PARKHURST, D.F. Microbial enzyme shifts explain litter decay response to simulated nitrogen deposition. *Ecology*, 81:2359-2365, 2000.
- COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L.; THOMAS, R.J. Nitrogen mineralization and crop uptake from surface-applied leaves of green manure on a tropical volcanic-ash soil. *Biology and Fertility Soils*, 36:87-92, 2002.
- CURL, E.A. & RODRIGUEZ-KABANA, R. Microbial interactions. In: WILKINSON, R.E. *Research methods in weed science*. Atlanta: Southern Weed Society, 1972. p.162-194.
- FONTES, P.C.R. Sugestões de adubação para hortaliças. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. 5. Aproximação. Viçosa : CFSEMG, 1999. p.171-208.
- FUNARBE. SAEG - Sistema para análises estatísticas v. 5.0. Viçosa-MG, 1993.
- HADAS, A.; KAUTSKY, L.; GOEK, M. & KARA, E.E. Rates of decomposition of plant residues and available nitrogen in soil, related to residue composition through simulation of carbon and nitrogen turnover. *Soil Biology & Biochemistry*, 36:255-266, 2004.

- HÄTTENSCHWILER, S. & VITOUSEK, P.M. The role of polyphenols in terrestrial ecosystem nutrient cycling. *TREE*, 15:238-243, 2000.
- JENSEN, E.S. Mineralization-immobilization of nitrogen in soil amended with low C/N ratio plant residues with different particle size. *Soil Biology and Biochemistry*, 26:519-521, 1994.
- KEMPERS, A.J., ZWEERS, A. Ammonium determination in soil extracts by the salicylate method. *Communication in Soil Science Plant Analysis*, 17:715-723, 1986.
- MAFONGOYA, P.L.; BARAK, P. & REED, J.D. Carbon, nitrogen and phosphorus mineralization of tree leaves and manure. *Biology and Fertility Soils*, 30:298-305, 2000.
- MAFONGOYA, P.L.; NAIR, P.K.R.; DZOWLA, B.H. Mineralization of nitrogen from decomposing leaves of multipurpose trees as affected by their chemical composition. *Biology and Fertility Soils*, 27:143-148, 1998.
- MENDONÇA, E.S. & STOTT, D.E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. *Agroforestry Systems*, 57:117-125, 2003.
- MONTEIRO, H.C.F.; CANTARUTTI, R.B.; NASCIMENTO JR, D.; REGAZZI, A.J.; FONSECA, D. M. Dinâmica de decomposição e mineralização de nitrogênio em função da qualidade de resíduos de gramíneas e leguminosas forrageiras. *Revista Brasileira Zootecnia*, 31:1092-1102, 2002.
- PALM, C.A. & SANCHEZ, P.A. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenol contents. *Soil Biology and Biochemistry*, 23:83-88, 1991.
- SÁ, N.M.H. & VARGAS, M.A.T. Fixação biológica de nitrogênio por leguminosas forrageiras. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M., ed. *Biologia dos Solos dos Cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. p.127-152.

- SANTOS, V.S. & CAMPELO JÚNIOR, J.H. Influência dos elementos meteorológicos na produção de adubos verdes, em diferentes épocas de semeadura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7:91-98, 2003.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 56p. 1974. (Boletim técnico)
- STEVENSON, F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. 2.ed. New York, John Wiley, 1994. 496 p.
- THÖNNISSEN, C.; MIDMORE, D.J.; LADHA, J.K.; OLK, D.C. & SCHMIDHALTER, U. Legume decomposition and nitrogen release when applied as green manures to tropical vegetable production systems. *Agronomy Journal*, 92:253-260, 2000.
- TRINSOUTROT, I.; RECOUS, S.; BENTZ, B.; LINÈRES, M.; CHÈNEBY, D. & NICOLARDOT, B. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting nitrogen conditions. *Soil Science Society of America Journal*, 64:918-926, 2000.
- VAN SOEST, P.J., ROBERTSON, J.B., LEWIS, B.A. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*, 74:3583-3597
- WANG, W.J.; BALDOCK, J.A.; DALAL, R.C. & MOODY, P.W. Decomposition dynamics of plant materials in relation to nitrogen availability and biochemistry determined by NMR and wet-chemical analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 36:2045-2058, 2004.
- YANG, J. E., SKOGLEY, E.O., SCHAFF, B.E., KIM, J.J. A simple spectrometric determination of nitrate in water, resin, and soil extracts. *Soil Science Society of America Journal*, 62:1108-1115, 1998.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sob condições edafoclimáticas distintas, algumas espécies de adubos verdes, como *S. guianensis* e *S. aterrimum*, possuem capacidade adaptativa diferenciada, que é refletida na sua produção de matéria seca e, conseqüentemente, na quantidade de nutrientes acumulados na biomassa da parte aérea. Entretanto, as diferenças edafoclimáticas entre Araponga e Pedra Dourada não foram suficientes para alterar a produção de MS de *A. pintoï* e *C. mucunoides*, mostrando o comportamento distinto das espécies de adubos verdes quando submetidas a condições ambientais adversas. Como não foram observados teores diferenciados de nutrientes na parte aérea dos adubos verdes, as maiores quantidades de nutrientes acumuladas ocorreram devido a maior capacidade de produção de MS.

Tão importante quanto as quantidades totais de nutrientes acumulados na parte aérea é a velocidade com que estes são liberados para o sistema, já que deve haver sincronismo entre as taxas de liberação e a demanda de nutrientes pela cultura de interesse. Regular esse sincronismo não é simples, já que as taxas de liberação de cada nutriente são diferentes e o processo de decomposição, em campo, são muito mais dependentes das condições microclimáticas locais do que da composição química e bioquímica das diferentes espécies de adubos verdes. Assim, é preciso desenvolver estratégias de manejo utilizando plantas mais adaptadas a cada região, com potencial de produção de MS e capacidade de acúmulo de nutrientes distintos. A partir desse ponto, o conhecimento das taxas de liberação dos nutrientes torna-se imprescindível para se fazer o planejamento da introdução dos adubos verdes, considerando as necessidades da cultura de interesse e a disponibilização dos nutrientes mais críticos.

Sob temperatura e umidade controladas, as composições química e bioquímica do resíduo vegetal passam a exercer papel importante nas taxas de mineralização de C e N. Dependendo do estágio de decomposição, um ou mais componentes químicos e bioquímicos e suas inter-relações exercerão maior ou menor influência no processo de mineralização dos resíduos vegetais. Para avaliar esse efeito, deve-se considerar que, sob condições edafoclimáticas distintas de produção, podem ocorrer alterações na composição química e bioquímica dos adubos verdes, refletindo em qualidade diferenciada do resíduo em função da maior adaptação das espécies a determinado local de cultivo.

APÊNDICE

Tabela 1A - Análise de variância da produção de matéria seca e dos teores de nutrientes (C, N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu) na parte aérea de adubos verdes, nas propriedades de Araçá e Pedra Dourada

FV	MS		C		N		P	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos	3	0,6988	3	3,6688	3	0,3174	3	0,00067
Espécie	3	3,5713**	3	8,8551*	3	1,3705**	3	0,00123*
Local	1	0,1655	1	20,7851**	1	0,4704*	1	0,00513**
Espécie x local	3	2,7166**	3	0,8924	3	0,0359	3	0,00119*
Resíduo	21	0,3276	21	2,2855	21	0,0928	21	0,00029
CV (%)		30,0		3,5		9,6		6,5

FV	K		Ca		Mg	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos	3	0,0950	3	0,00696	3	0,00036
Espécie	3	0,1338	3	0,2182**	3	0,1291**
Local	1	0,3581*	1	0,00233	1	0,00036
Espécie x local	3	0,1214	3	0,00691	3	0,0219*
Resíduo	21	0,0651	21	0,02018	21	0,00052
CV (%)		12,0		14,4		7,98

FV	Fe		Zn		Cu		Mn	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos	3	185,81	3	1,7148	3	5,5734	3	1331,6
Espécie	3	113583**	3	127,54**	3	2,8735	3	16350,0**
Local	1	213188**	1	256,35**	1	2,8340	1	193151**
Espécie x local	3	25748**	3	37,60**	3	0,6471	3	10235,1**
Resíduo	21	1325,2	21	5,031	21	2,7345	21	769,7**
CV (%)		21,0		8,1		7,34		22,4

* e **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 2A - Análise de variância das quantidades totais de nutrientes (C, N, P, K, Ca e Mg) na parte aérea de adubos verdes, nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada

FV	C		N		P	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos	3	407672	3	1269,3	3	5,369
Espécie	3	145620**	3	5659,5**	3	28,227**
Local	1	722293	1	39,1	1	0,00029
Espécie x local	3	10133,2**	3	3259,1**	3	18,225**
Resíduo	21	60909,5	21	460,6	21	2,150
CV (%)		29,9		34,3		29,2

FV	K		Ca		Mg	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos	3	348,95	3	78,40	3	5,080
Espécie	3	1186,76**	3	356,96**	3	3,030
Local	1	448,11	1	3,79	1	0,269
Espécie x local	3	722,47**	3	336,21**	3	17,448**
Resíduo	21	113,39	21	46,40	21	2,225
CV (%)		27,3		36,4		30,6

* e **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 3A - Análise de variância dos totais de matéria seca e nutrientes (C, N, P, K, Ca e Mg) da parte aérea de adubos verdes liberados em diferentes tempos de incubação, em campo, nas propriedades de Araponga e Pedra Dourada

FV	MS		C		N		P	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos	3	12,069	3	2,913	3	0,0170	3	0,000004
Espécie	3	89,632**	3	10,361**	3	0,0660	3	0,000196
Local	1	66,620**	1	0,0546	1	0,0013	1	0,000229
Tempo	6	827,415**	6	200,453**	6	1,1014	6	0,008607
Espécie x local	3	25,151**	3	2,990**	3	0,1929	3	0,000034
Espécie x tempo	18	5,159*	18	1,187*	18	0,0037	18	0,000012
Local x tempo	6	31,820**	6	3,682**	6	0,0167	6	0,000123
Esp x local x tempo	18	3,251	18	0,938	18	0,0041	18	0,000020
Resíduo	165	2,9545	165	0,6068	165	0,0040	165	0,000011
CV (%)		13,7		15,7		19,6		16,9

FV	K		Ca		Mg	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos	3	0,004223	3	0,002613	3	0,0001056
Espécie	3	0,047014**	3	0,018121**	3	0,0061556**
Local	1	0,027573*	1	0,001365	1	0,0000653
Tempo	6	1,0524**	6	0,074247**	6	0,0069847**
Espécie x local	3	0,000614	3	0,007632**	3	0,000288**
Espécie x tempo	18	0,011456**	18	0,002066	18	0,000747**
Local x tempo	6	0,010947*	6	0,002213	6	0,000276**
Esp x local x tempo	18	0,002451	18	0,000502	18	0,000064
Resíduo	165	0,004211	165	0,001418	165	0,0000738
CV (%)		27,2		25,9		20,5

* e **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.

Tabela 4A - Análise de variância dos totais de C-CO₂ acumulados e dos teores de NO₃⁻ + NH₄⁺ na primeira semana e total acumulado ao final do período de incubação de resíduos de adubos verdes provenientes das propriedades de Araponga e Pedra Dourada

FV	C-CO ₂ (acumulado)		NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ (1 ^o semana)		NO ₃ ⁻ + NH ₄ ⁺ (mineralizado)	
	GL	QM	GL	QM	GL	QM
Blocos	3	586,8998	3	941,9	3	1588,0
Espécie	3	7575,034**	3	4429,9**	3	8587,3**
Local	1	2725,413*	1	92,3	1	20200,9**
Espécie x local	3	198,0987	3	1346,5*	3	1436,7
Resíduo	21	563,6772	21	379,9	21	1394,1
CV (%)		5,5		28,8		23,9

* e **: Significativo a 5 e 1%, respectivamente, pelo teste F.