

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E
RECURSOS HÍDRICOS

**ARBORIZAÇÃO COMO COMPONENTE
DA LAVOURA CAFEEIRA: Qualidade do
solo e sustentabilidade ambiental**

Heloísa Misae Tavares de Oliveira

Itajubá, Maio de 2011

**EFEITOS DA APLICAÇÃO DE FITOMASSA DE LEGUMINOSAS
ARBÓREAS NA QUALIDADE DO SOLO E PRODUTIVIDADE DA
LAVOURA CAFEIEIRA.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente
e Recursos Hídricos como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do título de Mestre
em Meio Ambiente e Recursos Hídricos

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA
EM ITAJUBÁ, ___ de _____ de 2011

Profa. Maria Inês Nogueira Alvarenga, Dra
Coordenadora do Curso

Profa. Dra. Maria Inês Nogueira Alvarenga – IRN/UNIFEI (Orientadora)

Prof. Dr. Rogério Melloni – IRN/UNIFEI (Co-Orientador)

Dr. Rodrigo Luz da Cunha – Epamig/ Lavras

Profa. Dra Eliane Guimarães Pereira Melloni – IRN/UNIFEI

DEDICATÓRIA

À minha família e amigos, que me incentivaram a lutar pelos meus sonhos.

Aos alunos da engenharia ambiental e hídrica, turma de 2008 e 2009, pela atenção e interesse demonstrados durante as aulas do estágio docência.

Aos professores que ao longo da minha formação demonstraram paixão pela profissão e me mostraram a importância da figura do professor e do pesquisador no crescimento e desenvolvimento das pessoas e do país.

AGRADECIMENTO

A equipe da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) pela seriedade e dedicação na condução do experimento: - Rodrigo Luz da Cunha - DSc em Agronomia e - Egmar Pereira Xavier - Técnico em Ciências Florestais

A CAPES, pelos recursos despendidos.

Ao corpo docente e colaboradores da Universidade Federal de Itajubá.

A Maria Inês, Juliana Cespedes, Márcia Kondo e Rogério Melloni pela dedicação e empenho no decorrer desses dois últimos anos.

Muito obrigada!

RESUMO

O uso de fitomassa de leguminosas na lavoura cafeeira surge como alternativa para agregar valor ambiental ao produto e reduzir os custos de produção do café. O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos nos atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo, produtividade cafeeira e potencial de substituição de fertilizantes resultante da adição de fitomassa de quatro leguminosas arbóreas ao longo de 7 anos (*Cajanus cajan*, *Mimosa scabrella*, *Leucoena leucocephala* e *Acassia mangium*). O estudo foi conduzido em lavoura cafeeira situada na área experimental da EPAMIG de S. S. do Paraíso, MG. Foi verificado significativo potencial de substituição de fertilizantes por fitomassa de leguminosa, com efeito benéfico na qualidade química do solo, porém não foi observada melhoria na produção de grãos.

Palavras-chave: massa seca, micorriza, adubação NPK, produtividade do café.

ABSTRACT

The use of arboreal legume green material in coffee cropping appears as an alternative manure to increase the product value and also to reduce the production costs.

The present paper aims to appraise the effects of long period arboreal legume phytomass application under coffee productivity, chemical, physical and microbiological soil properties. The four legumes tested were *Cajanus cajan*, *Mimosa scabrella*, *Leucoena leucocephala* and *Acacia mangium*.

This study was conducted in a Southern Brazilian experimental coffee cropping. The results indicate positive effects on soil quality, nevertheless, the coffee production was not enhanced, presumably because of the demanding time between shrubs nutrients immobilization-mineralization by soil microorganisms.

Keywords: dry matter, micorrizal, NPK fertilizer, coffee productivity

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4-1: Relação das épocas de amostragens para cada atributo avaliado no experimento.....	37
Tabela 4-2: Análise e interpretação da fertilidade inicial do solo da área experimental.....	38
Tabela 4-3: Metodologia seguida para análises dos atributos químicos do solo.	41
Tabela 4-4: Faixa de interpretação do índice de Kenworthy para avaliação do estado nutricional do cafeeiro.	45
Tabela 5-1: Aporte potencial de nutrientes via fitomassa das leguminosas em 2002 e 2003, S. S. do Paraíso, MG1.....	54
Tabela 5-2: Coeficientes de correlação r de Pearson para os atributos físicos do solo.....	55
Tabela 5-3: Valores médios das variáveis físicas do solo – coeficiente de saturação (Ksat20); densidade do solo (Ds); macro e microporosidade; umidade de saturação (USAT) e volume total de poros (VTP) para cada tratamento. S. S. do Paraíso, MG ¹	56
Tabela 5-4: Produção de Fitomassa, S. S. do Paraíso, MG1.	57
Tabela 5-5: Coeficientes de Pearson (r) para correlações significativas entre as variáveis químicas do solo.	60
Tabela 5-6: Média da respiração microbiana em solo cultivado com cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) e manejado com fitomassa de diferentes leguminosas, S. S. do Paraíso, MG1.	76
Tabela 5-7: Atributos microbiológicos em solo cultivado com cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) e manejado com fitomassa de diferentes leguminosas, em 2003, S. S. do Paraíso, MG1.	77
Tabela 5-8: Ocorrência de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.) manejado com fitomassa de diferentes leguminosas arbóreas, em S. S. Paraíso, MG. Média de três repetições.	80
Tabela 5-9: Índice de diversidade de Shannon-Weaver e de Riqueza de Margalef.	81
Tabela 5-10: Potencial de substituição da adubação NPK pela adição de fitomassa das leguminosas, S.S.Paraíso/MG.....	85

Tabela 5-11: Redução nos custos de produção em função da aplicação de fitomassa de leguminosas em 2002 e 2003, S.S.Paraíso, MG.....	86
Tabela 5-12: Correlação dos atributos químicos do solo com as componentes principais.	88

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Aleias com guandu (<i>Cajanus cajan</i>), S. S. do Paraíso, MG.	24
Figura 2: Aleias com bracatinga, S. S. do Paraíso, MG.	25
Figura 3: Aleias com leucena (<i>Leucoena leucocephala</i>), S. S. do Paraíso, M.G.	26
Figura 4: Aleias com acácia (<i>Acacia mangium</i>), S. S. do Paraíso, MG.	26
Figura 5: Croqui da área experimental.	39
Figura 6: Manejo da poda das leguminosas.	39
Figura 7: Imagens A e B – coleta de 0,25m ² de fitomassa de leguminosa e C – quantificação da produção de fitomassa.	40
Figura 8: Produção de fitomassa entre as leguminosas para cada ano (a) e variação na produção de fitomassa de cada leguminosa ao longo dos anos (b), S. S. Paraíso, MG.	49
Figura 9: Macronutrientes da fitomassa das leguminosas em 2002 (a) e 2003 (b). .	51
Figura 10: Micronutrientes da fitomassa das leguminosas em 2002 (a) e 2003 (b).	53
Figura 11: Variação do teor de matéria orgânica do solo (MOS) para cada ano entre as leguminosas (a). Variação do teor de MOS para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b).	63
Figura 12: Variação do pH do solo para cada ano entre as leguminosas (a). Variação do pH do solo para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b).	64
Figura 13: Variação da acidez potencial (a) e trocável (b) para cada ano entre as leguminosas. Variação da acidez potencial (c) e trocável (d) para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos.	66
Figura 14: Variação da CTC efetiva (t) para cada ano entre as leguminosas (a). Variação da t para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b). Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia; TES – testemunha).	67
Figura 15: Variação da saturação por bases (V) para cada ano entre as leguminosas (a). Variação da V para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b).	69

Figura 16: Variação do teor de potássio para cada ano entre as leguminosas (a). Variação do teor de potássio para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b).....	71
Figura 17: Variação da concentração de fósforo disponível (P) para cada ano entre as leguminosas (a). Variação da concentração de P para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b)..	73
Figura 18: Variação do teor zinco para cada ano entre as leguminosas (a). Variação do teor de Zn para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b).....	75
Figura 19: Diagrama de ordenação Biplot para a produção de fitomassa (ProdFito), atributos químicos da das leguminosas (Zn, Cu, N, Ca, Mg, S, B e Mn) e atributos e índices microbiológicos do solo (Da – Maralef, H'- Shannon-Weaver, BM – Biomassa microbiana, respiração e qCO ₂).....	78
Figura 20: Variação na produção de sacas de café beneficiadas das parcelas com fitomassa de leguminosa e testemunha para cada ano (a). Variação temporal na produção de sacas de café beneficiadas para cada parcela com fitomassa de leguminosa e testemunha (b).....	82
Figura 21: Diagrama de ordenação Biplot para as variáveis da fertilidade do solo. As letras indicam a leguminosa utilizada para prover fitomassa (L - leucena; A – acácia; G – guandu; B – bracinga e T – testemunha) e os números indicam a época de análise (03 – 2003; 04 – 2004; 05 – 2006 e 06 – 2006).....	89
Figura 22: Qualidade química do solo (escores) de cada tratamento (LEU - leucena; ACA – acácia; GUA – guandu; BRA – bracinga e TES – testemunha), S. S. Paraíso, MG.	90

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTO.....	iv
RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE TABELAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE	xi
1. INTRODUÇÃO.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. LEGUMINOSAS ARBÓREAS.....	16
2.1.1. LEGUMINOSAS TESTADAS	23
2.1.1.1. <i>Cajanus cajan</i>	23
2.1.1.2. <i>Mimosa scabrella</i>	24
2.1.1.3. <i>Leucoena leucocephala</i>	25
2.1.1.4. <i>Acacia mangium</i>	26
2.2. EFEITO DA ADIÇÃO DE FITOMASSA DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	27
2.3. EFEITO DA ADIÇÃO DE FITOMASSA DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	28
2.4. EFEITO DA ADIÇÃO DE FITOMASSA DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS NOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO.....	31
3. OBJETIVOS.....	35
3.1. GERAIS	35
3.2. ESPECÍFICOS.....	35
4. METODOLOGIA	36
4.1. O SOLO E O CLIMA DA REGIÃO	36
4.2. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	36
4.3. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISES LABORATORIAIS.....	40
4.3.1. Análise da fitomassa das leguminosas	40

4.3.2.	Análises dos atributos químicos do solo.....	41
4.3.3.	Análises dos atributos físicos do solo	42
4.3.4.	Análises dos atributos microbiológicos do solo	43
4.3.5.	Produtividade e análise foliar do cafeeiro.....	44
4.4.	AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO.....	44
4.5.	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	45
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	48
5.1.	PRODUÇÃO DA FITOMASSA PELAS LEGUMINOSAS	48
5.2.	ANÁLISES QUÍMICAS DA FITOMASSA	50
5.3.	ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO	55
5.4.	ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO	58
5.4.1.	Matéria orgânica do solo	61
5.4.2.	Capacidade de troca catiônica, pH e acidificação do solo.....	63
5.4.3.	Saturação por bases.....	68
5.4.4.	Potássio do solo.....	69
5.4.5.	Fósforo do solo	72
5.4.6.	Zinco do solo	74
5.5.	ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO.....	76
5.5.1.	Atividade microbiana, carbono da biomassa e quociente metabólico	76
5.5.2.	Índice de diversidade, riqueza e dominância microbiológica do solo	79
5.6.	PRODUTIVIDADE DO CAFÉ.....	81
5.7.	FITOMASSA COMO COMPLEMENTO DA ADUBAÇÃO NPK.....	84
5.8.	DESEMPENHO GLOBAL DOS TRATAMENTOS.....	87
6.	CONCLUSÕES.....	91
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
	APÊNDICE - A	101

1. INTRODUÇÃO

As atividades agrícolas, de pequeno ou grande porte, demandam grande quantidade e variedade de recursos naturais, influenciando direta e indiretamente seus diferentes compartimentos e, conseqüentemente, o equilíbrio natural dos ecossistemas.

Com o intuito de atender a demanda mundial por produtos mais sustentáveis, diversas bases convencionais de produção agrícola têm sido substituídas por sistemas que envolvem as múltiplas funções do ambiente, assimilando e otimizando os processos naturais de ciclagem de nutrientes, manutenção do microclima e da diversidade do solo. A adoção de práticas que preconizam um uso racional e equilibrado dos recursos naturais é resultado das preocupações e comprometimento de todos os interessados e envolvidos com a cadeia produtiva de alimentos, dos produtores aos consumidores.

Nesse âmbito, o uso de fitomassa de leguminosas em solos agrícolas representa uma importante ferramenta para a adoção de manejos agrícolas equilibrados favorecendo a fertilidade do solo, controle da erosão, redução das perdas de nutrientes por lixiviação e volatilização e da necessidade de aplicação de adubos solúveis. Adicionalmente, essa prática traz a possibilidade de fornecer uma renda adicional através da comercialização do material lenhoso das espécies arbóreas.

Porém, apesar de promissora, a eficiência desse manejo depara-se com questões técnicas e econômicas como disponibilidade de mão de obra, a seleção da espécie mais adequada para prover fitomassa, forma de cultivo e aplicação do material vegetal na lavoura, qualidade inicial do solo, e do sincronismo entre a decomposição da fitomassa e liberação de nutrientes e a taxa de demanda da cultura.

Pesquisas que envolvem o uso de fitomassa de leguminosas arbóreas em cultivos permanentes, como a cafeicultura, ainda são escassas, configurando uma prática ainda pouco precisa quanto aos efeitos na economia agrícola, principalmente em propriedades com cultivo adensado ou naquelas cujo manejo é mecanizado.

Considerando a importância da cafeicultura para a economia nacional e as atuais repercussões da crise nesse setor, o estabelecimento de rotas alternativas de produção com enfoque na redução do uso de insumos externos, estabelecendo um

referencial técnico para a viabilidade econômica e ecológica do uso de fitomassa de leguminosas em agroecossistemas, são mecanismos promissores para reduzir os efeitos negativos do monocultivo contínuo do solo, auxiliando na recuperação do setor cafeeiro, principalmente dos pequenos produtores e de base familiar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. LEGUMINOSAS ARBÓREAS

A busca por altas produtividades nas lavouras tem levado os agricultores a adotarem sistemas de manejo mais intensivos, com emprego de máquinas e suplementos agrícolas, elevando os custos de produção. Ferreira e Vegro (2006) constataram que, a partir de 1990, a produção agrícola aumentou sem que houvesse necessidade de abertura de novas áreas agrícolas, fato viabilizado principalmente pelo maior uso de fertilizantes e máquinas agrícolas.

Todavia, para os pequenos produtores, principalmente aqueles de base familiar, esse “pacote tecnológico” tem pouca sustentabilidade, não somente pelos altos custos dos insumos, mas também pela inviabilidade de uso de colheitadeiras mecânicas e sistemas de irrigação. Ainda, fatores como poder de troca do agricultor, liberação de crédito agrícola e flutuação no preço de mercado da cadeia de produção dos fertilizantes interferem no consumo desse insumo na cadeia produtiva de alimentos e manutenção da produtividade e rentabilidade dos agricultores.

No Brasil, o consumo de fertilizantes aumentou 680% no intervalo entre 1970 e 2000, passando de 998 mil toneladas em 1970 para 7,77 milhões de toneladas (NICOLELLA; DRAGONE; BACHA, 2005). Do total de estabelecimentos agropecuários no Brasil, cerca de 32% usam algum tipo de adubação, sendo majoritário o uso de fertilizantes potássicos, fosfatados e nitrogenados (BRASIL, 2010b), adubação NPK.

Em 2005, as vendas de fertilizantes no Brasil atingiram um total de 20,194 milhões de toneladas de produto (FERREIRA; VEGRO, 2006), sendo a cultura da soja a maior consumidora em nível nacional, correspondendo a 37,1% do total consumido no país. Em seguida, aparecem milho (15,8%), cana-de-açúcar (14,0%), café (7,0%) e algodão herbáceo (3,9%). Para a cultura do café, esse consumo representou um aumento de 2,9% em relação ao ano anterior.

Dados obtidos do Conselho Nacional do Café (CNC, 2010), apontam uma alta representatividade dos custos com fertilizantes no custo operacional em

propriedades cafeeiras. Para a safra de 2008, em S. S. do Paraíso, MG, com uma produtividade média de 25 sacas de 60 kg por hectare, o custo estimado com fertilizante atingiu 23,18% das despesas com a lavoura, perdendo apenas para o custo com mão de obra fixa, que representa 24,38% do total, cerca de R\$ 1600 por hectare. Esses custos, no entanto, variam conforme a região produtora. Em Guaxupé, MG, para a mesma produtividade de S. S. Paraíso, o gasto com fertilizantes foi de 18,83% do custo total, cerca de R\$ 1158 por hectare, respondendo ainda pelo maior encargo do custo total estimado para a lavoura.

Contudo, a superexploração do solo e demais recursos ambientais, principalmente quando o manejo é feito sem orientação técnica adequada, tem causado graves consequências ambientais, com crescente empobrecimento do solo e conseqüente aumento da necessidade de intervenção química. Assim, buscando manter a qualidade do solo em níveis adequados à produtividade sem, contudo, perder de vista o equilíbrio ambiental, as bases tecnológicas das atividades agrícolas vem se alterando para sistemas menos impactantes, conservacionistas, fundamentados nos serviços naturais de ciclagem de nutrientes e manutenção da microbiota do solo.

Os nutrientes do solo necessários ao crescimento vegetal tem como fonte o intemperismo das rochas de origem, deposição atmosférica, uso de fertilizantes industrializados, liberação dos nutrientes presentes na biomassa microbiana e decomposição dos tecidos vegetais, sendo esta a principal via de transferência de C, N e P dentro do fluxo de nutrientes do ciclo biogeoquímico (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Em solos de regiões semiáridas, arenosos, ou em solos com alto grau de intemperismo, a matéria orgânica do solo (MOS), assume função primordial na fertilidade, influenciando na qualidade química, física e microbiológica do solo (KANG, 1993; FARIA; SOARES; LEÃO, 2004). Em condições de baixo teor de MOS ocorre uma maior demanda por insumos agrícolas e também maiores cuidados com o manejo destes, a fim de que sejam minimizadas as perdas por lixiviação e conseqüente contaminação do ambiente.

Nesse sentido, como forma de substituir, total ou parcialmente, a adubação NPK e proteger o solo dos agentes climáticos erosivos (PERIN et al., 2002) o uso de leguminosas como cobertura morta ("*mulching*") ou viva, tem importância

evidenciada em sistemas de manejo conservacionistas, como na agricultura orgânica (THEODORO et al., 2003; ALVES et al., 2004) e integrada, onde o uso de fertilizantes industrializados é proibido ou permitido com restrições pelas entidades certificadoras (BRASIL, 2010c).

Na literatura, é ampla a gama de pesquisas sobre o uso de leguminosas no sistema de rotação de culturas ou nas entrelinhas de plantios temporários, como nos cultivos de laranja, milho, trigo, cana-de-açúcar, algodoeiro, arroz ou em recuperação de pastagens e áreas degradadas (ALVARENGA et al., 1995; MIYASAKA et al., 1966; ALCANTARA et al., 2000; SILVA et al., 2002; RAGOZO, LEONEL; CROCCI, 2006; LANGE et al., 2009). Dentre as múltiplas vantagens oriundas dessa prática, podem ser citadas o rápido crescimento das leguminosas, desenvolvido sistema radicular e eficiência na solubilização dos nutrientes ao longo do perfil vertical e horizontal, absorvendo-os, recirculando-os e disponibilizando-os às outras culturas (FERNANDES; BARRETO; EMÍDIO FILHO, 1999; LOVATO et al., 2004; PERIN et al., 2004; QUEIROZ et al., 2007; WEBER; MIELNICZUK, 2009;).

Outra vantagem no uso desse vegetal decorre das relações simbióticas entre as leguminosas e microrganismos como as bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos, cuja ação sinérgica traz benefícios às culturas consorciadas na nutrição por N e P (AGUILAR COELHO et al., 2006) e no aumento da superfície de contato radicular e eficiência da planta em explorar os nutrientes e água do solo.

A adoção do sistema de manejo de fitomassa de leguminosa como cobertura morta a pode ser feito por meio de importação de material de outras áreas, dependendo altos custos com transporte e mão de obra, ou sob cultivo em aleias. Nesse sistema as culturas agrícolas comerciais são dispostas de forma intercaladas com as leguminosas, plantadas em linhas e podadas periodicamente, para prover material orgânico e nutrientes para a cultura principal (KANG et al., 1983; JORDAN, 2004; MOURA et al., 2010). Diferentemente do plantio em consórcio, quando as leguminosas são plantadas nas entrelinhas, no sistema em aleias é menor a competição por luz, água e nutrientes entre as leguminosas e a cultura principal, uma vez que nas entrelinhas somente são adicionados o material da poda, ou seja, cobertura morta.

O manejo frequente da fitomassa favorece a manutenção da qualidade do solo, e melhorias contínuas na sua fertilidade (QUEIROZ et al., 2007), além da atuar na

proteção mecânica dos efeitos erosivos do impacto das gotas de chuva. Em relação às arbustivas, as leguminosas de porte lenhoso possuem o diferencial de produzirem grandes quantidades de fitomassa por área e apresentarem concentrações elevadas de nutrientes na parte aérea, consequência do seu sistema radicular mais desenvolvido e capaz de assimilar os nutrientes lixiviados para as camadas mais profundas do solo (NASCIMENTO et al., 2005). Seu desenvolvimento perene e o potencial de obter rendimentos a partir do material lenhoso gerado (MOURA, 2004; KIMARO et al., 2007) são vantagens adicionais e importantes atrativos para pequenos produtores e de base familiar. Como desvantagem, porém, esse sistema apresenta diminuição da área explorada, que é ocupada pelas faixas da espécie arbórea (ALVES et al., 2004) e da necessidade de manejos constantes das leguminosas (poda e adição/incorporação da fitomassa). Contudo, ao analisar o fluxo econômico global da propriedade Souza et al. (2010) ressaltam que o menor custo de produção, devido principalmente à redução no uso de fertilizantes, promoveu retorno econômico, tendo sido encontrada uma relação custo/benefício de 0,29% para propriedades cafeeiras de base agroflorestal contra 0,55% no sistema a pleno sol.

Porém, apesar de promissora, a eficiência do uso de fitomassa depara-se com fatores técnicos e ambientais, como a seleção da espécie vegetal mais adequada, em termos qualitativos e quantitativos, frequência e forma da poda (ARAÚJO; BALBINO, 2007), escolha da forma de aplicação da fitomassa na lavoura (superficial ou incorporada), disponibilidade de mão de obra e do sincronismo entre a decomposição da fitomassa e a taxa de demanda da cultura (AMADO, MIELNICZUK, FERNANDES, 2000; QUEIROZ et al., 2007).

Quanto à qualidade química da fitomassa, essa depende da sua eficiência na absorção de nutrientes, definida pela razão entre a produção de biomassa e absorção de nutrientes. Essa razão descreve o potencial da planta em utilizar os nutrientes do solo no seu crescimento e também de se desenvolver sob condições de baixa fertilidade. Plantas com sistema radicular bem desenvolvido e que possuam relações simbióticas com fungos micorrízicos e bactérias diazotróficas possuem bom aproveitamento dos nutrientes do solo (KIMARO et al., 2007). Em função da diversidade na composição química do material vegetal, o uso de adubos verdes mistos pode configurar uma alternativa vantajosa para manutenção e/ou

recuperação do solo (MENDONÇA; STOTT, 2004), atuando na qualidade física, química e biológica do solo.

Em relação à forma de aplicação do material no solo, Alcântara et al. (2000) verificaram que quando a fitomassa das leguminosas foi apenas deixada sobre a superfície, sem que houvesse incorporação, o menor contato com o solo levou a uma decomposição mais lenta e, com isso, os nutrientes facilmente lixiviados, como o K, foram liberados mais lentamente e com menor perdas. Além disso, a adição superficial protege o solo das ações erosivas e não danifica o sistema radicular das plantas com as ações de revolvimento, sendo esta vantagem de especial importância para o cafeeiro, uma vez que, embora seu sistema radicular seja profundo, a maior parte de suas raízes absorventes concentra-se na estreita camada superficial (BERGO et al., 2006). Rheinheimer, (2000, apud SOUZA et al., 2008) acrescenta ainda que, em sistemas de manejo que promovem o acúmulo de MOS, a quantidade de P microbiano é maior comparativamente aos sistemas de cultivo em que os resíduos são fragmentados e incorporados no sistema.

Em relação ao adequado manejo das leguminosas arbóreas, a identificação da melhor época e forma da poda é importante para manutenção da produção de fitomassa e da sua qualidade química ao longo dos anos produtivos, sem que haja necessidade de replantio. Silva et al. (2002) estudaram a reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo em função de diferentes espécies de leguminosas e observaram que o material vegetal promove melhores resultados quando as leguminosas são podadas após seu florescimento e antes da frutificação, garantindo uma grande quantidade de material vegetal, com alta concentração de nutrientes foliares evitando ainda a infestação dos solos com as sementes da leguminosa.

Todavia, no caso do cultivo intercalar do guandu com o café, Araújo e Balbino (2002) ressaltam que quando realizada próxima da colheita do café (entre abril e maio), a poda da leguminosa pode interferir na colheita tanto pela presença de galhos nas entrelinhas (antes do corte da leguminosa), quanto pela fitomassa depositada sobre o solo (após o corte da leguminosa). Nesse sentido, buscando avaliar a melhor época e forma de realizar a poda do guandu intercalado com café, os autores avaliaram dois sistemas de poda aos 120, 150, 180 e 210 dias após o plantio do guandu. As podas foram realizadas em decote, a um metro de altura do solo, e em esqueletamento, caracterizado pelo corte dos ramos laterais sem a retirada do caule principal.

Os resultados obtidos indicaram que a maior produção de fitomassa (massa verde) ocorreu quando a poda foi conduzida no final do verão, entre 140 e 180 dias após o plantio, época coincidente com o pré-florescimento da leguminosa. Já em relação ao tipo de poda, o sistema em decote foi considerado o mais favorável para a produção de massa verde e massa seca, tendo também fornecido maior quantidade de nitrogênio ao solo em relação ao esqueletamento, devido, segundo os autores, a grande concentração de N presente no caule. Após os 210 dias, na época do florescimento do guandu, as duas formas de poda forneceram a mesma quantidade de N, o que, segundo os autores, pode ser um indicativo de que de fato ocorre translocação de nutrientes do caule para a folha do guandu para que sejam supridas a maior demanda por N nessa fase fenológica.

Em relação à qualidade química da fitomassa, Mendonça e Stott (2010) confirmaram a relação de interferência do conteúdo químico dos materiais vegetais na sua taxa de decomposição. A proporção entre materiais recalcitrantes e lábeis é fator determinante para eficácia da adubação com fitomassa de leguminosa, sendo as mais citadas na literatura a presença de ácidos orgânicos e as relações C/N, celulose:N, lignina:N e (lignina+polifenol):N (GIACOMINI et al., 2003). Quando elevadas, essas razões reduzem a taxa de decomposição do material, diminuindo seu potencial como condicionante químico do solo, mas ainda contribuindo com as características físicas do solo, como densidade, porosidade do solo e, conseqüentemente, a disponibilidade hídrica (TIAN; KANG; BRUSSAARD, 2004; NGORAN et al., 2006; MATOS et al., 2010; MOURA et al., 2010).

Fosu et al. (2007) avaliaram a mineralização de quatro espécies de leguminosas (*Crotalaria juncea*, *Crotalaria retusa*, *Calopogonium mucunoides* e *Mucuna pruriens*) utilizando sacolas de serrapilheira (*litterbag*) e constataram que aquelas com relação C/N superior a 20 e teor de nitrogênio da fitomassa menor que 1,7% podem resultar em imobilização do nitrogênio, tornando-o indisponível para as plantas. Semelhantemente, estudo conduzido por BAGGIE et al. (2005) revelou que a taxa de decomposição não tinha correlação com o conteúdo de P do resíduo, mas sim com o teor de lignina, polifenol e celulose.

No entanto, apesar desses índices serem robustos na determinação da decomposição da fitomassa, em virtude dos diferentes métodos de análise atualmente utilizados, não há ainda um valor fixo determinado para indicar a alta ou

baixa qualidade química de um material vegetal para seu uso como adubo (MANFOGOYA; GILLER; PALM, 2004).

Além das características da espécie vegetal, a velocidade de liberação de nutrientes da fitomassa durante o processo de decomposição depende da forma em que esses nutrientes se encontram no tecido vegetal (GIACOMINI et al., 2003). Assim, a liberação de nutrientes estruturais, como P e Ca, depende de processos de mineralização, enquanto que para o K é mais importante o processo de lixiviação.

Convém acrescentar que, assim como no uso de fertilizantes químicos industriais, o uso de fitomassa de leguminosas como insumo agrícola deve atender para as necessidades da planta, considerando suas variações na demanda hídrica e nutricional ao longo dos estádios fenológicos para que haja sincronia entre a mineralização dos nutrientes da fitomassa e o período de maior demanda da cultura de interesse (MANFOGOYA; GILLER; PALM, 2004; PALM, 2004), a fim de evitar perdas de nutrientes e, conseqüente, contaminação do ambiente.

Em relação à produtividade, Kang, Wilson e Sipkens (2006) avaliaram o desempenho do milho cultivado no sistema em aleias com leucena durante quatro anos e verificaram que nas áreas que receberam fitomassa da leguminosa a produtividade do milho foi mantida por dois anos sem necessidade de adição de fertilizante nitrogenado, enquanto que nas áreas testemunhas a produtividade declinou. Xu et al. (2005) também obtiveram aumento significativo na produtividade do milho tratado com fitomassa de leucena com fertilizante nitrogenado. Contrariamente, Faria, Soares e Leão (2004) ao estudar o efeito da adubação verde com leguminosas em videiras no submédio São Francisco constataram que, apesar do efeito benéfico das leguminosas nas características químicas da camada superficial do solo, não houve efeito consistente sobre a produtividade e qualidade de uva.

Essa divergência de resultados reforça a necessidade de aprofundar os estudos relacionados à composição química e dinâmica da MOS oriunda da decomposição da fitomassa de leguminosas e também as fases fenológicas das espécies consorciadas. Queiroz et al. (2007) salientam ainda que a extrapolação das alterações na qualidade do solo, devido ao uso de fitomassa de leguminosas deve ser feita com cautela e de forma regionalizada, uma vez que os benefícios dessa prática variam em função da qualidade química do material vegetal, das condições pedoclimáticas, do metabolismo e especificidades dos microrganismos do solo e da

variabilidade sazonal desses fatores. A relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo comportamento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (SILVA; SILVA; FERREIRA, 2005), conforme será apresentado nos capítulos subsequentes.

2.1.1. LEGUMINOSAS TESTADAS

2.1.1.1. *Cajanus cajan*

O guandu (*Cajanus cajan*) é uma leguminosa arbustiva de porte alto, podendo chegar a 3 metros. Seu ciclo perene ou semi-perene (EMBRAPA, 2010), da semeadura ao florescimento varia de 80, para as variedades anãs, a 180 dias, para as variedades normais (VITÓRIA, 2010). É uma espécie tolerante a déficit hídrico, com raiz pivotante podendo alcançar de 0,8 a 5,0 m de profundidade. Quanto à demanda nutricional, essa leguminosa possui baixa exigência, com tolerância à acidez variando de baixa a média (EMBRAPA, 2010).

É uma espécie de ciclo longo, com crescimento lento e florescimento após os 140 dias (SILVA et al., 2002). Pode alcançar uma produção de 5 a 9 t de fitomassa seca por hectare, com potencial de fixação biológica de nitrogênio entre 90 a 350 kg por hectare por ano (EMBRAPA, 2010; VITÓRIA, 2010) e sua relação C/N é igual a 17 (AQUINO, 1996; ALCANTARA et al., 2000).

O guandu tem se mostrado uma excelente leguminosa para inclusão em sistema de cultivo em aleias, apresentando alta produção de fitomassa seca rica em N e P, podendo contribuir com até 283 kg ha⁻¹ de N e 23 kg ha⁻¹ de P no sistema (ALVES et al., 2004).



Figura 1: Aleias com guandú (*Cajanus cajan*), S. S. do Paraíso, MG.

2.1.1.2. *Mimosa scabrella*

A bracatinga (*Mimosa scabrella*) é uma espécie pioneira precoce (MACHADO et al., 2002), nativa das regiões de clima frio do Brasil. Seu crescimento é rápido, porém com longevidade baixa, vivendo em média 25 anos, atingindo alturas que variam de 4 a 18 metros (EMBRAPA, 2010). Sua ocorrência natural atrela-se a condições de clima temperado úmido, mas também em clima subtropical úmido e subtropical de altitude (ANGELI; STAPE, 2010).

Quanto as condições edafoclimáticas ideais, a bracatinga, não suporta períodos de seca prolongados, desenvolvendo-se bem em temperatura amena e em condições de baixa fertilidade química, em solos ácidos (pH variando entre 3,5 e 5,5), de textura franca a argilosa, desde que bem drenados (ANGELI; STAPE, 2010).



Figura 2: Aleias com bracatinga, S. S. do Paraíso, MG.

2.1.1.3. *Leucoena leucocephala*

A leucena (*Leucoena leucocephala*) é uma leguminosa de ciclo perene, tolerante a déficit hídrico, com raiz pivotante podendo alcançar de 0,5 a 5,0 m de profundidade. Seu porte é alto, podendo alcançar 12 m de altura (EMBRAPA, 2010). Quanto à demanda nutricional, essa leguminosa possui média exigência, sendo o cálcio um nutriente determinante para seu desenvolvimento radicular, e a calagem do solo uma prática necessária (FRANCO; SOUTO, 1986). Possui, no entanto, tolerância a solos com altos teores de alumínio, e baixos teores de ferro e fósforo.

Em sistema de corte, essa espécie recupera-se de modo mais rápido quando a poda é realizada a 75 cm de altura e em intervalos de 90 dias. Nos meses chuvosos o manejo pode ser feito em intervalos menores, porém sempre atentando para as condições locais (FRANCO; SOUTO, 1986), garantindo a manutenção da produtividade.

Sua produção de fitomassa é de 12 a 20 toneladas por hectare por ano, com potencial de fixação biológica de nitrogênio variando entre 250 e 400 kg por hectare por ano (EMBRAPA, 2010) e sua relação C/N igual à 14 (SILVA, 1992).

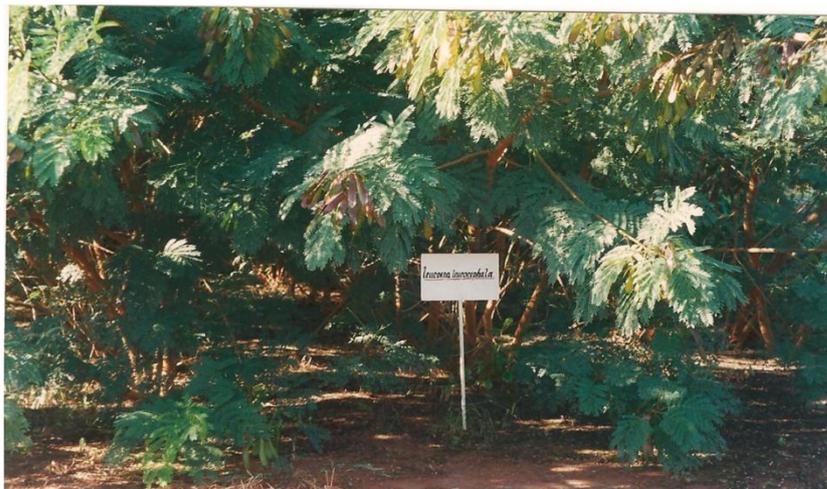


Figura 3: Aleias com leucena (*Leucaena leucocephala*), S. S. do Paraíso, M.G.

2.1.1.4. *Acacia mangium*

A acácia (*Acacia mangium*) é uma leguminosa de ciclo perene, de porte alto, podendo alcançar 30m de altura a uma taxa de crescimento de 3,4 metros por ano (BALIEIRO et al., 2004). Quanto à demanda nutricional, essa leguminosa consegue se desenvolver em solos com fertilidade variável (EMBRAPA, 2010). Em média, 70,5% da matéria seca gerada é lenho, o restante corresponde às folhas, casca e galhos. A baixa velocidade de decomposição dos filódios de *Acacia Mangium*, decorrente da alta relação C/N igual a 30,3 (GARAY et al., 2003) faz com que grande quantidade de serrapilheira se acumule sobre o solo (BALIEIRO et al., 2004).



Figura 4: Aleias com acácia (*Acacia mangium*), S. S. do Paraíso, MG.

2.2. EFEITO DA ADIÇÃO DE FITOMASSA DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

As propriedades físicas do solo são influenciadas pela sua cobertura superficial (viva ou morta) e também pelo conteúdo e grau de decomposição do material orgânico, sendo denominados, do menos ao mais decomposto, de fíbrico, hêmico ou sáprico (OLIVEIRA, 2008). Esses materiais atuam principalmente na agregação e, conseqüentemente, na porosidade e densidade do solo, condicionando a aeração, fluxo hídrico, mobilidade dos nutrientes e a resistência mecânica à penetração radicular (FERREIRA, 1993).

A condutividade hidráulica é a propriedade do solo que mais reflete as mudanças na sua estrutura original e afeta o fluxo de água e, conseqüentemente, o transporte de solutos (ZAHO, SHAO, WANG, 2010). O coeficiente de saturação (K_{sat}) é também dependente dos demais atributos do solo, principalmente da densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, macro e microporosidade (MESQUITA; MORAES, 2004).

A distribuição do diâmetro dos poros interagregados condiciona seu comportamento físico-hídrico (KLEIN; LIBARDI, 2002). Os microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo enquanto que os macroporos são responsáveis pela aeração e maior contribuição na infiltração de água. Bognola et al. (2010) afirmam que um solo com macroporosidade superior a 17% do volume total de poros (VTP) promovem uma drenagem mais rápida, dificultando o fluxo contínuo de água e, dessa forma, o fluxo de massa e difusão dos nutrientes. Por outro lado, solos com drenagem mais lenta, com menor macroporosidade, podem prejudicar o crescimento dos vegetais por reterem a água por maior período de tempo, inibindo a aeração.

Devido a distribuição superficial do sistema radicular do cafeeiro (BERGO et al., 2006), operações de revolvimento nas entrelinhas são inviabilizadas o que, associadas ao manejo mecanizado da lavoura pode resultar em adensamento da camada superficial, afetando negativamente o tamanho e a estabilidade dos agregados, a estrutura, porosidade e permeabilidade do solo.

Assim, o manejo superficial de fitomassa no solo possui grande potencial na melhoria da sua qualidade física, por diminuir os efeitos da erosão hídrica e contribuir

para o aumento no teor de matéria orgânica, redução da densidade, aumento do volume total de poros, capacidade de infiltração e condutividade hidráulica, e redução na resistência mecânica à penetração radicular (NASCIMENTO et al., 2005; SILVA; SILVA; FERREIRA, 2005; AGUIAR et al., 2009; MOURA et al., 2010), aspectos de especial importância na difusão de potássio e absorção de elementos imóveis do solo, como o fósforo (NEVES; ERNANI; SIMONETE, 2009).

Oliveira (2008) afirma que quanto menos decomposto o material orgânico disposto no solo (material fibroso), menor a densidade do solo e maior a predominância de macroporos e capacidade do material orgânico em reter água.

Moura et al. (2010) avaliaram o efeito da adição superficial de fitomassa das leguminosas em cultivo de milho na região amazônica. As leguminosas *Clitoria fairchildiana* (CF) *Cajanus cajan* (CC), *Acacia mangium* (AM) e *Leucaena leucocephala* (LL), foram cultivadas em aleias, segundo os seguintes tratamentos combinados: CF + CC, AM + CC, LL + CF, LL + AM, LL+ CC e um controle, sem adição de fitomassa. Os autores verificaram que todos os tratamentos que incluíram fitomassa de acácia apresentaram maior quantidade e permanência da fitomassa depositada sob o solo, resultando em melhores condições físicas para o crescimento radicular.

A porosidade é, segundo Moreira e Siqueira (2006), de grande importância também aos processos biológicos do solo, favorecendo o crescimento de microrganismos pela melhor difusão de nutrientes, aeração e umidade do solo. Adicionalmente, a atividade microbiológica gera subprodutos de ação cimentante nos agregados do solo (PERIN et al., 2002), fechando a relação entre matéria orgânica e atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

2.3. EFEITO DA ADIÇÃO DE FITOMASSA DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Os efeitos do sistema de manejo da fitomassa de leguminosa variam segundo fatores de ordem edáfica e climática, principalmente temperatura e umidade (MATOS et al., 2010). Estudos relatam principalmente os efeitos sobre a matéria orgânica do solo, cuja função no solo integra diferentes esferas (BAYER; BERTOL, 1999; CONCEIÇÃO, 2005), principalmente na camada superficial do solo, como

verificado em estudo conduzido por Xiong et al. (2008). Esses autores verificaram que a remoção da serrapilheira depositada sob plantação de acácia alterou apenas os atributos na camada de 0-10 cm do solo, com exceção da umidade, cuja alteração foi verificada inclusive na camada de 10-20 cm.

A decomposição da fitomassa das leguminosas não somente recicla nutrientes essenciais ao desenvolvimento vegetal, mas também gera ácidos orgânicos de alta (ácidos húmicos e fúlvicos) e baixa massa molecular (cítrico, málico, oxálico, tartárico etc.), na maioria de caráter aniônico, ou seja, expõe suas cargas negativas quando em solução aquosa. A principal contribuição desses ácidos para a fertilidade do solo é sua ação complexante de íons indesejáveis, como Al^{3+} e H^+ , reduzindo a acidez potencial e trocável, aumentando a saturação da CTC do solo pelos íons Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , e aumentando a saturação por bases (FARIA; SOARES; LEÃO, 2004; PAULO et al., 2006; PAVINATO; ROSOLEM, 2008). Nesse sentido, Hunter et al. (1995, apud ROSOLEM; FOLONI; OLIVEIRA, 2003), afirmam que a baixa fertilidade de um solo ácido, com cargas dependentes de pH, pode ser corrigida tanto pela calagem quanto pela adição do adubo verde.

Giacomini et al. (2007) e Pavianto e Rosalem (2008) ressaltam que, além da decomposição do material vegetal, os ácidos orgânicos possuem também origem na lavagem direta da palha dos resíduos vegetais e na produção de exsudados radiculares e microbianos. Quando adicionados continuamente, a decomposição da matéria orgânica e a liberação de ácidos orgânicos de baixa massa molecular no solo convergem para um efeito prolongado na fertilidade do solo (PAVINATO; ROSOLEM, 2008).

Em solos bastante intemperizados, ricos em óxidos de ferro e alumínio e de minerais de argila de baixa atividade (do tipo 1:1), grande parte da capacidade de troca de cátions é resultante de cargas dependentes do pH, como ocorre com a carga da matéria orgânica do solo (BORGES et al., 2004). O aumento da atividade do solo com alto teor de matéria orgânica ocorre à medida que o pH aumenta para valores acima de 4 (OLIVEIRA, 2008) e de forma mais expressiva que o aumento da CTC dos minerais de argila, salientando ainda mais a importância da matéria orgânica em solos tropicais.

Nutrientes como nitrogênio e fósforo constituem o fator de maior limitação nutricional para o crescimento e desenvolvimento vegetal. Para o cultivo do café, esses nutrientes assumem particular importância na atividade fotossintética nos

sistemas de cultivo a pleno sol, preponderantes no Brasil (CARELLI; FAHL; RAMALHO, 2006). O fósforo é um dos nutrientes de maior complexidade no sistema pedológico, estando vinculado não somente ao seu conteúdo no material mineral ou orgânico, mas também as reações de fixação com alumínio e adsorção na fração mineral do solo, e ação dos microrganismos, como os solubilizadores de fosfato e fungos micorrízicos arbusculares, que influenciam desde as transformações de P no solo ou rizosfera até a absorção e translocação na planta, (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006; OSORIO; HABTE, 2009).

Já o nitrogênio, devido suas reações de oxirredução, apresenta uma fase volátil no solo, resultando em perdas e ineficiência no uso de fertilizantes nitrogenados, acentuando a importância das relações de simbiose entre as leguminosas e as bactérias diazotróficas.

Araujo et al. (2003) ressaltam que práticas de manejo de solos envolvendo adubação mineral em conjunto com adubação com fitomassa de leguminosa são importantes para integrar rentabilidade econômica da propriedade rural e conservação do solo. Esses autores verificaram que para a cultura do trigo o N-uréia é preferencialmente absorvido, mas que adubação com fitomassa de *Crotalaria juncea* traz benefícios à conservação do nitrogênio no solo, melhorando a fertilidade e evitando perdas de N do sistema. Em concordância, BAGGIE et al. (2005) afirmam que o uso combinado de resíduos vegetais com fertilizantes químicos fosfatados permite que a demanda nutricional da cultura seja atendida a curto e longo prazo.

Nessa linha, Lange et al. (2009), avaliaram o aproveitamento do nitrogênio residual do adubo verde de *Crotalaria juncea* em comparação a adubação com ureia. Os autores evidenciaram o benefício da incorporação de adubo verde no fornecimento gradativo de N no sistema solo-planta, onde, após dois anos de cultivo, em torno de 26% do N-uréia e 75% do N-crotalária aplicados no primeiro ciclo ainda se encontram no solo.

Importante para os processos de frutificação e defesa natural do cafeeiro (GUIMARÃES et al., 2002), a disponibilidade de K é altamente influenciada pela cobertura vegetal do solo. Contrariamente aos elementos estruturais das plantas que dependem de processos microbianos para sua liberação (como no caso do P), o K presente na fitomassa é rapidamente lixiviado logo após o manejo das plantas de cobertura, (GIACOMINI et al., 2003; CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004), sendo 2/3 do potássio nelas contidas liberado apenas por transformações físicas, estando

prontamente solúveis em água e dessa forma, disponível para as plantas (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Confirmando ser a lixiviação o principal mecanismo de transferência de K para o solo, Gama-Rodrigues et al. (2007) ao avaliar a decomposição e liberação de nutrientes de resíduos culturais de plantas de cobertura, verificaram uma rápida liberação de K nos primeiros 30 dias de decomposição. Além de atuar como fonte direta de K, a cobertura morta sobre o solo evita perdas desse nutriente para o ambiente, pois, devido ao fato desse elemento ser um cátion com fraca adsorção aos colóides do solo (FOLONI, ROSOLEM, 2006), sua disponibilidade é atrelada também a fatores físicos e químicos do solo, como drenabilidade, erodibilidade e CTC efetiva do solo, atributos do solo influenciados direta ou indiretamente pelo manejo superficial da cobertura morta, como já mencionado anteriormente.

2.4. EFEITO DA ADIÇÃO DE FITOMASSA DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS NOS ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO

Estudos realizados em diferentes condições edafoclimáticas já comprovaram a importância dos microrganismos na manutenção da qualidade do solo e, conseqüentemente, no desenvolvimento vegetal e na produtividade agrícola (BALOTA; LOPES, 1996). Os microrganismos assumem papel imprescindível na ciclagem de nutrientes que se encontram no tecido vegetal como P, N e S. Contrariamente, o potássio apresenta pequena dependência dos processos microbianos pois se encontra associado a componentes não estruturais da planta sendo rapidamente lixiviado logo após o manejo das plantas de cobertura (CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004).

No entanto, a mineralização dos resíduos, bem como as relações benéficas entre planta e microrganismo, varia e são influenciadas por fatores como idade da planta, qualidade da fitomassa, aeração, umidade, temperatura e pH do solo e, de forma bastante expressiva, nível de fertilidade do solo e estado nutricional da planta hospedeira (COLOZZI FILHO; CARDOSO, 2000). Adicionalmente, as diferenças no grau de infectividade das diferentes espécies de fungos afetam a eficiência da simbiose com as plantas (BRESSAN et al., 2001).

Baixas concentrações de P no resíduo vegetal (P orgânico menor que 2 mg kg^{-1}) fazem com que haja um predomínio dos processos de imobilização do P inorgânico pelo metabolismo microbiano, tornando este nutriente temporariamente indisponível para a planta (NOVAIS et al., 2007). Porém, apesar de poder provocar escassez para o metabolismo vegetal, essa assimilação temporária dos nutrientes pelos microrganismos evita que o ânion fosfato seja imobilizado pelos minerais do solo. Esse processo de imobilização é especialmente importante em solos bastante intemperizados, onde predominam caulinita e óxidos de Fe e Al, que formam uma ligação mais forte com o ânion, tornando-o não lábil. Assim, os nutrientes da BM formam um compartimento a médio e longo prazo, pois elas retardam o processo de adsorção de P com alta energia e, após morte celular, disponibilizam os nutrientes para as plantas.

Considerando o estoque de nutrientes contidos na biomassa microbiana, configurando uma fração lábil dos nutrientes essenciais para as plantas, a inibição do metabolismo microbiano e de suas relações simbióticas representa não somente um desperdício de recursos naturais, mas também um gasto desnecessário com insumos agrícolas externos e potencial risco de contaminação.

A comunidade microbiana do solo é sensível ao sistema de manejo adotado como aração, aplicação de fertilizantes e pesticidas, uso de máquinas agrícolas e monocultivo. Em relação ao monocultivo do café, Edathil et al. (1996, apud SILVA et al., 2006), afirmam que sucessivo manejo do solo com capinas promove o seu revolvimento e exposição dos FMAs, convergindo para uma menor densidade desses microrganismos.

Isso evidencia mais uma vez a necessidade de alterar as práticas agrícolas, priorizando aquelas que permitam o acúmulo de MOS e viabilizem a diversidade de espécies e de função (celulolíticos, solubilizadores de fosfato, fixadores de N, amonificantes, nitrificantes), favorecendo e estimulando o metabolismo microbiológico (SOUZA et al., 2008).

Souza et al. (2008), testando o efeito de diferentes intensidade de pastejo no teor de P microbiano do solo sob um sistema de integração agricultura-pecuária obtiveram maiores valores para aqueles sistemas em que foram possibilitados maiores acúmulos de resíduos, como na prática do plantio direto.

Por causa da presença da palhada e do maior teor de matéria orgânica, o manejo superficial de uma cobertura morta proporciona um ambiente menos oxidativo, reduzindo a fixação de nutrientes, e com menor contato dos resíduos com o solo, promovendo impacto direto positivo na fertilidade das camadas até 10 cm de profundidade (CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004).

Nesse sentido, uma maior quantidade e qualidade dos resíduos vegetais (com menor relação C/N e C/P) depositados sobre o solo podem promover melhorias na qualidade da matéria orgânica e estrutura da população microbiana promovendo, assim, maior aproveitamento (assimilação) dos nutrientes pelos microrganismos, e favorecendo a sua disponibilidade às plantas cultivadas (COSER et al., 2007, SOUZA et al. 2008).

Adicionalmente a função dos microrganismos decompositores, os fungos micorrízicos arbusculares assumem importantes funções na nutrição vegetal, especialmente nutrientes de pouca mobilidade, como fósforo, zinco e cobre (SUBRAMANIAN, BHARATHI, JEGAN, 2008), além de exercer proteção contra estresses ambientais e melhoria na estrutura do solo (COLOZZI FILHO; CARDOSO, 2000). Esses microrganismos atuam como prolongamento do sistema radicular da planta hospedeira, aumentando a capacidade de absorção de nutrientes, e promovendo proteção contra patógenos, tolerância a seca e à salinidade (SILVEIRA, 1992), de forma variável e vinculada à eficiência da espécie. Em função do manejo agrícola adotado é possível aproveitar o potencial de inóculo natural do solo, representado pelas estruturas fúngicas livres ou associadas à matéria orgânica e agregados do solo, capazes de estabelecer micorrizas (COLOZZI FILHO; CARDOSO, 2000).

Na agricultura convencional, as grandes quantidades de fertilizantes químicos industrializados agrava e inibe a ocorrência de simbioses benéficas entre o cafeeiro e os microrganismos, o que pode trazer sérias consequências a médio e longo prazo tanto para a produção quanto para a qualidade do solo (COLOZZI FILHO; CARDOSO, 2000). Em solos com concentrações de nutrientes próximas do ótimo para o crescimento da planta hospedeira já ocorre inibição da colonização micorrízica (SIQUEIRA, 2000).

No estudo da qualidade biológica do solo, o carbono da biomassa microbiana (BM), a respiração e o quociente metabólico (qCO_2) tem sido utilizados como, avaliando, além da fração lábil do nitrogênio, fósforo e carbono orgânico do solo, o

nível de estresse e potencial de decomposição da matéria orgânica do solo (D'ANDRÉA et al., 2002). No entanto, a BM fornece apenas uma estimativa quantitativa de microrganismos, não considerando sua composição, ou a estrutura das comunidades microbianas. Para amenizar ou complementar as informações nesse sentido, recomenda-se a utilização de outros indicadores, principalmente envolvendo a diversidade e riqueza microbianas, de modo a acessar a diversidade funcional e, dessa forma, o potencial benefício da comunidade microbiologia para a cultura agrícola e sua sustentabilidade ambiental.

Nos diferentes sistemas de produção do cafeeiro o número de esporos de FMAs foi considerado como indicador da ocorrência de associação micorrízica no solo (CARDOSO et al., 2003), uma vez que esta simbiose é viabilizada por propágulos de FMAs, como raízes já colonizadas, micélio externo (hifas) e esporos. Porém, é conveniente frisar que em períodos de estiagem e de condições de nutrição reduzida, seja pela escassa quantidade ou baixa concentração de nutrientes do substrato, os microrganismos formam estruturas de resistência a estresses ambientais, como cistos e diversos tipos de esporos, permitindo uma sobrevivência por mais tempo (PEREIRA et al., 2000; MOREIRA & SIQUEIRA, 2006). Assim, a quantificação e identificação de espécies de FMAs além de ser um indicativo da diversidade e riqueza, também indicam condições edafoclimáticas limitantes para os microrganismos.

3. OBJETIVOS

3.1. GERAIS

Verificar as potencialidades da utilização de fitomassa de leguminosas para sustentabilidade econômica e ambiental da lavoura cafeeira, mediante a avaliação de atributos químicos, físicos e microbiológicos.

3.2. ESPECÍFICOS

- Avaliar alterações de atributos físicas, químicas e microbiológicas do solo em função da aplicação superficial de fitomassas de acácia, leucena, bracatinga e guandu;
- Verificar, dentre as leguminosas avaliadas, aquela que apresenta melhor produtividade e qualidade de fitomassa;
- Determinar o potencial de substituição do uso de fertilizantes NPK por aplicação de fitomassa de leguminosas;
- Avaliar a produtividade do café em função da aplicação da fitomassa de leguminosa.

4. METODOLOGIA

A presente dissertação está embasada em parte dos dados gerados pelo projeto “Arborização como componente da sustentabilidade da lavoura cafeeira”, subprojeto intitulado “Eficiência de aleias de leguminosas nativas como reciclador de nutrientes e controlador natural de doenças em lavouras de café”, Código: 7.1.00.256.01. Esse projeto foi iniciado no ano de 2000, em São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais, na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), executora do projeto.

4.1. O SOLO E O CLIMA DA REGIÃO

O ensaio foi realizado em Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) (EMBRAPA, 1999), textura muito argilosa. A latitude local é de 20,91° (S), a longitude de 46,99° (W) e a altitude da região varia de 894 a 1183 metros. O clima na região é classificado com Cwa, mesotérmico, pelo método Koeppen, com temperatura média anual é de 20,6°C, com mínima média de 15,5°C e máxima média de 27,5°C, com índice pluviométrico anual de 1690 mm,

4.2. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O estudo avaliou o efeito da aplicação de fitomassa de leguminosas arbóreas na qualidade superficial de um Latossolo Vermelho Distroférico e produtividade de uma lavoura cafeeira. O experimento foi conduzido por um período de oito anos, sendo as amostragens realizadas nas épocas apresentadas na Tabela 4-1.

Tabela 4-1: Relação das épocas de amostragens para cada atributo avaliado no experimento.

Época de amostragem	Análises do solo			Análises do cafeeiro		Análises das leguminosas	
	Físicas	Químicas	Biológicas	Produtividade de grãos	Análise química foliar	Nutrientes na matéria seca	Produção
EP02 - 2002	X	X ¹	X	X		X	X
EP03 - 2003		X	X	X		X	X
EP04 - 2004	X	X	X	X			X
EP05 - 2005		X	X	X	X		X
EP06 - 2006	X	X	X				
EP07 - 2007			X				

¹ Análise inicial de fertilidade do solo;

A análise para caracterização inicial da área experimental foi realizada em 2002, de onde se obteve uma granulometria de 38% de areia; 19,0% de silte e 43,0% de argila (camada de 0-10 cm). A análise química pode ser visualizada na Tabela 4-2.

Com base nesse levantamento inicial e nas classes de interpretação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999) é possível verificar que o solo da área experimental possui deficiências para P, Mg.

Conforme metodologia empregada no mencionado projeto, em 2002 a linhagem topázio foi plantada na parcela, com espaçamento adensado na linha de 3,4x0,5 m, totalizando uma população de 5882 plantas por hectare. Cada parcela foi composta por cinco linhas de café com 30 plantas, sendo a área útil para avaliação dos variáveis relativas ao café (produtividade de grãos e análise química foliar) o conjunto das dez plantas centrais da linha central (Figura 5).

As parcelas de café foram implantadas em 5 áreas equivalentes, separadas pelas faixas de leguminosas, compondo um sistema em aleias. As leguminosas utilizadas no experimento foram o guandu (*Cajanus cajan*), a bracatinga (*Mimosa scabrella*), a leucena (*Leucoena leucocephala*), e a acácia (*Acacia mangium*), cultivadas perpendicularmente ao sentido predominante dos ventos, estando a acácia, de porte maior, localizada na parte mais elevada do terreno e abaixo a bracatinga, leucena, guandu e área testemunha, sem adição de qualquer fitomassa de leguminosa. Essa distribuição foi feita para atender a outros projetos de pesquisa conduzidos concomitantemente nessa mesma área. As aleias possuem 5,0 m de largura por

90,0 m de comprimento, totalizando uma área de 450 m² para cada aleia de leguminosa.

Tabela 4-2: Análise e interpretação da fertilidade inicial do solo da área experimental.

Característica	Valor	Classificação¹
pH em água	5,9	bom
Carbono Orgânico (CO)	1,20 dag kg ⁻¹	médio
Matéria Orgânica do Solo (MOS)	2,1 dag kg ⁻¹	médio
Cálcio trocável (Ca ²⁺)	3,5 cmol _c dm ⁻³	bom
Magnésio trocável (Mg ²⁺)	1,0 cmol _c dm ⁻³	muito bom
Acidez trocável (Al ³⁺)	0,10 cmol _c dm ⁻³	muito baixo
Soma de Bases (SB)	4,8 mmol _c dm ⁻³	Bom
Acidez potencial (H + Al)	2,4 cmol _c dm ⁻³	Bom
CTC efetiva (t)	4,9 mmol _c dm ⁻³	Bom
CTC potencial (T)	7,2 cmol _c dm ⁻³	Médio
Saturação por Alumínio (m)	1,40%	muito baixo
Saturação por Bases (V)	67,10%	Bom
Fósforo (P)	16,2 mg kg ⁻¹ ²	Bom
Potássio disponível (K ⁺)	127,0 mg kg ⁻¹	Bom
Zinco (Zn)	3,70 mg kg ⁻¹	Médio
Cobre (Cu)	8,0 mg kg ⁻¹	Alto
Boro (B)	0,60 mg kg ⁻¹	Bom
Enxofre (S)	14,3 mg kg ⁻¹	
Ferro (Fe)	40,0 mg kg ⁻¹	
Manganês (Mn)	67,7 mg kg ⁻¹	Alto

¹ Classificação baseada na recomendação da 5ª Aproximação da CFSEMG (1999).

² Com base no teor de argila do solo igual a 43%.

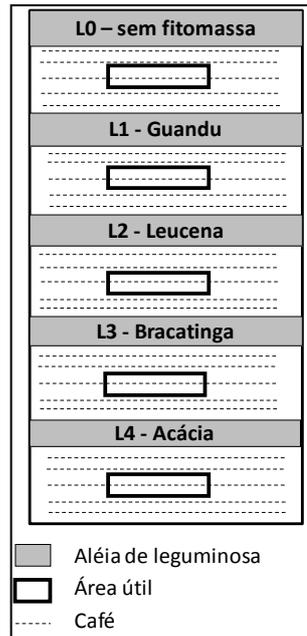


Figura 5: Croqui da área experimental.

As áreas com bracatinga e acácia foram cultivadas cada uma em três linhas com espaçamento de 3,0 m entre plantas e 1,5 m entre linhas, de modo desencontrado. O guandu foi plantado em quatro linhas com espaçamento de 1,20 m entre linhas e com densidade de cinco sementes por metro linear. A leucena foi plantada em três linhas no espaçamento de 1,5 m entre linhas e 0,50 m entre plantas.

As leguminosas foram cortadas e manejadas na mesma época, no final da estação chuvosa uma vez ao ano, sendo adicionadas superficialmente nas linhas do café. Apesar das espécies possuírem ciclos de vida diferentes, a poda e adição da fitomassa no solo em uma mesma época viabilizou a condução do experimento no campo e permitiu que os resíduos de ambas estivessem sujeitos às mesmas condições ambientais durante a mineralização. Também foi adicionado ao café o material depositado sobre as leguminosas (serrapilheira).

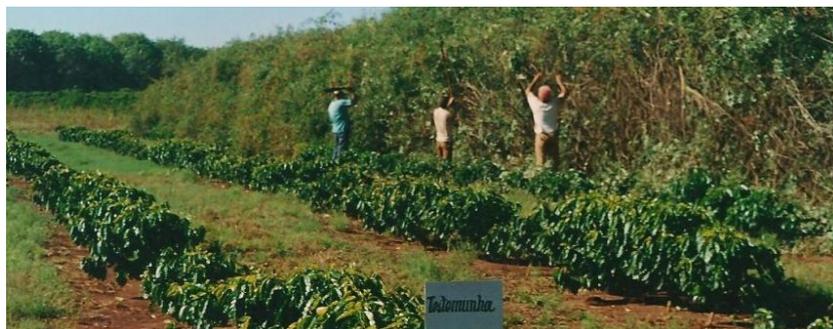


Figura 6: Manejo da poda das leguminosas.

A área total plantada com café corresponde a 7650 m² e com leguminosas, 1800 m², totalizando 9450 m² ou seja, 0,9 hectares.

O cafezal foi manejado conforme recomendação técnica para Minas Gerais (CFSEMG,1999), com correção de toda a área experimental para 70% de saturação por bases com calcário dolomítico. O manejo da fertilidade foi feito com o adubo foliar Viça Café, quatro vezes ao ano, e 600 g de NPK (20:05:20) na cova. Não foram utilizados granulados de solo para controle fitossanitário, uma vez que nessa mesma área experimental outros projetos também estavam em andamento. As leguminosas foram plantadas com uma adubação de 200 g de superfosfato simples por planta, não sendo realizada adubação de manutenção e inoculação de bactérias diazotróficas ou de fungos micorrízicos.

4.3. DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS DE AMOSTRAGEM E ANÁLISES LABORATORIAIS

4.3.1. Análise da fitomassa das leguminosas

O procedimento adotado para avaliação qualitativa e quantitativa da fitomassa das leguminosas testadas envolveu a retirada de quatro amostras de fitomassa depositada sob as aleias, utilizando um quadrado com área de 0,25 m² (Figura 7).



Figura 7: Imagens A e B – coleta de 0,25m² de fitomassa de leguminosa e C – quantificação da produção de fitomassa.

Essas amostras foram pesadas e secas em estufa com circulação de ar forçada, obtendo-se a produção por área de cada leguminosa. Após a secagem do material, foi determinada a composição química da fitomassa (N, P, K, Mg, Zn, Fe, Mn, Cu, B

e S), sendo os extratos da matéria seca preparados de acordo com Hunter (1975). O teor de nitrogênio foi determinado pelo método Kjeldahl modificado; fósforo e boro por colorimetria (azul de molibdênio e curcumina, respectivamente); potássio por fotometria de chama; cálcio, magnésio, cobre, zinco, manganês e ferro por espectrofotometria de absorção atômica (SARRUGE; HAAG, 1974).

4.3.2. Análises dos atributos químicos do solo

Para análise química do solo foram retiradas, com trado holandês, amostras da camada superficial do solo (0-10 cm de profundidade) nas parcelas, em cinco pontos sob a projeção da copa do café da área útil, perfazendo um total de 15 amostras/ano.

As amostras foram homogeneizadas, acondicionadas em saco plástico e levadas ao laboratório de Fertilidade do solo do Departamento de Ciência do solo da UFLA, onde foram obtidos os atributos da fertilidade do solo, conforme Tabela 4-3.

Tabela 4-3: Metodologia seguida para análises dos atributos químicos do solo.

Atributo	Método	Autor
pH	Em água, relação 1:2.5	McLean (1982)
Al ³⁺	Extração com KCl determinadas por titulometria com EDTA 0,025N	Lanyon e Heald (1982)
P K ⁺	Solução extratora Mehlich I (HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N) seguida de colorimetria e fotometria de chama	EMBRAPA (1999)
S	Turbidimetria	Blanchar, Rehm e Caldwell (1965)
B	Extração em água quente e fotocolorimetria	Reisenauer, Walsh e Hoeft (1973)
Cu, Mn ²⁺ , Zn ²⁺	Extração Mehlich I (HCl 0,05N + H ₂ SO ₄ 0,025N) e espectrofotometria de absorção atômica	Rajj et al. (1987)

Onde: Fósforo (P) e Potássio disponível (K⁺), Zinco (Zn²⁺), Manganês (Mn²⁺), Cobre (Cu), Boro (B) e enxofre (S); Alumínio trocável (Al³⁺).

Os valores de CTC efetiva, CTC a pH 7,0, soma de bases, saturação de bases e de alumínio foram obtidos de maneira indireta através dos valores de acidez potencial, alumínio trocável e bases trocáveis, conforme estabelecido pela CFSEMG (1999).

4.3.3. Análises dos atributos físicos do solo

Para as análises dos atributos físicos do solo foram obtidas amostras de solo na projeção da copa (densidade do solo; volume total de poros; macro e microporosidade; umidade de saturação; umidade atual; Ksat20).

Para determinação da Umidade Atual do solo foram coletadas amostras de solo com estrutura deformada e acondicionadas em latas de alumínio devidamente numeradas e de peso conhecido. Após pesagem do conjunto com amostras de solo úmido, a amostra foi levada à estufa (105 - 110^oC), até obtenção de peso constante (UHLAND, 1951), calculando-se a umidade.

A umidade de saturação (USAT) do solo, conforme metodologia descrita pela Embrapa (1999) e a porosidade total foi obtida pela relação matemática entre as densidades do solo e de partículas (EMBRAPA, 1999). Segundo essa metodologia, obtém-se a densidade do solo a partir do peso seco em estufa a 105^oC da amostra de solo indeformada, retiradas pelo cilindro de Umland, e a densidade de partícula pelo método do balão volumétrico com álcool etílico.

A obtenção da microporosidade (porosidade capilar) e macroporosidade (porosidade não capilar) foi obtida seguindo o método descrito por Grohmann (1960) e Oliveira (1968), usando unidades de sucção, onde as amostras de solo, com estrutura indeformada, foram submetidas à tensão de -0,006 MPa. A microporosidade do solo foi obtida a partir da porcentagem de água (expressa em volume) retida nas amostras após equilíbrio, e a macroporosidade obtida pela diferença entre a porosidade total e a capilar.

4.3.4. Análises dos atributos microbiológicos do solo

Para os atributos microbiológicos do solo foram retiradas amostras em cada parcela sob a projeção da copa do café, totalizando 15 amostras, a uma profundidade de 0-20 cm. Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas sob temperatura de 5°C e processadas dentro do prazo máximo de 20 dias após a coleta.

A determinação das propriedades biológicas inclui: (a) o cálculo da biomassa carbono, pelo método da fumigação incubação (JENKINSON&POULSON, 1976), considerando a constante (Kc) de proporção da biomassa microbiana convertida em CO₂ igual a 0,40 (GHANI & WARDLE, 2001, *apud* ANDREA &HOLLWEG, 2004); (b) atividade microbiana, por titulação com captura de CO₂ por NaOH; (c) quociente metabólico, (qCO₂), obtido através da razão entre a respiração basal do solo por unidade de carbono da biomassa e (d) quantificação de esporos de fungos micorrízicos arbusculares com identificação da espécie e posterior cálculo dos Índices de Riqueza Margalef e Diversidade Shannon-Wiener, segundo as equações 4.1 e 4.2 respectivamente.

$$D_a = \frac{s-1}{\ln(N)} \quad \text{Equação 4.1}$$

$$H' = - \sum (p_i \times \ln(p_i)) \quad \text{Equação 4.2}$$

Onde s é o número de espécies; N é o número total de espécies; pi é a proporção da espécie em relação ao número total de espécies encontradas.

Os esporos dos fungos micorrízicos arbusculares foram extraídos pelo método do peneiramento úmido (GERDEMANN; NICOLSON, 1963) em uma amostra de 50mL de solo e separados de fragmentos por centrifugação em água a 3000 rpm durante 3 minutos e em sacarose (45%) a 2000 rpm por 2 minutos. Após extração os esporos foram transferidos para placas e contados com o auxílio de microscópio estereoscópio (40x). Para a caracterização e identificação das espécies, os esporos foram transferidos para lâminas microscópicas montadas em lactofenol e observadas em microscópio composto (400 e 1000x). A classificação taxonômica foi feita segundo as descrições originais (SCHENCK; PEREZ, 1987).

4.3.5. Produtividade e análise foliar do cafeeiro

A avaliação da produtividade de café foi feita de forma manual e nas 10 plantas centrais da linha central da parcela (área útil), a partir do terceiro ano.

Para determinação dos macro e micronutrientes foliares, foram coletadas amostras de folhas nos ramos plagiotrópicos com frutos, uma folha em cada lado da planta, nas 10 plantas centrais da parcela. Foi utilizado o terceiro par a partir do ápice dos ramos, do terço médio da planta. As folhas colhidas foram lavadas em água corrente e em água deionizada e em seguida levadas para secagem a 70°C e moídas. As amostras de folhas foram analisadas segundo os métodos descritos por Bataglia et al. (1983).

4.4. AVALIAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO

A avaliação da fertilidade do solo envolveu métodos de análise do solo associada à classe de fertilidade da 5ª Aproximação para Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (CFSEMG, 1999).

Também foram empregadas técnicas de análise foliar da planta, onde foi verificada a suficiência ou insuficiência dos teores dos nutrientes na planta, uma vez que aumentos no suprimento de nutrientes favorecem o crescimento da planta com reflexos na concentração de macro e micronutrientes nos tecidos vegetais.

Maiores teores de nutrientes no tecido vegetal associado ao crescimento da planta indicam que o manejo e suprimento de nutrientes teve efeito benéfico para a cultura (NOVAIS et al., 2007)

Para este fim, foi empregado o Índice Balanceado de Kenworthy (B%), a partir da equação 4.3, para situações em que a concentração do nutriente na amostra é maior que o teor padrão, e da equação 4.4, nos casos em que a concentração do nutriente na amostra é menor que o teor padrão.

$$I = \frac{(P-100) \times CV}{100} \quad \text{Equação 4.3}$$

$$I = \frac{(100-P) \times CV}{100} \quad \text{Equação 4.4}$$

Onde, P é a porcentagem correspondente da concentração do nutriente na amostra em relação ao teor padrão; CV é o coeficiente de variação e; I é a influência da variação. A interpretação desse índice foi feita conforme 5ª Aproximação para Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (CFSEMG, 1999), indicada na Tabela 4-4.

Tabela 4-4: Faixa de interpretação do índice de Kenworthy para avaliação do estado nutricional do cafeeiro.

%	Faixa de deficiência
17 - 50	Deficiência
50 - 83	Marginal
83 - 117	Adequada
117 - 150	Elevada
150 - 183	Excesso

4.5. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para os atributos relativos à fitomassa das leguminosas (BRA - bracatinga, LEU - leucena, GUA - guandu e ACA - acácia) foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco repetições, sendo esta análise realizada separadamente nos anos de 2002 e 2003.

Para os atributos químicos do solo, o delineamento foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 5X4, com cinco tratamentos, sendo quatro leguminosas (GUA, LEU, BRA e ACA) e uma testemunha (TES), e quatro efeitos das épocas (EP03, EP04, EP05 e EP06), perfazendo um total de 20 tratamentos, em três blocos.

Para os atributos físicos do solo, o delineamento seguido foi DBC em esquema fatorial 5X3, com os cinco tratamentos, três efeitos das épocas (EP02, EP04 e EP06), perfazendo um total de 15 tratamentos, em três blocos.

Para os atributos microbiológicos do solo, o delineamento foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial, 5x5, com cinco tratamentos e cinco efeitos das épocas (EP03, EP04, EP05, EP06 e EP07), perfazendo um total de 25 tratamentos, em três blocos.

Para a análise foliar do café o delineamento foi DBC, sendo analisados os cinco tratamentos para cada parcela dos três blocos no ano de 2005 (EP05).

Com auxílio do programa estatístico R-2.11.1 for Windows, todos os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade dos erros (Shapiro-Wilk), e de homocedasticidade (Bartlett). Quando necessário, os dados foram transformados seguindo a indicação Box-Cox. Tendo sido atendida as exigências do modelo matemático, os dados foram posteriormente submetidos à análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias por Duncan a 5%.

A análise de correlação de Pearson, utilizada como medida de dependência entre os atributos estudados (TRIOLA, 2010), foi estimada por meio das ferramentas estatísticas do Excel 2007, utilizando um nível de significância de 5% observando a época da amostragem. Com o coeficiente de correlação de Pearson (r) foram obtidos também o coeficiente de determinação (r^2).

Adicionalmente e com o objetivo de sintetizar a variação multidimensional dos dados analisados, ordenando-os nos eixos de acordo com suas similaridades (MINGOTI, 2007), a análise dos componentes principais (ACP), via matriz de correlação, foi conduzida utilizando-se o programa PC-ORD (McCune; Mefford, 1995).

Para execução da ACP foram geradas matrizes dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo e da produção de grãos, cuja ANOVA tenha indicado nível de significância igual a 0,001 para a interação entre os fatores.

Na ACP são extraídos os fatores mais relevantes dos dados, descrevendo as interações multivariadas entre as variáveis originais, sintetizando e revelando tendências dos objetos de estudo.

Os eixos x e y são a representação da primeira e segunda componentes principais (CP), comumente utilizadas e construídas pela combinação da correlação entre as variáveis consideradas, e extraídos em ordem decrescente de importância de acordo com sua contribuição para a variação total dos dados (MOITA NETO; MOITA, 1998), podendo ser a primeira componente principal um índice de desempenho global padronizado dos tratamentos em relação às variáveis (MINGOTI, 2007), no presente estudo denominado de índice de qualidade química do solo.

Autovetor (eigenvector) é o valor que representa o peso de cada variável em cada componente principal e funciona como coeficiente de correlação que varia de -1 a

+1. Já os autovalores (eigenvalue) representam a contribuição relativa de cada componente para explicar a variação total dos dados. Por fim, os escores fornecem a composição das CP em relação às amostras (EBERHARDT et al., 2008).

A elaboração do gráfico *Biplot* permite a visualização dos escores e pesos simultaneamente. Nesse gráfico, os atributos são representadas por linhas, sendo seu comprimento proporcional à correlação da variável com a componente principal e, conseqüentemente, com a sua importância na explicação da variância em cada eixo (ALVARENGA; DAVIDE, 1999). E as parcelas são representadas por pontos, de forma que quanto mais próximos, maior a semelhança entre eles.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. PRODUÇÃO DA FITOMASSA PELAS LEGUMINOSAS

O crescimento e desenvolvimento vegetal que definem a produção de biomassa, são funções de aspectos climáticos e edáficos. As diferenças obtidas na qualidade química da fitomassa das leguminosas testadas decorrem de aspectos fisiológicos envolvidos na eficiência em aproveitar os nutrientes do solo e também nas suas demandas nutricionais e capacidade de adaptação às condições ambientais.

A produção de massa seca pelas leguminosas foi avaliada entre 2002 e 2005, no entanto, devido a perda das aleias com bracatinga em 2004, a análise de variância e teste de médias foram realizados desconsiderando os resultados desse ano (Figura 8).

Na média geral anual (Tabela A.1, Apêndice A), foram obtidas diferenças significativas na produção de massa seca entre a leucena e acácia. Em termos absolutos, a ordem de produção de fitomassa foi: leucena ($12,31 \text{ t ha}^{-1}$) > guandu ($11,40 \text{ t ha}^{-1}$) > bracatinga ($9,80 \text{ t ha}^{-1}$) > acácia ($8,94 \text{ t kg ha}^{-1}$), sendo estatisticamente significativas somente as diferenças obtidas entre a produção da leucena e acácia.

Na variação temporal, o guandu, a leucena e a bracatinga apresentaram significativa queda na produção de fitomassa em 2003 e 2005 em relação aos anos iniciais. Em termos percentuais essas quedas foram de 82, 72 e 44%, respectivamente. A área com acácia apresentou menor variação, tendo ocorrido um pico de produção de fitomassa em 2002 ($18,33 \text{ t ha}^{-1}$), retornando a produção inicial nos anos seguintes, cuja média foi de $5,80 \text{ t ha}^{-1}$ (Figura 8).

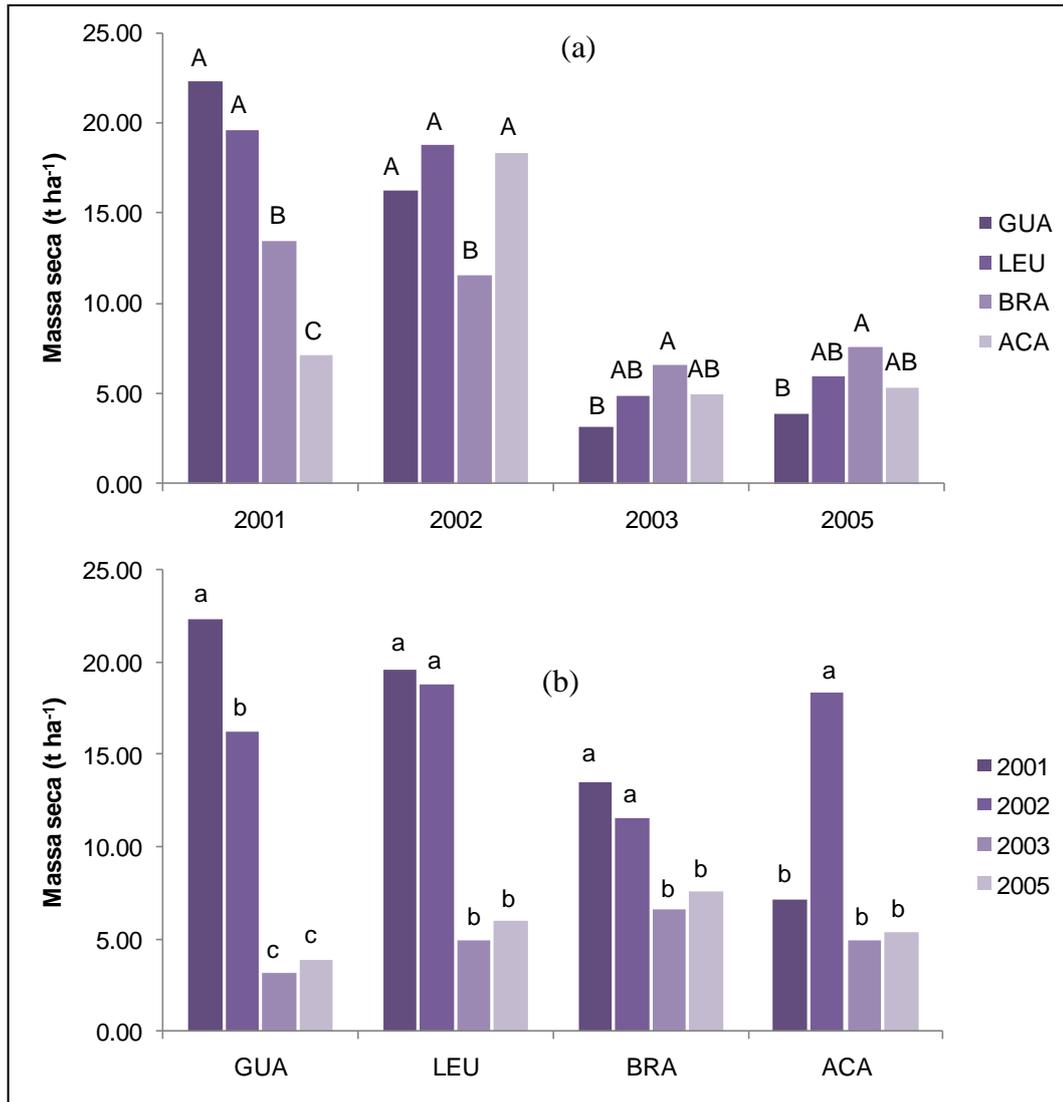


Figura 8: Produção de fitomassa entre as leguminosas para cada ano (a) e variação na produção de fitomassa de cada leguminosa ao longo dos anos (b), S. S. Paraíso, MG.

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan 5% de significância. (GUA - guandu; LEU - leucena; BRA - bracatinga; ACA - acácia).

A queda na produção de massa seca após dois anos de cultivo das leguminosas pode ter sido consequência do manejo adotado das espécies, tanto no que diz respeito à adubação quanto em relação à forma e frequência das podas, que podem ter ocasionado um enfraquecimento das leguminosas, reduzindo sua capacidade de rebrota.

Faria, Soares e Leão (2004) também observaram queda na produção de massa seca pelas leguminosas crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), no Submédio São Francisco. Segundo esses autores o cultivo contínuo das leguminosas no mesmo local, associado ao efeito da sombra do parreiral sobre as leguminosas pode ter sido a causa da queda de produtividade.

Esse efeito danoso do sombreamento também pode ter ocorrido no presente estudo em virtude do crescimento e conseqüente adensamento das aleias ao longo do tempo, o que poderia ser amenizado com um plantio mais espaçado das leguminosas.

Em experimento instalado por Balieiro et al. (2004), no município de Seropédica, RJ, mudas de acácia foram plantadas sobre Argissolo Amarelo com espaçamento de 3m entre linhas e de 1m dentro das linhas, semelhantemente ao estabelecido no presente estudo. Entretanto, o manejo da fertilidade para o cultivo da espécie foi diferente. Enquanto que no presente estudo as leguminosas foram adubadas com 200g de superfosfato simples, sem inoculação de microrganismos, o plantio da acácia pelos autores foi feito com 100g de fosfato de rocha (fonte de fósforo) 10g de FTE (BR -12) (fonte de micronutrientes), tendo sido inoculados nas sementes esporos e hifas de fungos micorrízicos arbusculares (*Glomus clarum* e *Gigaspora margarita*).

No presente estudo a produção de fitomassa da acácia, constando apenas folhas, galhos e serrapilheira alcançou $4,34t\ ha^{-1}$ (mínima) e $18,33t\ ha^{-1}$ (máxima) em 2002 e 2003, respectivamente. Diferentemente, Balieiro et al. (2004) obtiveram uma produção de $37,8t\ ha^{-1}$, fornecendo indícios de que o manejo da acácia possa ter sido a causa da baixa produtividade.

Para o guandu, a produção de massa seca assemelhou-se à obtida em outros estudos instalados sob Latossolo Vermelho-Escuro distrófico, em Lambari, MG, (ALCANTARA et al., 2000) e em Seropédica, RJ, sob Argissolo Vermelho-Amarelo (ALVES et al., 2004).

5.2. ANÁLISES QUÍMICAS DA FITOMASSA

Das análises químicas da fitomassa das leguminosas nos anos 2002 e 2003 (Figura 9) é possível verificar que todas as leguminosas acumularam maiores quantidades de N, Ca e K que os demais nutrientes avaliados. Esse padrão também foi observado por Balieiro et al. (2004), na fitomassa de *Acacia mangium* cultivada em Argissolo Amarelo, em Seropédica, RJ.

De forma geral, é possível verificar maiores concentrações de nutrientes na fitomassa da leucena e menores na acácia, com exceção do fósforo na amostragem de 2002. Analisando a qualidade da fitomassa de guandu (*Cajanus cajan*), cunhã (*Clitoria tematea*), leucena (*Leucaena leucocephala*) e acácia (*Acacia mangium*), nas condições climáticas do sudeste amazônico, Aguiar et al. (2009) obtiveram o mesmo resultado, tendo a acácia apresentado os menores teores de N, P, K e Mg, sendo que, todas as leguminosas apresentaram baixas concentrações de P (variando de 0,51 – 2,83 g kg⁻¹) e Mg (variando de 1,73 – 2,92 g kg⁻¹) e altas de Ca (variando de 13,82 - 17,84 g kg⁻¹). No presente estudo, as concentrações desses nutrientes variaram de forma semelhante, tendo P variado de 0,55 - 1,82 g kg⁻¹, Mg de 1,56 – 2,99g kg⁻¹ e Ca de 8,76 – 17,44g kg⁻¹.

Esse resultado indica que independente da espécie de leguminosa cultivada e das condições edafoclimáticas os nutrientes são assimilados segundo a mesma ordem de necessidade, variando apenas em relação à quantidade.

As Figura 9 e Figura 10 mostram o resultado do teste de média realizado para os macro e micronutrientes em 2002 e 2003, tendo sido excluído da análise os resultados de 2004 uma vez que o tratamento com bracatinga foi perdido.

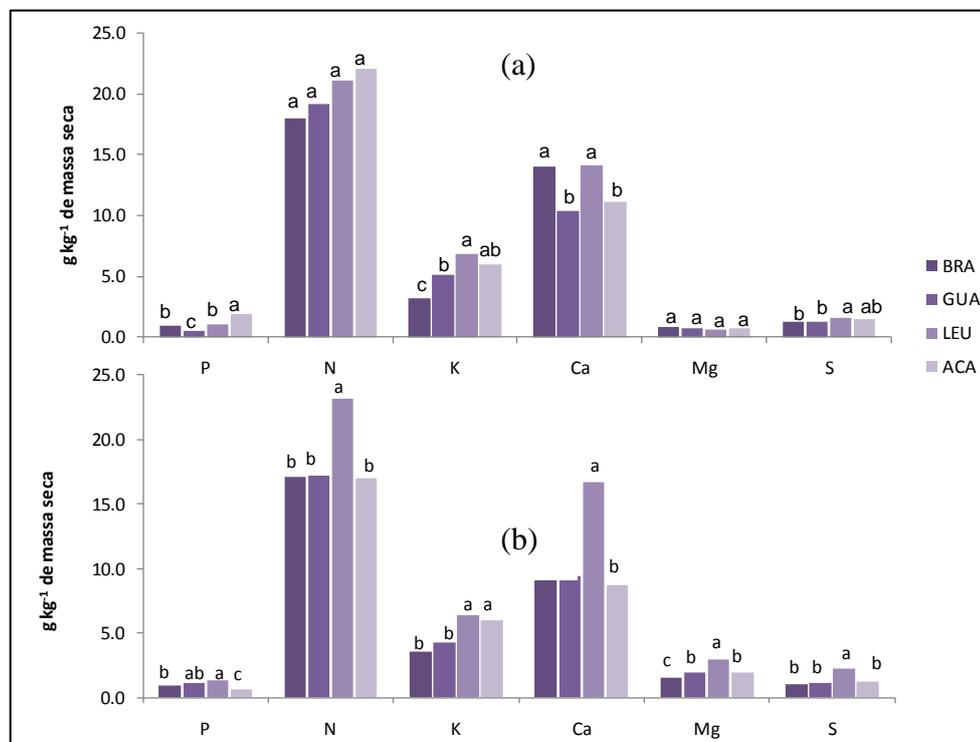


Figura 9: Macronutrientes da fitomassa das leguminosas em 2002 (a) e 2003 (b).

Médias seguidas de letras iguais, por nutriente, não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância. (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia).

Em 2002 foram obtidas diferenças significativas no conteúdo químico foliar entre todas as leguminosas, exceto para N e Mg. Merece destaque o maior conteúdo de P na acácia ($1,85 \text{ g kg}^{-1}$) e menor no guandu ($0,55 \text{ g kg}^{-1}$), apesar dessas leguminosas não terem apresentado diferença estatística na produção de fitomassa, discordando do obtido por Costa et al. (2004), que constatou em seu estudo que o aporte de nutrientes pela serrapilheira possuía forte associação com a produção de fitomassa.

A maior concentração de K foi encontrada na leucena ($6,86 \text{ g kg}^{-1}$), e menor na bracatinga ($3,17 \text{ g kg}^{-1}$). Isso trará reflexo no conteúdo de potássio do solo, uma vez que, segundo Moreira e Siqueira (2006), 2/3 do potássio contido no material orgânico requer apenas transformações físicas, sendo prontamente solúveis em água e, dessa forma, disponíveis para as plantas.

Em relação a 2002, a bracatinga apresentou pouca diferença na concentração de P (passando de $0,92$ para $0,94 \text{ g kg}^{-1}$). A acácia apresentou a menor concentração ($0,59 \text{ g de P kg}^{-1}$ de massa seca), representando uma redução cerca de três vezes ao obtido em 2002. Em oposição, a leucena e o guandu apresentaram aumento na concentração de P, com destaque para o guandu, que apresentou um aumento em mais de 50% na concentração de P, passando de $0,55$ para $1,14 \text{ g kg}^{-1}$, destacando-se juntamente com a leucena das demais leguminosas.

Em 2003, ano em que todas as leguminosas apresentaram queda na produção de fitomassa, a leucena destacou-se na concentração de N, Ca, Mg, S, B e Zn, mostrando mais uma vez ausência de associação entre produção de fitomassa e aporte de nutrientes (Figura 9).

Essa análise evidenciou a variabilidade na capacidade de estoque de nutrientes entre as leguminosas e também ao longo dos anos. Esse comportamento pode ser relacionado a fatores de ordem climática (como precipitação e temperatura), e fisiológica, como taxa de crescimento e demanda nutricional, desenvolvimento do sistema radicular e taxa de retranslocação de nutrientes (KIMARO et al., 2007).

Para os micronutrientes, as análises químicas da fitomassa das leguminosas em 2002 e 2003 (Figura 10) indicam que, de maneira geral, as leguminosas apresentaram altas concentrações apenas para o Mn. Entre os dois anos houve significativa alteração na concentração de Mn, sendo em 2002 maior nas fitomassas da bracatinga ($193,34 \text{ mg kg}^{-1}$), e do guandu ($224,10 \text{ mg kg}^{-1}$) e em 2003 na acácia, que passou de $120,84$ para $237,86 \text{ mg de Mn por kg de massa seca}$.

O Mn tem importante papel no metabolismo das plantas, pois atua em processos de ativação de diferentes enzimas, síntese de clorofila e fotossíntese (FERNANDES et al., 2007).

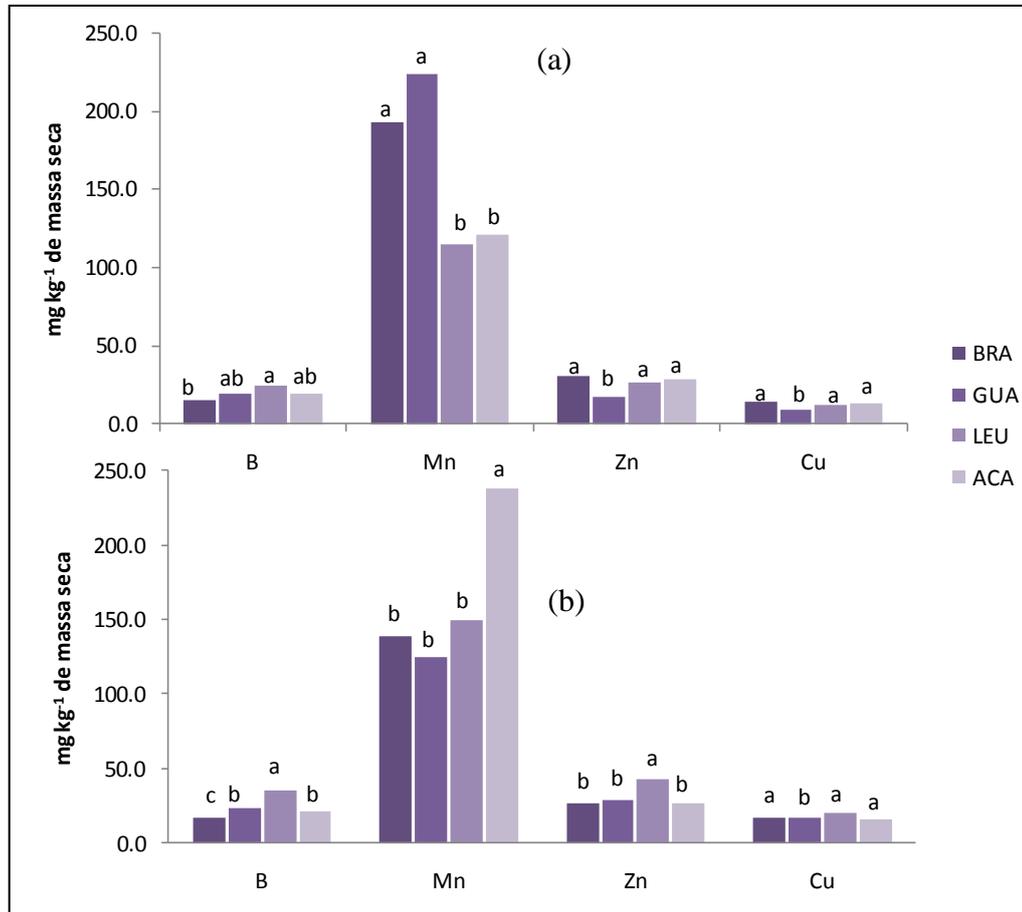


Figura 10: Micronutrientes da fitomassa das leguminosas em 2002 (a) e 2003 (b). Médias seguidas de letras iguais, por nutriente, não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância. (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia).

Todas as leguminosas apresentaram aumento na concentração de B e Cu entre os dois anos. Porém, somente a leucena apresentou aumento na concentração de todos os micronutrientes, fato que pode ser atribuído à significativa queda na produção da fitomassa entre esses dois anos, reduzindo de 137,1 para 70,0 kg de fitomassa por hectare. Apesar de também terem apresentado queda na produção de fitomassa (107,06 para 81,1 kg de fitomassa por hectare, Figura 8), a bracatinga apresentou redução na concentração de Mn e Zn, sendo essas variações de pequena magnitude, ou seja, sem diferença significativa.

Maiores diferenças estatísticas significativas na concentração de B foram encontradas em 2003, sendo maior na leucena (35,13 mg kg⁻¹) e menor na bracinga (16,78 mg kg⁻¹). Ainda em 2003, a maior concentração de Zn foi obtida na leucena (42,31 mg kg⁻¹), destacando-se das demais leguminosas.

Considerando a produção média de fitomassa pelas leguminosas e seus conteúdos químicos foliares, é possível inferir o aporte potencial¹ de nutrientes via decomposição da fitomassa. O maior potencial da leucena e da acácia em fornecer nutrientes ao solo em relação ao guandu e a bracinga, principalmente para o P, Ca e Mg, em 2002, é mostrado na Tabela 5-1.

Tabela 5-1: Aporte potencial de nutrientes via fitomassa das leguminosas em 2002 e 2003, S. S. do Paraíso, MG¹.

2002	Unidade	BRA	GUA	LEU	ACA
P		10,70 c	8,93 c	19,67 b	33,91 a
N		207,56 c	310,90 b	381,60 a	399,67 a
K	kg ha ⁻¹	36,68 c	82,84 b	129,04 a	109,68 a
Ca		162,80 c	168,05 bc	264,93 a	203,86 b
Mg		19,26 d	29,59 c	43,34 a	34,55 b
S		14,61 c	19,67 b	29,67 a	26,76 a
B		174,17 c	312,36 b	451,12 a	358,68 ab
Mn	g ha ⁻¹	2238,90 b	3637,15 a	2168,54 b	2215,00 b
Zn		354,35 b	280,84 c	490,04 a	517,02 a
Cu		166,63 b	149,58 b	230,19 a	247,71 a
2003	Unidade	BRA	GUA	LEU	ACA
P		2,91b	6,21 a	3,61 b	6,63 a
N		83,98 b	112,39 a	54,35 c	113,29 a
K	kg ha ⁻¹	29,68 ab	23,24 b	13,41 c	31,15 a
Ca		43,15 c	61,36 b	30,03 d	82,88 a
Mg		9,81 b	10,32 b	6,13 c	14,66 a
S		6,04 b	6,95 b	3,45 c	10,81 a
B		73,76 b	101,97 b	110,42 c	173,88 a
Mn	g ha ⁻¹	50,83 bc	72,01a	98,90 c	103,69 bc
Zn		1175,03 a	913,01 ab	393,22 c	733,86 b
Cu		128,59 b	178,21 a	89,89 b	207,34 a

Onde: GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracinga; ACA – acácia.

Em relação a 2002, na amostragem de 2003 foi observada significativa redução na quantidade de nutrientes adicionados ao solo via fitomassa das leguminosas, devido

1- No presente trabalho o emprego do termo “potencial” justifica-se pela ausência de análises sobre a dinâmica da decomposição da material orgânico, não sendo possível afirmar a porcentagem dos nutrientes contidos na fitomassa que de fato tornam-se disponíveis a absorção vegetal

não somente a menor concentração foliar, mas também e, principalmente, devido à queda abrupta na produção de massa seca, conforme apresentado anteriormente. Naquele ano, somente a acácia destacou-se das demais leguminosas (Tabela 5-1).

Os resultados obtidos para os teores de N, K, Mg, S, Zn e Cu do guandu em 2001 são semelhantes aos valores encontrados por Alcântara et al. (2000). Todavia, para os teores de P os autores encontraram uma maior concentração cerca de três vezes maior, ou seja, 25,9 contra 8,93 kg ha⁻¹ do presente estudo. Contrariamente, as concentrações de Ca e B foram maiores no presente estudo, iguais a 168,05 contra 70,3 kg ha⁻¹, para o Ca, e 312,36 contra 163,0 g ha⁻¹, para o B.

5.3. ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Os coeficientes de correlação de Pearson entre os atributos físicos podem ser visualizados na Tabela 5-2. É possível verificar que, com exceção da correlação entre microporosidade e VTP, todos os coeficiente mostraram significância a 5%. As correlações negativas obtidas entre Ds e os atributos VTP, macroporosidade e USAT merecem destaque, sendo r igual a -0,922, -0,879 e -0,712, respectivamente.

Tabela 5-2: Coeficientes de correlação r de Pearson para os atributos físicos do solo.

	Ds	Ksat20	Macro	Micro	USAT	VTP
Ds	-					
Ksat20	-0,637	-				
Macro	-0,879	0,709	-			
Micro	0,366	-0,418	-0,670	-		
USAT	-0,712	0,568	0,787	-0,476	-	
VTP	-0,922	0,6609	0,898		0,736	-

Sendo as propriedades físicas do solo fortemente influenciadas pela sua cobertura superficial (DA ROS et al., 1997, apud NASCIMENTO et al., 2005) e grau de decomposição do material orgânico (OLIVEIRA, 2008), era de se esperar que a ANOVA dos atributos físicos apresentassem influência do ano de amostragem, uma vez que foi observada variação significativa na produção de fitomassa pelas leguminosas ao longo dos anos de estudo (Figura 8). Porém, depois de verificada as exigências do modelo matemático, as análises de variância dos atributos físicos do solo foram conduzidas e indicaram não haver interação entre os fatores, isto é, as médias em cada parcela apresentaram independência da época de amostragem.

O teste de médias para os atributos físicos do solo foi feito para cada atributo e pode ser visualizado na Tabela 5-3.

O teste de médias para o coeficiente de saturação (Ksat20) indicou diferenças significativas apenas entre as parcelas com fitomassa de acácia (0,029) e as parcelas testemunhas (0,004) e com fitomassa de guandu (0,008). O alto coeficiente de variação obtido para esse atributo (89,41) indica grande variabilidade das medições e pode ser uma justificativa para a reduzida diferença estatística obtida entre os tratamentos, conforme também destacado por COSTA et al. (2003).

A maior densidade do solo foi obtida nas áreas que não receberam fitomassa de leguminosa (1,38 g cm⁻³), seguida das áreas com guandu (1,29 g cm⁻³), bracatinga (1,20 g cm⁻³), leucena (1,18 g cm⁻³), e acácia (1,10 g cm⁻³). É possível atribuir esse efeito na densidade ao maior conteúdo de matéria orgânica do solo nas áreas que receberam fitomassa de leucena e bracatinga, apesar da análise de Pearson não ter indicado correlação significativa entre esses atributos (Tabela 5-3). Silva et al. (2008) ao avaliar os atributos físicos de um Argissolo Vermelho sob manejo convencional e plantio direto também não observaram correlação significativa entre o teor de MOS e a densidade do solo.

Tabela 5-3: Valores médios das variáveis físicas do solo – coeficiente de saturação (Ksat20); densidade do solo (Ds); macro e microporosidade; umidade de saturação (USAT) e volume total de poros (VTP) para cada tratamento. S. S. do Paraíso, MG¹.

	Ksat20	Ds (g cm⁻³)	Macroporos (%)²	Microporos (%)²	USAT (%)	VTP (%)
TES	0,004 b	1,38 a	19,44 (38,1)	b 31,56 (61,9) c	27,36 c	51 d
GUA	0,008 b	1,29 b	21,07 (38,8)	b 33,25 (61,3) abc	35,06 b	54,24 c
LEU	0,016 ab	1,18 cd	23,43 (40,3)	b 34,66 (59,7) a	39,78 a	58,09 ab
BRA	0,018 ab	1,2 c	23,59 (41,0)	b 33,87 (58,9) ab	40,2 a	57,51 b
ACA	0,029 a	1,1 d	28,40 (46,7)	a 32,43 (53,3) bc	44,05 a	60,83 a
C.V. (%)	89,41	6,88	18,97	5,36	12,13	5,49
<i>Média</i>	<i>0,015</i>	<i>1,23</i>	<i>23,19</i>	<i>33,15</i>	<i>37,29</i>	<i>56,33</i>

¹ Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.

² Valores entre parênteses indicam a proporção em relação ao volume total de poros (VTP). Onde: GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia.

Com exceção das áreas que receberam fitomassa de acácia, todas as demais apresentaram a mesma proporção de macroporos (Tabela 5-3). Já para porcentagem de microporos, em relação às áreas testemunhas (31,56% de microporos) foi verificada diferença significativa nas áreas tratadas com fitomassa de

leucena e bracatinga, iguais a 34,66% e 33,87%, respectivamente. Conforme discutido por Klein e Libardi (2002), esse resultado afeta o comportamento físico-hídrico do solo, pois microporos são os responsáveis pela retenção e armazenamento da água no solo enquanto os macroporos são responsáveis pela aeração e maior contribuição na infiltração de água.

A umidade de saturação foi menor nas áreas testemunhas em relação a todas as demais áreas. Apesar de não haver diferenças estatísticas significativas com aquelas manejadas com acácia, leucena e bracatinga, as áreas com fitomassa de acácia apresentaram a maior umidade de saturação (44,05%).

As áreas testemunhas e com fitomassa de guandu apresentaram as menores porcentagens de VTP, sendo de 51% e 54 %, respectivamente. No outro extremo, as áreas com fitomassa de acácia e leucena apresentaram as maiores porcentagens, 60,83 e 58,09%, respectivamente. A relação inversamente proporcional entre densidade do solo e volume total de poros já era prevista pelo elevado coeficiente de Pearson ($r = -0,922$) e obtido por outros autores (CAVENAGE et al., 1999).

Tabela 5-4: Produção de Fitomassa, S. S. do Paraíso, MG¹.

C.V. =13,72 %	Produção de massa seca de fitomassa (t ha ⁻¹)					
	Ano	Guandu	Leucena	Bracatinga	Acácia	Média
	2001	22,32 aA	19,57 aA	13,48 aB	7,12 bC	15,62 a
	2002	16,23 bA	18,80 aA	11,58 aB	18,33 aA	16,23 a
	2003	3,16 cB	4,90 bAB	6,58 bA	4,94 bAB	4,89 b
	2005	3,88 cB	5,96 bAB	7,57 bA	5,34 bAB	5,69 b
	Média	11,40 ab	12,31 a	9,80 ab	8,94 b	10,61

¹ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas (variação entre leguminosas para um mesmo ano) e minúsculas nas colunas (variação entre anos para a mesma leguminosa), não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância. (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia).

Apesar da acácia ter apresentado a menor média na produção anual de fitomassa em relação à leucena (90,80 e 106,08 kg ha⁻¹, respectivamente), ambos os tratamentos apresentaram reduzida densidade do solo, possivelmente devido ao acúmulo prolongado da fitomassa da acácia, o que permite inferir que esta leguminosa apresenta uma menor velocidade de decomposição (Oliveira et al.,

2008), conforme também observado em estudo conduzido por Moura et al. (2010) e por Balieiro et al. (2004), onde, após 5 anos de plantio de acácia, a elevada quantidade de serrapilheira acumulada sobre o solo ($12,7 \text{ t ha}^{-1}$) confirma a baixa velocidade de decomposição desse resíduo.

Em outros estudos, verificaram-se variações dos valores para a relação C/N das leguminosas testadas, sendo de 30,3 para a fitomassa da acácia (GARAY et al., 2003) e de 17 (AQUINO, 1996; ALCANTARA et al., 2000) e 14 (SILVA, 1992), para o guandu e leucena, respectivamente.

Seguindo o mesmo raciocínio, verifica-se que, apesar da bracatinga e do guandu terem apresentado a mesma produção de fitomassa ($97,93$ e $98,82 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente), a densidade do solo foi menor nas áreas manejadas com fitomassa de bracatinga ($D_s = 1,20 \text{ g cm}^{-3}$ contra $1,29 \text{ g cm}^{-3}$ para o guandu), permitindo inferir que o guandu é mais rapidamente decomposto.

No presente estudo, todas as áreas, com e sem fitomassa de leguminosa apresentaram VTP maior que 50%, proporção considerada adequada para a produção agrícola (KIEHL, 1979 apud CAVENAGE et al., 1999). As áreas testemunhas apresentaram-se no limite dessa proporção, com VTP igual a 51%, majoritariamente representado pelos microporos (62% do total de poros). Nos solos onde predominam os microporos o movimento da água e do ar é dificultado, diminuindo, dessa forma, a drenagem interna do solo (CAVENAGE et al., 1999).

5.4. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A interpretação dos resultados de análise de solos foi feita com base nas classes de fertilidade propostas pela CFSEMG (1999). Convém ressaltar que essas classes foram estabelecidas sem considerar o tipo de solo, clima, cultura² ou sistema de manejo e, portanto, utilizadas apenas para diferenciar a qualidade química das glebas, complementando os resultados das análises estatísticas.

Na Tabela 5-5 estão indicados os coeficientes Pearson de correlação linear (r) significativos a 5% (TRIOLA, 2010), entre todos os atributos químicos do solo. Das correlações significativas, destacam-se aquelas obtidas entre o teor de MOS e os

² Somente as classes de fertilidade da CFSEMG (1999) para o P e K consideram as exigências específicas do cafeeiro.

atributos soma de bases, cálcio e potássio trocável, CTC efetiva e potencial, e fósforo disponível. A partir do coeficiente de correlação (r) obtém-se o coeficiente de determinação (r^2), de onde se verifica que 26,1% do aumento da CTC potencial e 24,8% da CTC efetiva é explicada pelo aumento da MOS. Esse resultado concorda com o obtido por Bayer e Mielniczuk (2008), que verificaram que em solos tropicais e subtropicais a CTC da MOS pode representar grande percentual da CTC total do solo.

A correlação positiva significativa entre o teor de P disponível e a MOS ($r = 0,30$), é de extrema importância para solos com alto grau de intemperismo, onde o fósforo encontra-se na forma inorgânica e não lábil (SILVA & MACHADO, 2007). Esse efeito pode ser atribuído não só ao conteúdo de fósforo da fitomassa das leguminosas, mas também à complexação de Al^{3+} pelos ácidos orgânicos (FARIA; SOARES; LEÃO, 2004; PAULO et al., 2006; PAVIANTO; ROSALEM, 2008), reduzindo a formação de fosfato de alumínio.

Adicionalmente, a maior cobertura do solo, com efeitos na umidade e temperatura do solo, favorece a ação dos microrganismos, que atuam tanto na disponibilização como na aquisição do P através de mecanismos físicos e químicos (MOREIRA, SIQUEIRA, 2006).

Ao contrário do obtido por Teixeira et al. (2003), os teores de cobre, manganês e zinco não foram afetados pelo conteúdo de matéria orgânica, considerada uma das principais fontes desse nutrientes no solo.

Tabela 5-5: Coeficientes de Pearson (r) para correlações significativas entre as variáveis químicas do solo.

	Al+H	Al	B	Ca	Cu	T	P	K	m	Mg	Mn	MOS	pH	Pr	S	V	SB	t	Zn
Al+H	-	0,754		-0,337		0,710	0,326	0,486	0,597				-0,851	0,362		-0,714	-0,270		
Al	0,754	-	-0,274	-0,747	-0,267				0,933	-0,323	-0,384		-0,885			-0,891	-0,700	-0,555	-0,337
B		-0,274	-	0,450	0,447	0,286	0,362		-0,300		0,288					0,269	0,409	0,404	0,547
Ca	-0,337	-0,747	0,450	-	0,318	0,402	0,448	0,337	-0,871	0,448	0,379	0,461	0,666		-0,304	0,854	0,968	0,933	0,595
Cu		-0,267	0,447	0,318	-				-0,314	0,269	0,825			-0,360	0,274	0,281	0,345	0,331	0,457
T	0,710		0,286	0,402		-	0,614	0,745		0,389		0,511	-0,319	0,338			0,486	0,612	0,365
P	0,326		0,362	0,448		0,614	-	0,421			-0,280	0,325		0,672			0,435	0,502	0,637
K	0,486			0,337		0,745	0,421	-		0,257		0,305		0,275			0,416	0,504	0,263
m	0,597	0,933	-0,300	-0,871	-0,314				-	-0,466	-0,438		-0,856			-0,948	-0,854	-0,752	-0,370
Mg		-0,323		0,448	0,269	0,389		0,257	-0,466	-			0,316			0,507	0,649	0,672	
Mn		-0,384	0,288	0,379	0,825		-0,280		-0,438		-		0,404	-0,558		0,429	0,378	0,340	0,267
MOS				0,461		0,511	0,325	0,305				-					0,440	0,498	
pH	-0,851	-0,885		0,666		-0,319			-0,856	0,316	0,404		-	-0,360	-0,321	0,911	0,622	0,494	
Pr	0,362				-0,360	0,338	0,672	0,275			-0,558		-0,360	-					0,287
S				-0,304	0,274								-0,321		-	-0,255			
V	-0,714	-0,891	0,269	0,854	0,281				-0,948	0,507	0,429		0,911		-0,255	-	0,843	0,750	0,380
SB	-0,270	-0,700	0,409	0,968	0,345	0,486	0,435	0,416	-0,854	0,649	0,378	0,440	0,622			0,843	-	0,983	0,578
t		-0,555	0,404	0,933	0,331	0,612	0,502	0,504	-0,752	0,672	0,340	0,498	0,494			0,750	0,983	-	0,582
Zn		-0,337	0,547	0,595	0,457	0,365	0,637	0,263	-0,370		0,267			0,287		0,380	0,578	0,582	-

Células em negrito indicam correlação negativa entre os atributos, enquanto que os valores ausentes indicam correlação não significativa ao nível de 5% de significância. Onde: Fósforo (P), Potássio disponível (K), Cálcio trocável (Ca) e Magnésio trocável (Mg), Zinco (Zn), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Boro (B) e enxofre (S); Alumínio trocável (Al); Acidez potencial (Al+H); Soma de bases (SB); Capacidade de Troca Catiônica potencial (T) e efetiva (t); Saturação por bases (V); Saturação por alumínio (m) e Matéria orgânica do solo (MOS).

Depois de verificada a homogeneidade dos resíduos e das variâncias, e realizadas as transformações necessárias, a análise de variância foi conduzida para todos os atributos estudados. Foi obtida interação significativa ($p < 0,05$) entre os fatores época de amostragem e espécie de leguminosa para todos os atributos indicativos da fertilidade do solo, com exceção dos teores de Mg, P-residual, B e CTC potencial. Todos os resultados podem ser visualizados nas Tabelas A.3 à A.7 do Apêndice A, sendo a discussão realizada somente para os atributos químicos do solo considerados de maior relevância.

5.4.1. Matéria orgânica do solo

Resultante da deposição natural de resíduos vegetais e animais ou por adubação orgânica (estercos, compostos orgânicos preparados, adição de resíduos vegetais), a matéria orgânica influi na qualidade química, física e microbiológica do solo (KANG, 1993). O efeito do manejo da fitomassa das leguminosas sobre o teor de MOS pode ser vinculado à produção de fitomassa e também à dinâmica da decomposição do material vegetal, atrelado a sua qualidade química (MENDONÇA; STOTT, 2010). Porém, como não foram realizadas as análises para determinação da relação C/N, celulose:N, lignina:N e (lignina+polifenol):N, o presente estudo será embasado nos resultados de produção de fitomassa, bem como resultados obtidos por outros autores.

Considerando as parcelas, a média geral do teor de MOS ao longo dos anos (Tabela A.4) foi maior em 2006 ($2,80 \text{ dag kg}^{-1}$) e menor em 2003 ($1,89 \text{ dag kg}^{-1}$). Em relação às leguminosas, a média geral de MOS foi maior nas parcelas com leucena ($2,86 \text{ dag kg}^{-1}$) e bracinga ($2,54 \text{ dag kg}^{-1}$) e menor naquelas onde não houve adição de fitomassa ($1,80 \text{ dag kg}^{-1}$).

Avaliando o efeito dos anos dentro das leguminosas (Figura 11), foi verificado que as áreas com fitomassa de guandu apresentaram aumento significativo no teor de MOS ao longo dos quatro anos, com aumento de 125% entre 2003 ($1,47 \text{ dag kg}^{-1}$) e 2006 ($3,30 \text{ dag kg}^{-1}$). Apesar da leucena e do guandu terem fornecido a mesma quantidade de fitomassa em todos os anos considerados, com média geral de $12,31$ e $11,40 \text{ t ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 8), nas áreas com fitomassa de leucena foi

observado uma oscilação anual no teor de MOS ao longo do tempo, tendo sido maior nos anos 2004 (3,37 dag kg⁻¹) e 2006 (3,57 dag kg⁻¹). O efeito do fator ANO (épocas de amostragem) sobre o conteúdo de MOS dos tratamentos com leucena e guandu pode ser atribuído ao seu acúmulo entre uma avaliação e outra (FARIA; SOARES; LEÃO, 2004), decorrente dos diferentes tempos necessário para a decomposição da fitomassa das leguminosas (MENDONÇA; STOTT, 2010), sendo, aparentemente, menor para a fitomassa da leucena, cuja relação C/N igual a 14 é menor em relação ao guandu, igual a 17 (SILVA, 1992; AQUINO, 1996; ALCANTARA et al., 2000).

Nas áreas testemunhas, a MOS manteve-se baixa e sem diferenças estatísticas em 2003 (1,10 dag kg⁻¹) e 2004 (1,33 dag kg⁻¹), elevando-se em 2005 (2,60 dag kg⁻¹) ano em que todas as parcelas apresentaram o mesmo teor de MOS (Figura 11). Esse aumento pode ser consequência da decomposição da fitomassa do próprio cafeeiro, pois, sendo uma espécie perene, o acúmulo de matéria orgânica no solo com o decorrer do tempo é favorecido, em função de fatores como menor revolvimento da camada arável, maior entrada de biomassa vegetal oriunda da queda natural de folhas, galhos, ramos e frutos, e maior proteção do solo contra erosão. Silva et al. (2007) avaliaram a influência do bagaço de cana, casca de café, palha de Buffel como cobertura morta sobre características do solo e verificaram que o tratamento com casca de café, em função da sua relação C/N igual a 28, apresentou efeito mais benéfico na qualidade química do solo que os outros tratamentos.

Em 2006, a área manejada com fitomassa de acácia e bracatinga igualou-se à área testemunha. Na interação dos fatores, não foram obtidas diferenças significativas entre o teor de MOS ao longo dos anos de amostragem para esses dois tratamentos. Apesar da bracatinga ter sido replantada em 2004, seu rápido crescimento (EMBRAPA, 2010) garantiu a continuidade do tratamento, não tendo sido observados efeitos sobre a MOS.

Com base nas classes de interpretação da fertilidade (CFSEMG, 1999), nenhum dos tratamentos apresentou teores adequados de MOS, ou seja, acima de 4,01 dag kg⁻¹, estando todos os tratamentos dentro da classe de *médio* conteúdo de MOS (entre 2,00 e 4,00 dag kg⁻¹), com exceção dos tratamentos testemunha e com fitomassa de guandu, ambos classificados na classe de *baixo* conteúdo de MOS (entre 0,71 e 2,00 dag kg⁻¹), em 2003 e 2004.

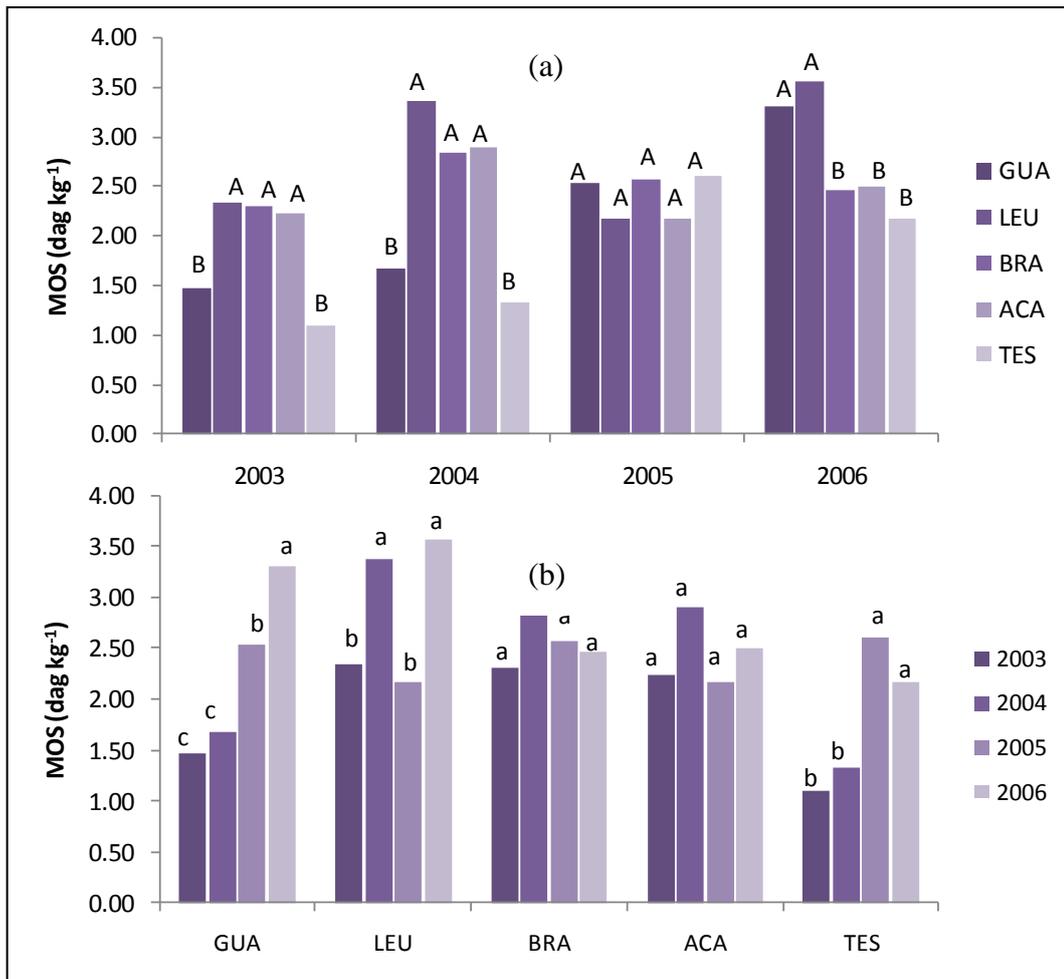


Figura 11: Variação do teor de matéria orgânica do solo (MOS) para cada ano entre as leguminosas (a). Variação do teor de MOS para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b). Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

5.4.2. Capacidade de troca catiônica, pH e acidificação do solo

Ao contrário do obtido por Franchini et al. (2001, apud PAVINATO; ROSOLEM, 2008), a adição de resíduos vegetais não provocou elevação do pH do solo, uma vez que todos os tratamentos promoveram acidez maior que a inicial, (igual a 5,9, conforme Tabela 4-2). O menor pH ocorreu, porém, nos tratamentos testemunha, cuja média de todos os anos foi de 4,98 (Figura 12 e 13 e Tabela A.4, Apêndice A). Ainda com relação a essas áreas, a análise de variância mostrou não haver variação ao longo dos anos (Figura 12), ao contrário dos tratamentos com fitomassa de leguminosa que apresentaram oscilações. O aumento da acidez do solo nas áreas

testemunhas em relação à acidez inicial do solo, pode ser atribuído à remoção das bases devido a absorção vegetal e lixiviação para camadas mais profundas (SILVA et al., 2009), sem haver uma reposição adequada. Também, a nitrificação do nitrogênio contido no adubo amoniacal ou orgânico pode favorecer a acidificação do solo, efeito passível de ser atenuado em condições de maior umidade (provocando menor oxidação) e teor de matéria orgânica (CAMPOS, 2004). Em solos que recebem adubação sem incorporação, como no presente estudo, o aumento de matéria orgânica pode amenizar efeitos negativos da acidificação superficial pela complexação de Al (SALET; ANGHINONI; KOCHHANN, 1999, apud CIOTTA et al., 2002), o que justificaria a menor acidez do solo nos tratamentos com fitomassa de leguminosa em relação à testemunha.

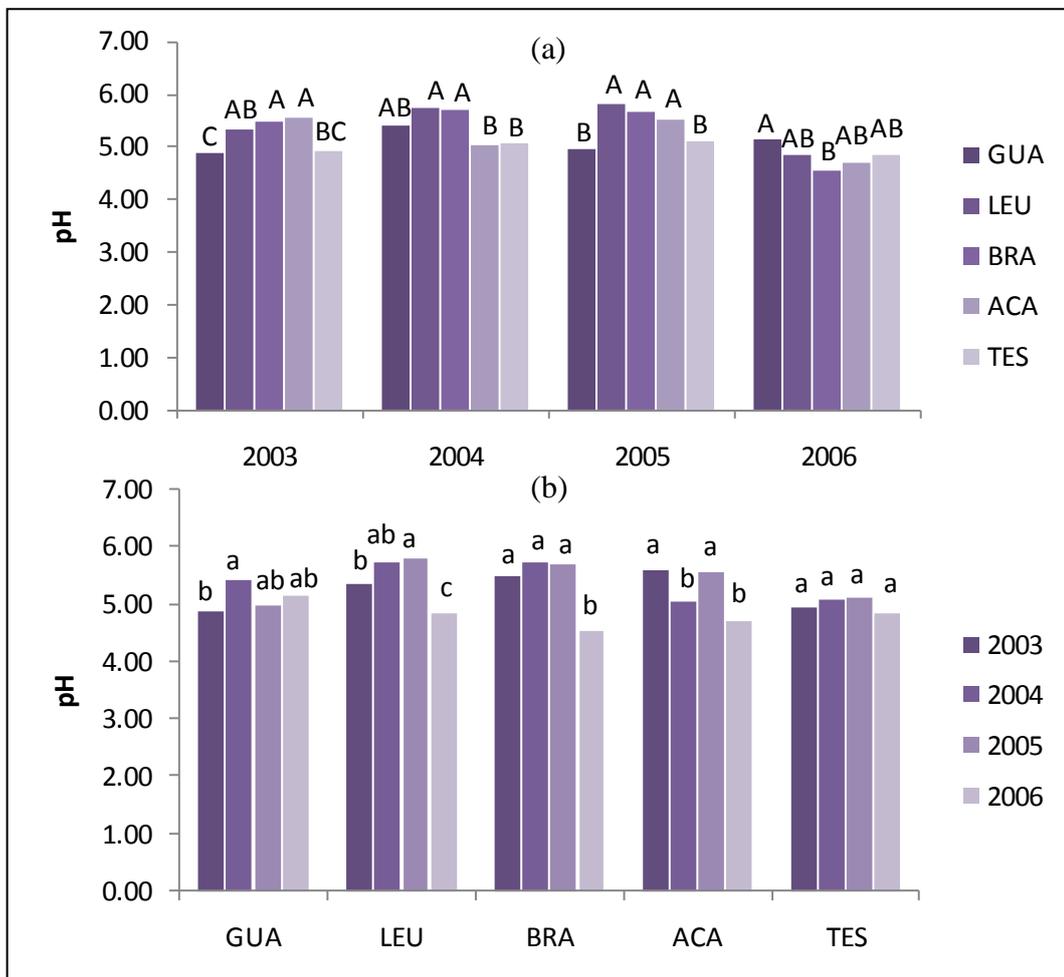


Figura 12: Variação do pH do solo para cada ano entre as leguminosas (a). Variação do pH do solo para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b). Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

As áreas que receberam fitomassa de leucena apresentaram significativa queda no pH do solo de 2005 para 2006, passando de 5,8 para 4,8, consequência do expressivo aumento na acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) e trocável (Al^{3+}) (Figura 13). Esse resultado já era esperado, uma vez que na análise de correlação de Pearson os coeficientes (r) foram, respectivamente, iguais a -0,851 e -0,885, para a acidez potencial e trocável, isto é, 72% da redução do pH é consequência do aumento da acidez potencial não trocável e 78% do aumento da acidez potencial.

Considerando a classificação agrônômica para interpretação da acidez ativa do solo, ao contrário dos demais tratamentos, a área testemunha e a área manejada com fitomassa de guandu são consideradas inadequadas, estando o pH entre 4,5 e 5,4 em todos os anos amostrados, o que traz consequências diretas na fertilidade do solo, uma vez que, apesar de possuir um sistema radicular profundo, as raízes absorventes do cafeeiro localizam-se na camada superficial do solo (MARTINEZ et al. 2003). Conforme análise de Pearson, os efeitos serão refletidos principalmente na CTC efetiva, e saturação por bases, tendo sido obtido um coeficiente de Pearson (r) entre essas variáveis e o pH, iguais a 0,911 e 0,494, respectivamente. Esses resultados exemplificam e ressaltam os efeitos positivos do manejo de cobertura morta de leguminosas, amenizando a acidez do solo decorrente das atividades agrícolas.

Considerando todas as parcelas (Tabela A.4, Apêndice A), a média geral da CTC efetiva (t) foi maior em 2003 ($3,66 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 2006 ($3,84 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e menor em 2004 ($3,26 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e 2005 ($3,37 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$). Considerando todos os anos de amostragem, a média geral de t foi maior nas parcelas com leucena ($4,04 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) e menor naquelas onde não houve adição de fitomassa ($2,62 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$).

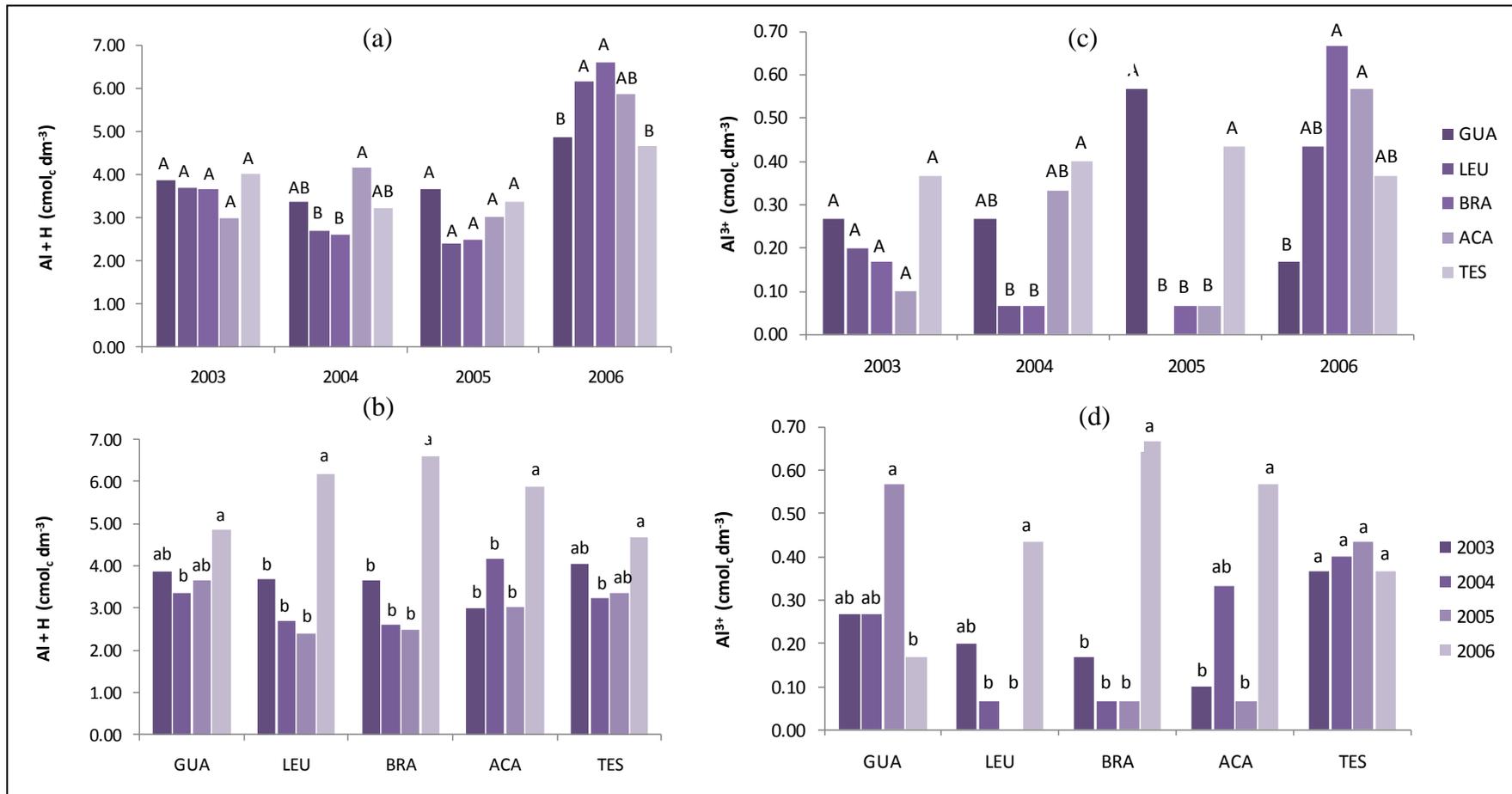


Figura 13: Variação da acidez potencial (a) e trocável (b) para cada ano entre as leguminosas. Variação da acidez potencial (c) e trocável (d) para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos. Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

Avaliando a interação do fator ANO dentro do fator LEG (Figura 14), não foram obtidas diferenças significativas na CTC efetiva das áreas tratadas com fitomassa de leucena. Diferentemente, os tratamentos testemunha e com fitomassa de acácia apresentaram maiores variações. Já para a interação LEG dentro de ANO, observa-se que as áreas que receberam fitomassa de leucena foram as que menos apresentaram semelhanças com as áreas testemunhas. Apenas em 2006 essas áreas apresentaram valores estatisticamente iguais, fato que pode ser atribuído ao teor de MOS alcançado nesse ano na testemunha em virtude do acúmulo da fitomassa do cafeeiro no solo, conforme discutido anteriormente.

Para a CTC efetiva do solo, são considerados baixos os valores entre 0,81 e 2,30 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, e médios entre 2,30 e 4,60 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ (CFSEMG, 1999). Dessa forma, apenas a área testemunha em 2003 e 2004 apresentou baixa atividade do solo.

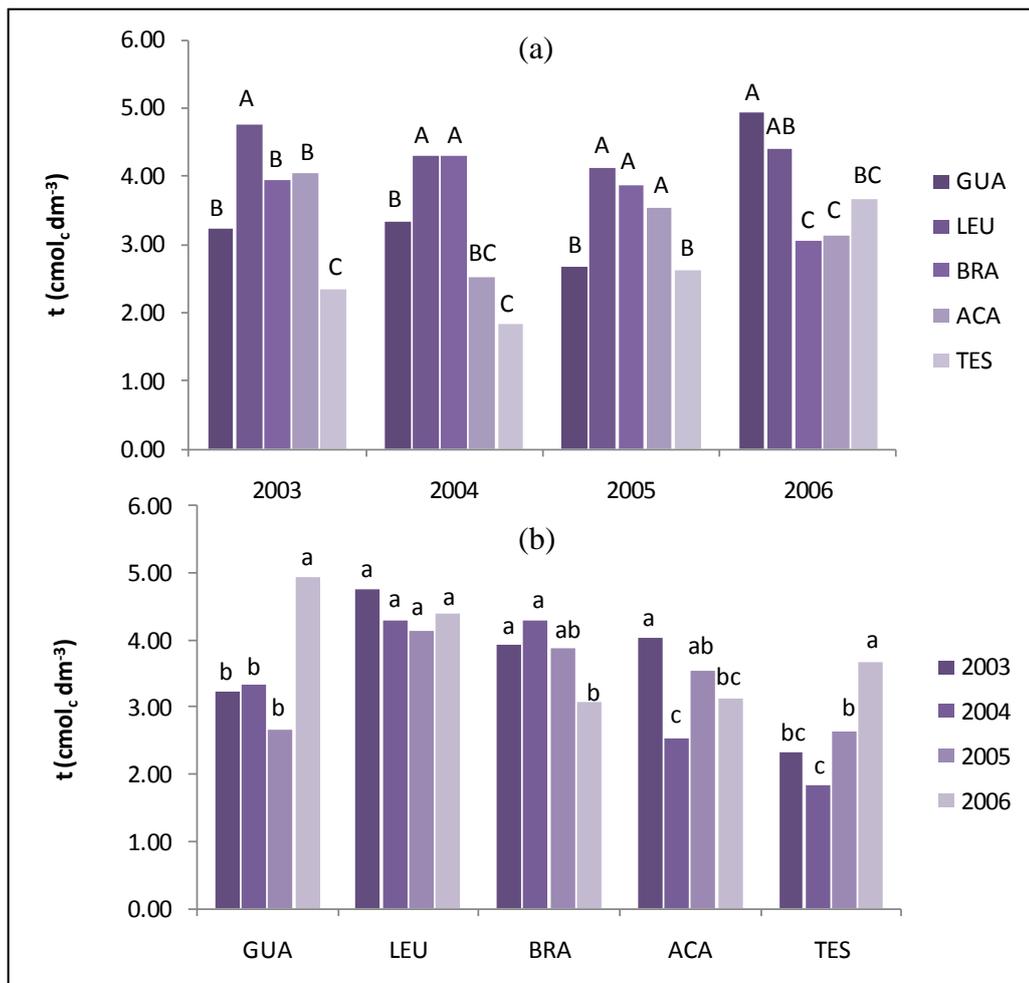


Figura 14: Variação da CTC efetiva (t) para cada ano entre as leguminosas (a). Variação da t para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b). Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância (GUA - guandu; LEU - leucena; BRA - bracinga; ACA - acácia; TES - testemunha).

5.4.3. Saturação por bases

Para a saturação por bases, considerando todas as parcelas, a média geral ao longo dos anos foram maiores e estatisticamente iguais em 2003 (47,77%), 2004 (46,88%), e 2005 (50,63%) e menor em 2006 (37,52%) (Tabela A.4, Apêndice A). Avaliando todos os anos de amostragem, observou-se efeito dos tratamentos com fitomassa de leguminosa em relação à testemunha, sendo a média geral maior nos tratamentos com leucena (54,7%) e bracatinga (49,99%), e menor na testemunha (35,79%). Esse resultado é contrário ao obtido por Paulo et al. (2006), que ao avaliar o efeito da adubação verde com crotalária espectábilis (*Crotalaria spectabilis* Roth.), crotalária júncea (*Crotalaria juncea* L.), guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.), mucuna anã (*Stizolobium deeringeanum* Bort.) e soja IAC 9 [*Glycine max* (L.) Merrill], não obtiveram efeitos na saturação por bases das áreas que receberam adubação verde.

Avaliando a interação do fator ANO dentro do fator LEG (Figura 15) foram obtidas médias constantes na saturação por bases das áreas sem adição de fitomassa. As áreas com fitomassa de leucena e bracatinga apresentaram o mesmo padrão, caracterizado por médias constantes nos três primeiros anos, seguida de significativa queda em 2006.

Na variação obtida para cada época de amostragem (variação dentro do fator ANO), é possível observar que a saturação por bases das parcelas testemunha mantiveram-se abaixo das demais exceto em 2006. As áreas com fitomassa de guandu não apresentaram diferenças significativas na saturação por bases do tratamento testemunha, com exceção de 2004, onde obteve média de 47,63% e a testemunha, 41,23%. Nas áreas com acácia, nos anos de menor saturação por bases (2004 e 2006), não houve diferenças significativas em relação à testemunha.

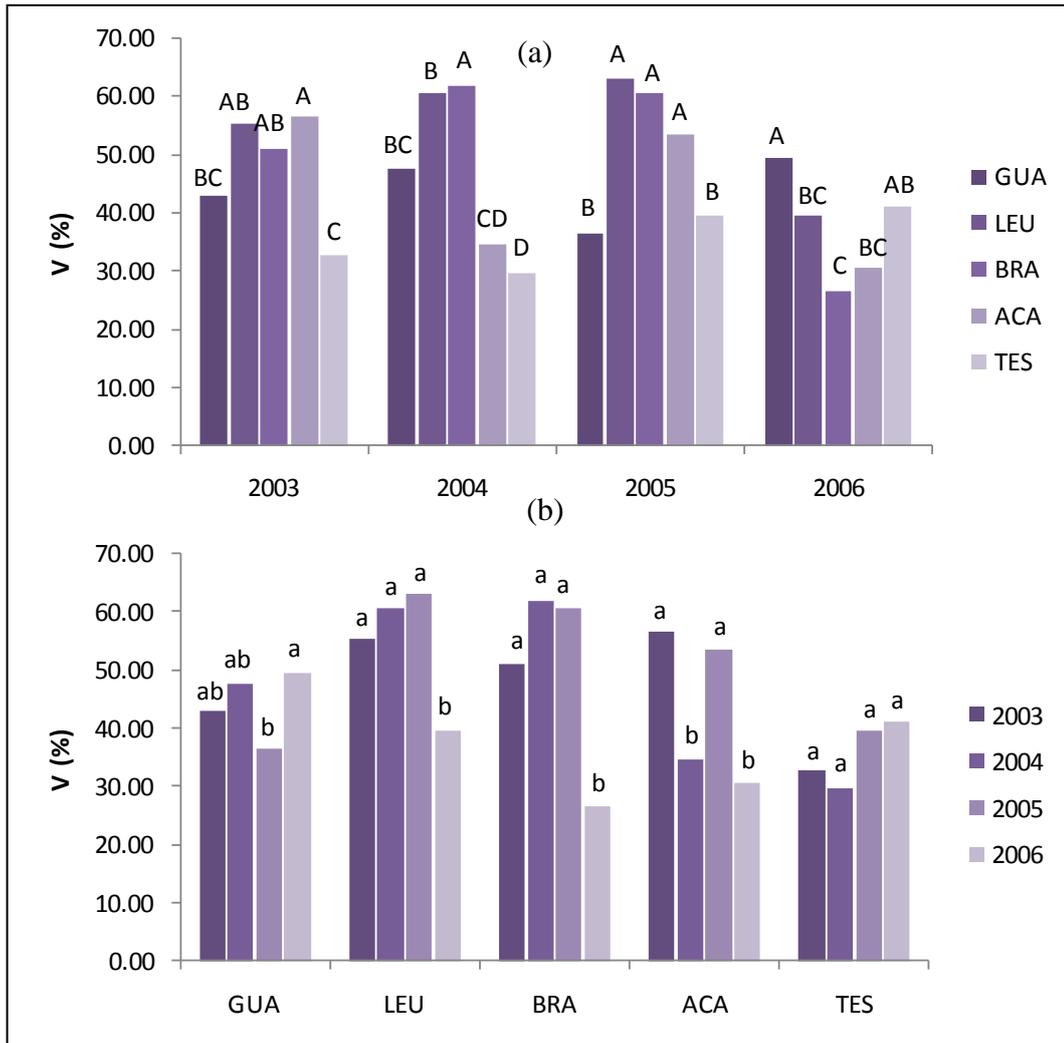


Figura 15: Variação da saturação por bases (V) para cada ano entre as leguminosas (a). Variação da V para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b). Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan a 5% de significância (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

5.4.4. Potássio do solo

Dentre as bases importantes para a nutrição do cafeeiro, destaca-se nesse trabalho o potássio, uma vez que este nutriente está relacionado com os processos de frutificação e de defesa natural das plantas (GUIMARÃES et al., 2002) e após o N, é o nutriente de maior demanda pelo cafeeiro (MALAVOLTA, 1993). Conforme descrito anteriormente no Capítulo 2.3, os efeitos da aplicação da fitomassa das leguminosas sobre o K do solo é atrelado não somente ao aporte via aplicação de fitomassa, mas também a fatores físicos, principalmente em relação à drenabilidade

e erodibilidade, e químicos, no caso, a CTC efetiva do solo (FOLONI, ROSOLEM, 2006).

Considerando todos os anos de amostragem, a média geral de K do solo apresentou diferenças significativas apenas entre as parcelas com fitomassa de leucena ($92,42 \text{ mg kg}^{-3}$) e testemunha ($78,08 \text{ mg kg}^{-3}$), sendo as demais áreas sem diferença estatística significativa (Tabela A.3, Apêndice A). Já para a interação entre os fatores (Figura 16), com exceção de 2005, o teor de potássio do solo foi igual para todos os tratamentos. A ausência de diferenças significativas entre as parcelas com fitomassa de leguminosa e a testemunha pode ser consequência do alto teor de K contido nas folhas e cascas do próprio café. Segundo Embrapa (2011) os teores médios de nutrientes na casca do café são de 17 g kg^{-1} para N, $1,0 \text{ g kg}^{-1}$ para P, 32 g kg^{-1} para K e $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ para o Ca, o que pode proporcionar significativos benefícios na nutrição e aumento no rendimento do cafezal em até 80%, conforme obtido por Costa et al. (2000) ao aplicar 70 t ha^{-1} em lavouras de Conilon em Rondônia.

Contudo, apesar de não terem sido observadas diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos com fitomassa de leguminosa e o tratamento testemunha, para fins agrícolas, as diferenças nos teores médios de K no solo entre as parcelas testemunhas e com guandu em relação às demais (Figura 16) foram suficientes para alterar a classe de fertilidade de K, de *média* para *boa*, conforme recomendação para a cultura do café da CFSEMG (1999).

Assim, a área testemunha é enquadrada na classe de *baixa* fertilidade em 2004 e 2005 (CFSEMG, 1999), enquanto que as áreas manejadas com alguma cobertura morta se enquadraram na classe de *média* fertilidade, com exceção das áreas manejadas com fitomassa de acácia no ano de 2004, cuja concentração de K foi marginal a classe de boa fertilidade ($58,33 \text{ mg kg}^{-3}$).

A partir da análise inicial do solo realizada em 2001 (Tabela 4-2), é possível verificar o empobrecimento do solo em relação a esse nutriente devido não só à absorção pelo café, mas também à perdas por lixiviação, pois em 2001 a área experimental havia sido classificada dentro da classe de *boa* fertilidade, sendo o teor de K disponível igual a $127,0 \text{ mg kg}^{-1}$. Adicionalmente, essa análise permite comprovar o efeito físico protetor da cobertura morta sobre solo, uma vez que nos tratamentos com fitomassa houve menor perda do K presente inicialmente no solo, diminuindo de uma classe de fertilidade.

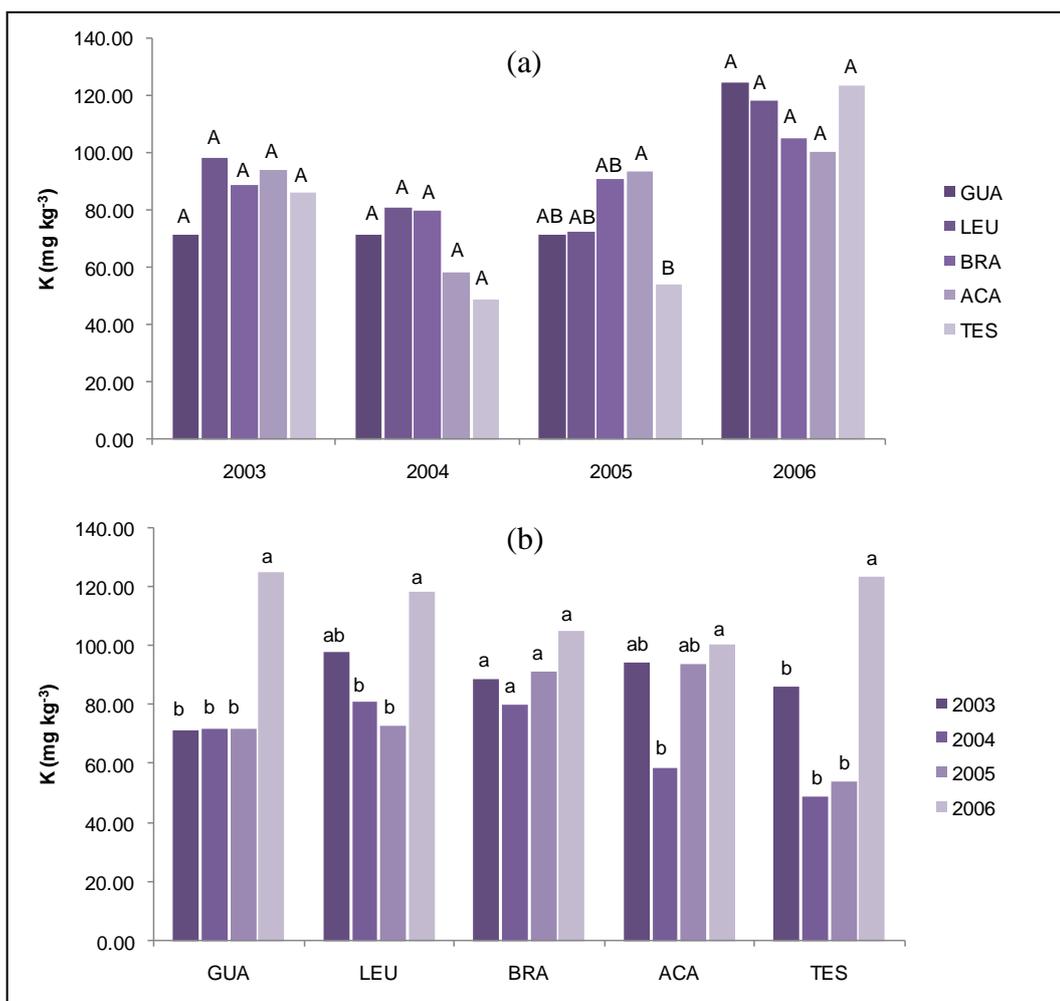


Figura 16: Variação do teor de potássio para cada ano entre as leguminosas (a). Variação do teor de potássio para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b). Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

Considerando a variação ao longo dos anos para cada tratamento, somente as parcelas com fitomassa de bracatinga não apresentaram diferenças significativas ao longo das épocas de amostragem. As demais parcelas, inclusive o tratamento testemunha, tiveram aumento significativo no teor de K no último ano de amostragem (Figura 16).

Apesar da análise química foliar da fitomassa da leucena ter apresentado o dobro da concentração de K que a fitomassa da bracatinga em 2003, sendo de 6,86 e 3,17 g kg⁻¹ respectivamente (Figura 9), o teor de K do solo não diferiu entre esses dois tratamentos, sendo igual a 98,00 e 88,67 mg kg⁻³, para leucena e bracatinga, respectivamente. Esse resultado pode ser consequência da proteção mecânica

exercida pela fitomassa sobre o solo (GUIMARÃES et al., 2002), uma vez que entre 2001 e 2002 a leucena apresentou maior produção de matéria seca por hectare, 19,57 t ha⁻¹ e 18,80 t ha⁻¹, respectivamente, contra 13,48 e 11,58 t ha⁻¹ produzidas pela bracatinga, favorecendo um acúmulo de serrapilheira sobre o solo, com prováveis reflexos na concentração e mobilidade dos nutrientes em 2003.

Em termos físicos, essas duas áreas apresentaram as mesmas características de drenabilidade (Tabela 5-3), porém, a maior CTC efetiva nos solos tratados com fitomassa de leucena (4,40 cmol_c dm⁻³) em relação às áreas tratadas com bracatinga (3,79 cmol_c dm⁻³) favorece uma redução na lixiviação desse nutriente para camadas mais profundas do solo (FARIA; SOARES; LEÃO, 2004; PAULO et al., 2006).

5.4.5. Fósforo do solo

Considerando todas as parcelas (Tabela A.3, apêndice A), a média geral da concentração de fósforo disponível ao longo dos anos foi maior em 2006 (33,20 mg kg⁻³), e menores em 2004 (16,39 mg kg⁻³) e 2005 (14,88 mg kg⁻³). Considerando todos os anos de amostragem, a média geral desse atributo foi maior nas parcelas com leucena (36,75 mg kg⁻³) e menor naquelas com fitomassa de acácia (7,80 mg kg⁻³).

Avaliando a interação do fator ANO dentro do fator LEG (Figura 17) verifica-se que não foram obtidas diferenças significativas na concentração de P nas áreas manejadas com acácia. Também nas áreas que receberam fitomassa de bracatinga as diferenças foram pouco significativas ao longo dos anos. As áreas com fitomassa de leucena e guandu apresentaram o mesmo padrão, caracterizado por uma significativa redução na concentração deste nutriente em 2004 e 2005, seguido de um expressivo aumento em 2006.

Com exceção de 2004, as áreas com fitomassa de acácia mantiveram a concentração de P disponível sempre abaixo da testemunha, ao contrário das áreas com fitomassa de leucena.

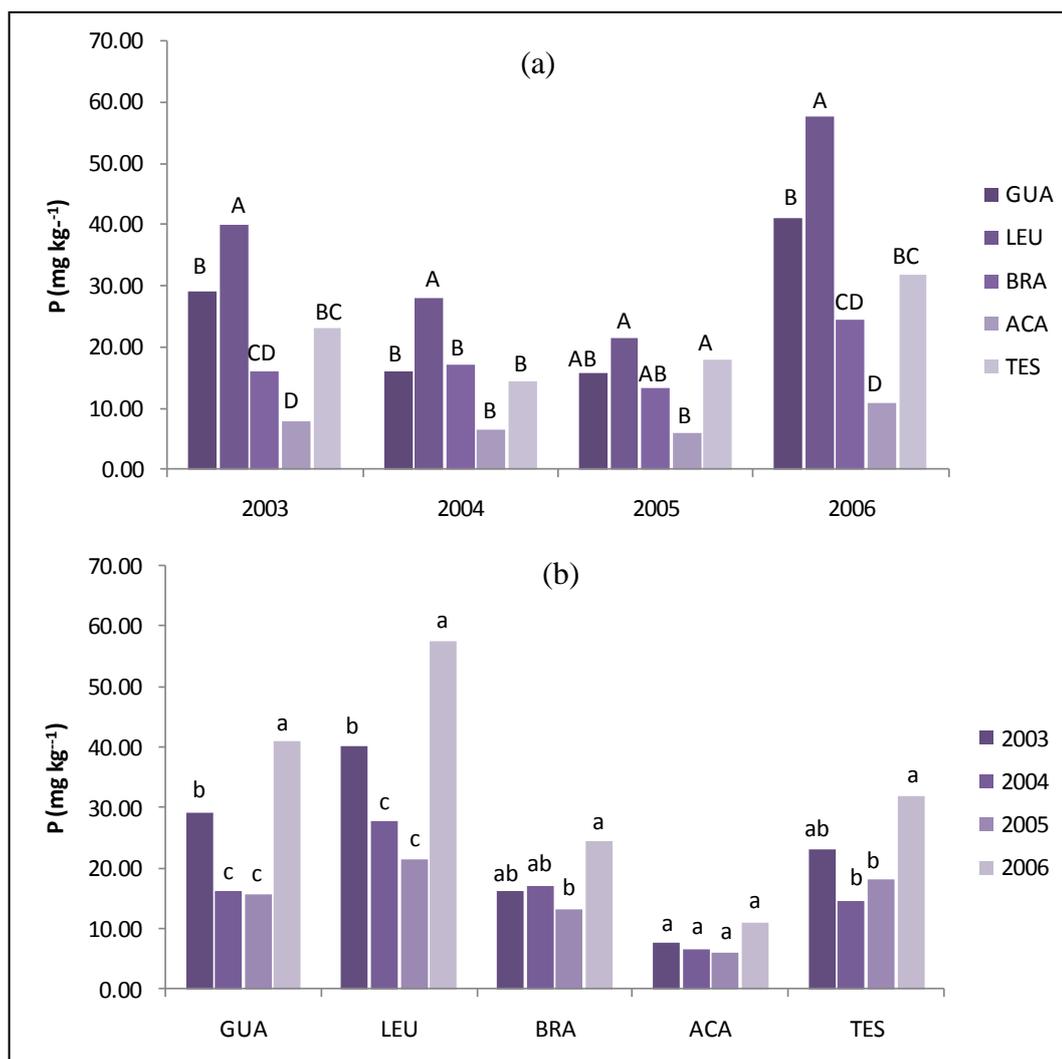


Figura 17: Variação da concentração de fósforo disponível (P) para cada ano entre as leguminosas (a). Variação da concentração de P para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b). Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan a 5% de significância (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

Sendo o teor de argila igual a 43 dag kg^{-1} , o teor de P no solo considerado *médio* para a cafeicultura esta entre 6,1 e 9,0, *bom* entre 9,1 e 13,5 mg dm^{-3} e *muito bom* para concentrações acima de 13,5 mg dm^{-3} (CFSEMG, 1999). Assim, verifica-se que de todos os tratamentos, somente as áreas com fitomassa de acácia não atendem as necessidades do cafeeiro, tendo permanecido de 2003, 2004 e 2005 com níveis de P próximos ao limite inferior da classe de média fertilidade, sendo de 7,73, 6,47 e 6,03 mg kg^{-1} , respectivamente.

Os altos teores de P no solo em 2006 para todas as áreas, com exceção das áreas manejadas com acácia, podem ser atribuídos a uma possível saturação do

solo por P de 2003 até 2005, reduzindo a fixação deste nutriente nas partículas do solo no ano seguinte. Para as áreas manejadas com fitomassa de acácia essa saturação pode não ter sido atingida em virtude da sua alta relação C/N (GARAY et al., 2003), demandando maior energia para sua mineralização e, conseqüentemente, maior imobilização de P do solo pelos microrganismos.

5.4.6. Zinco do solo

A cultura do café é exigente em micronutrientes, especialmente em relação ao zinco. Malavolta et al. (1993, apud REIS Jr., MARTINEZ, 2002) vincula o menor pegamento de florada e ocorrência de frutos menores à deficiência de zinco.

No manejo da fitomassa de leguminosas em solos agrícolas, grande quantidade dos micronutrientes metálicos presentes na fitomassa é liberada em forma iônica pela simples decomposição dos restos vegetais por meio de processos físicos (MOREIRA, SIQUEIRA, 2006).

Considerando os anos de estudo, a média geral da concentração de Zn no solo manejado com fitomassa de leucena foi a mais elevada ($7,38 \text{ mg kg}^{-1}$), seguida das áreas com fitomassa de guandu ($5,26 \text{ mg kg}^{-1}$), bracinga ($4,77 \text{ mg kg}^{-1}$), testemunha ($4,44 \text{ mg kg}^{-1}$) e acácia ($3,91 \text{ mg kg}^{-1}$), não havendo para os três últimos tratamentos diferenças estatísticas significativas.

Em contrapartida, considerando as alterações no teor de Zn do solo ano a ano, em 2003 foi obtida a maior média, $7,23 \text{ mg kg}^{-1}$, estando os demais anos com concentração média de $4,46 \text{ mg kg}^{-1}$.

Observando a Figura 18, é possível verificar que a elevada concentração obtida na amostragem de 2003 está relacionada ao teor de Zn nas áreas que receberam fitomassa de leucena, cuja concentração foi de $10,90 \text{ mg kg}^{-1}$. Conforme visto na análise da composição química das fitomassas em 2003 (Figura 10) essas áreas apresentaram a maior concentração desse micronutriente, sendo de $42,31 \text{ mg}$ de Zn por kg de massa seca da fitomassa da leucena em relação a média de $26,19 \text{ mg}$ de Zn por kg de massa seca das demais leguminosas.

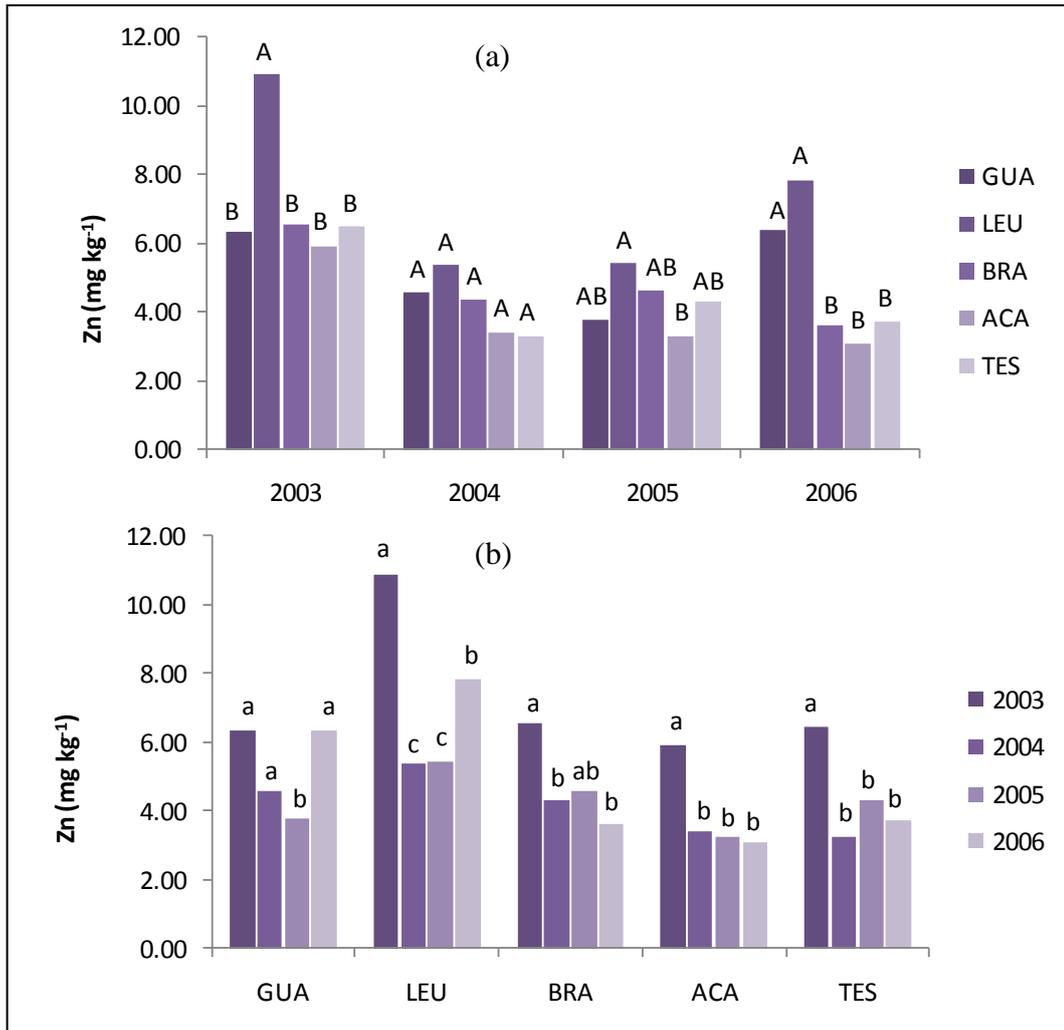


Figura 18: Variação do teor zinco para cada ano entre as leguminosas (a). Variação do teor de Zn para cada parcela com leguminosa ao longo dos anos (b). Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

Moreira e Siqueira (2006) indicam uma concentração crítica igual a 10 mg de Zn por kg de solo, a partir da qual a respiração microbiológica é prejudicada. Os autores ressaltam que por ter sido obtido em condições controladas de laboratório, esse limite é de difícil extrapolação para o campo, variando em função de condições naturais, como pH, reações e transformações com outros elementos.

As áreas manejadas com fitomassa de acácia e bracatinga apresentaram mesma concentração de Zn no solo que a área testemunha em todos os anos de amostragem e, ao contrário do obtido por Castro et al. (1992), no presente estudo não foi obtido coeficiente de correlação significativo entre o conteúdo de matéria orgânica e Zn do solo (Tabela 5-5).

5.5. ATRIBUTOS MICROBIOLÓGICOS DO SOLO

5.5.1. Atividade microbiana, carbono da biomassa e quociente metabólico

A análise de variância para a atividade microbiológica no período entre 2003 e 2007 indicou haver efeito significativo apenas do fator ano, isto é, as médias obtidas para as parcelas com adição de fitomassa de leguminosas e testemunha não diferiram estatisticamente. Contrariamente, estudo conduzido por Silva et al. (2007b) verificaram efeitos de culturas de cobertura e dos sistemas plantio direto e convencional sobre indicadores biológicos do solo, tendo sido maior a atividade no sistema convencional devido ao maior contato dos microrganismos e o carbono lábil existente no solo, decorrente das ações de revolvimento.

Na Tabela 5-6 encontram-se os resultados obtidos para a atividade microbiológica, sendo possível identificar diferenças significativas entre os anos de amostragem 2004, de maior atividade ($41,57 \mu\text{g CO}_2 \text{g}^{-1} \text{ha}^{-1}$), e 2005, de menor atividade ($37,33 \mu\text{g CO}_2 \text{g}^{-1} \text{ha}^{-1}$).

Tabela 5-6: Média da respiração microbiana em solo cultivado com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e manejado com fitomassa de diferentes leguminosas, S. S. do Paraíso, MG¹.

Ano	Atividade microbiana ($\mu\text{g CO}_2 \text{g}^{-1} \text{ha}^{-1}$)	
2003	38,95	b c
2004	41,57	a
2005	37,33	c
2006	37,74	b c
2007	39,03	b

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente no teste Duncan a 5%.

Para os atributos C-biomassa e quociente metabólico ($q\text{CO}_2$) as análises laboratoriais indicaram valores negativos para os anos após 2003. Esse resultado pode ser consequência do elevado teor de matéria orgânica do solo (MOREIRA, SIQUEIRA, 2006), consequência do aporte de fitomassa das leguminosas e do próprio cafeeiro. Nessa situação de alto teor de MOS seriam necessários ajustes na metodologia de forma a viabilizar a quantificação. Assim foram realizadas as

análises de variância e teste Duncan somente para 2003, estando os resultados na Tabela 5-7.

Tabela 5-7: Atributos microbiológicos em solo cultivado com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) e manejado com fitomassa de diferentes leguminosas, em 2003, S. S. do Paraíso, MG¹.

Tratamento	C-Biomassa		Atividade microbiana		qCO ₂	
	(µg g ⁻¹ de C no solo)		(µg g ⁻¹ de C-CO ₂ no solo)		(µg µg ⁻¹ de C-CO ₂ do C-biomassa)	
ACA	1,35	a b	41,23	a	31,41	a b
BRA	1,15	a b	38,88	a b	45,56	a b
GUA	0,89	b	37,98	a b	51,61	a
LEU	6,92	a	37,00	b	7,07	b
TES	4,88	a b	39,64	a b	9,57	a b

¹ Médias seguidas de mesma letra não diferem no teste Duncan a 5%. (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

Para todos os atributos microbiológicos não foram obtidas diferenças significativas entre a testemunhas e as áreas manejadas com fitomassa de leguminosa, o que pode ser atribuído principalmente ao fato do experimento estar em fase inicial e, portanto, poucas mudanças terem ocorrido no sistema pedológico.

Entre as áreas que receberam fitomassa de leguminosa, a análise dos índices microbiológicos do solo em 2003 indicaram diferenças significativas para o C-Biomassa entre as áreas com leucena (6,92 µg g⁻¹ de C no solo) e guandu (0,89 µg g⁻¹ de C no solo). Esse resultado pode ser consequência da qualidade química da fitomassa das leguminosas nesse ano, tendo a fitomassa da leucena apresentado maiores concentrações de N, K, Ca, Mg e S em relação a fitomassa do guandu, conforme pode ser observado na Figura 9 e na análise dos componentes principais da Figura 19.

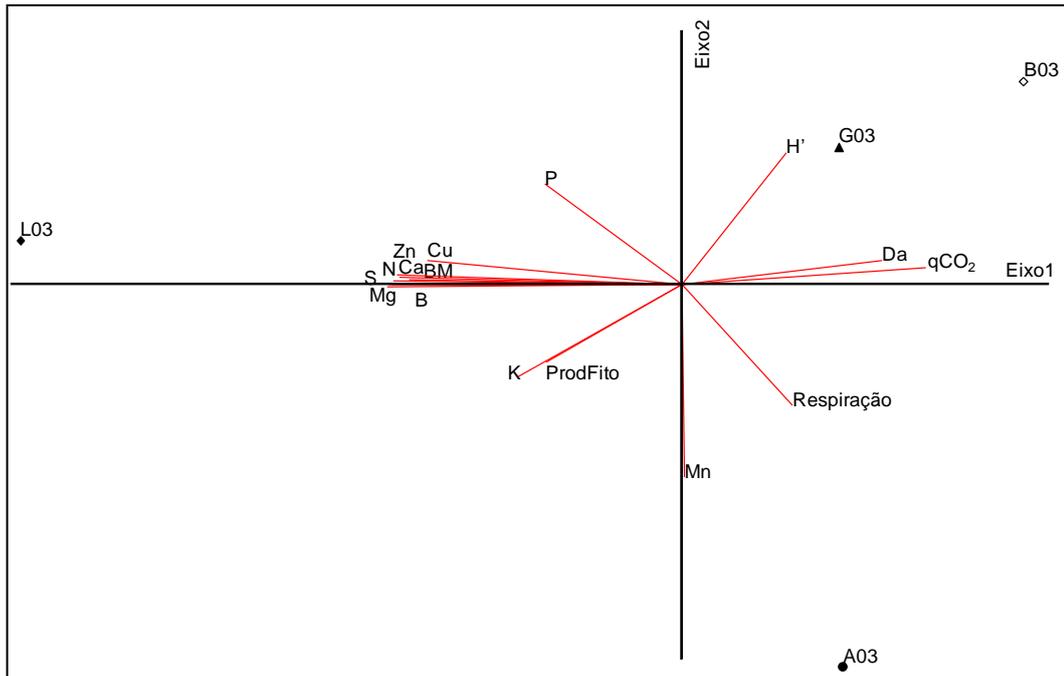


Figura 19: Diagrama de ordenação *Biplot* para a produção de fitomassa (ProdFito), atributos químicos das leguminosas (Zn, Cu, N, Ca, Mg, S, B e Mn) e atributos e índices microbiológicos do solo (Da – Maralef, H'- Shannon-Weaver, BM – Biomassa microbiana, respiração e qCO₂). Onde: L03 - leucena; A03 – acácia; G03 – gandu; B03 – bracatinga e T03 – testemunha, para dados obtidos em 2003.

Para a atividade microbiana, as áreas com fitomassa de acácia (41,23 $\mu\text{g g}^{-1}$ de C-CO₂ no solo) foram significativamente maiores que as áreas com fitomassa de leucena (39,64 $\mu\text{g g}^{-1}$ de C-CO₂ no solo). O coeficiente metabólico (qCO₂), que indica o nível de estresse microbiológico, diferiu significativamente entre as áreas com fitomassa de gandu, mais estressadas (51,61 $\mu\text{g } \mu\text{g}^{-1}$ de C-CO₂ do C-biomassa) e leucena, menos estressadas (7,07 $\mu\text{g } \mu\text{g}^{-1}$ de C-CO₂ do C-biomassa). Esse resultado pode ser associado à menor qualidade química da fitomassa do gandu em relação à leucena, conforme já discutido e mostrado na Figura 19.

Também através da Figura 19 é possível verificar maiores índices de diversidade e riqueza de esporos de FMAs. A baixa concentração de nutrientes da fitomassa do gandu pode ter influenciado os microrganismos a formarem mais esporos (PEREIRA et al., 2000), permitindo uma sobrevivência por mais tempo.

5.5.2. Índice de diversidade, riqueza e dominância microbiológica do solo

Nos diferentes sistemas de produção do cafeeiro o número de esporos de FMAs foi considerado como indicador da ocorrência de associação micorrízica no solo (CARDOSO et al., 2003), uma vez que esta simbiose é viabilizada por propágulos de FMAs, como raízes já colonizadas, micélio externo (hifas) e esporos.

No presente estudo constataram-se dez espécies de FMAs associadas ao cafeeiro: *Scutellospora sp.*, *Paraglomus occultum*, *Entrophora colombiana*, *Gigaspora sp.*, *Acaulospora longula*, *Acaulospora scrobiculata*, *Acaulospora sp.*, *Glomus etunicatum*, *Glomus sp.* e *Glomus clarum*. Valor pequeno, porém próximo ao encontrado por Balota e Lopes (1996), que quantificaram cerca de 7 espécies de FMAs no solo rizosférico de cafeeiros adultos, variedade Mundo Novo LCP 379-19, de cultivado em Latossolo vermelho-amarelo, sob cerrado. A variação na ocorrência e diversidade nas parcelas e ao longo das épocas de amostragem pode ser visualizada na Tabela 5-8.

Em 2001 foram identificadas apenas quatro espécies de FMAs, sendo a maior diversidade e ocorrência de esporos nas parcelas com fitomassa de leucena, que apresentaram 17 dos 45 esporos (38%) identificados no ano. Neste ano é possível observar claramente a maior dominância do gênero *Glomus*, sendo sua ocorrência igual a 69%. Nos três anos seguintes, houve um aumento no número de esporos de FMAs tendo sido identificadas no total 98, 114 e 139 esporos em 2002, 2003 e 2004, respectivamente.

Na área testemunha foi verificada uma evidente dominância da espécie *Paraglomus occultum* entre 2002 e 2004. Considerando todos os tratamentos a maior dominância foi do gênero *Acaulospora*, representando 19, 48 e 43% do total de esporos identificados em 2002, 2003 e 2004, respectivamente. Em agroecossistema cafeeiro (variedade Mundo Novo) localizado em Campinas, Balota e Lopes (1996) também relataram dominância desse gênero, tendo sido identificado em 94,5% das amostras. Elevada ocorrência do gênero *Acaulospora* no ecossistema cafeeiro também foram obtidas por Balota e Lopes (1996), em cafeeiro localizado em Campinas, e Fernandes e Siqueira (1989, apud BALOTA; LOPES, 1996) em 41 municípios do Sul de Minas Gerais.

Tabela 5-8: Ocorrência de esporos de fungos micorrízicos arbusculares em solo cultivado com cafeeiro (*Coffea arabica* L.) manejado com fitomassa de diferentes leguminosas arbóreas, em S. S. Paraíso, MG. Média de três repetições.

	Espécie	GUA	LEU	BRA	ACA	TES	Total esporos¹
2001	<i>Gigaspora</i> sp	-	2	2	-	-	4 (9)
	<i>Glomus</i> sp	4	8	6	8	5	31 (69)
	<i>Paraglomus occultum</i>	-	-	-	3	-	3 (7)
	<i>Scutellospora</i> sp	-	7	-	-	-	7 (16)
	Total de esporos²	4 (9)	17 (38)	8 (18)	11 (24)	5 (11)	45
2002	<i>Acaulospora scrobiculata</i>	10	-	9	-	-	19 (19)
	<i>Gigaspora</i> sp	3	-	-	6	-	9 (9)
	<i>Glomus</i> sp	6	8	-	13	4	31 (32)
	<i>Paraglomus occultum</i>	-	10	7	2	20	39 (40)
	Total de esporos	19 (19)	18 (18)	16 (16)	21 (21)	24 (24)	98
2003	<i>Acaulospora longula</i>	-	6	12	-	3	21 (18)
	<i>A. scrobiculata</i>	12	-	5	13	-	30 (26)
	<i>Acaulospora</i> sp	-	-	4	-	-	4 (4)
	<i>Gigaspora</i> sp	10	-	7	9	-	26 (23)
	<i>Glomus etunicatum</i>	6	-	-	-	-	6 (5)
	<i>Glomus</i> sp	-	9	-	13	-	22 (19)
	<i>Paraglomus occultum</i>	-	-	-	-	5	5 (4)
Total de esporos	28 (25)	15 (15)	28 (25)	35 (31)	8 (7)	114	
2004	<i>Acaulospora longula</i>	-	-	8	-	-	8 (6)
	<i>A. scrobiculata</i>	25	-	10	14	-	49 (37)
	<i>Gigaspora</i> sp	-	-	-	7	-	7 (5)
	<i>Glomus clacum</i>	-	-	8	-	8	16 (12)
	<i>Glomus etunicatum</i>	8	-	-	-	-	8 (6)
	<i>Glomus</i> sp	-	13	-	10	-	23 (14)
	<i>Paraglomus occultum</i>	-	-	-	-	22	22 (14)
Total de esporos	33 (25)	13 (10)	26 (10)	31 (23)	30 (23)	133	

¹ Valores em parênteses indicam a porcentagem de ocorrência de esporos de cada espécie de FMA em relação ao total de espécies identificadas no ano. ² Valores em parênteses indicam a porcentagem de ocorrência do total de esporos identificados na parcela em relação ao total de todas as parcelas no ano. (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

Nas áreas com fitomassa de guandu e bracatinga a espécie *Acaulospora scrobiculata* apresentou maior ocorrência em 2002, 2003 e 2004, sendo para os dois últimos anos, também a espécie de maior ocorrência em relação ao total de esporos identificados em todas as parcelas, com porcentagens iguais a 26 e 37%, respectivamente (Tabela 5-8).

Esses resultados concordam com o exposto por Moreira e Siqueira (2006), que afirmam ser baixa a densidade de esporos em agroecossistema de cafeeiro, sendo a

comunidade fúngica dominada por poucas espécies (baixa diversidade), a maioria pertencente ao gênero *Glomus* (*G. etunicatum*), e *Acaulospora* (*A. scrobiculata*, *A. morrowiae* e *A. mellea*). Na Tabela 5-9, os índices de diversidade e riqueza obtidos através da contagem de esporos de fungos micorrízicos arbusculares evidenciam essa baixa diversidade, sendo ainda menor nas áreas testemunha. Apesar de ainda ser baixa, as áreas que receberam fitomassa de guandu apresentaram, em termos absolutos, os maiores índices de diversidade e riqueza.

Tabela 5-9: Índice de diversidade de Shannon-Weaver e de Riqueza de Margalef.

Índice de diversidade de Shannon-Weaver				
Tratamento	Ano			
	2001	2002	2003	2004
TES	0	0,45	0,68	0,58
GUA	0	0,99	1,02	0,55
BRA	0,56	0,68	1,3	1,09
LEU	0,98	0,69	0,14	0
ACA	0,59	0,88	0	1,08

Índice de Riqueza de Margalef				
Tratamento	Ano			
	2001	2002	2003	2004
TES	0	0,31	0,48	0,29
GUA	0	0,68	0,56	0,29
BRA	0,48	0,36	0,9	0,61
LEU	0,71	0,35	0,37	0
ACA	0,42	0,66	0,56	0,58

(GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

5.6. PRODUTIVIDADE DO CAFÉ

A produção de grãos teve correlação positiva significativa com a densidade do solo ($r=0,35$), e negativa com o coeficiente de saturação ($r= - 0,30$) e umidade de saturação ($r= - 0,31$). Com os atributos químicos do solo houve correlação positiva significativa para alumínio ($r= 0,31$) e MOS ($r= 0,32$), e negativa para Boro ($r= - 0,47$), cálcio ($r= -0,26$), cobre ($r= -0,35$), soma de bases ($r= -0,26$), e zinco ($r= -0,28$). Contrariamente à literatura (COSTA; LEONIDAS; SANTOS, 2001) não houve correlação significativa entre o teor de K no solo e a produtividade. A produção de fitomassa das leguminosas e, conseqüentemente, a quantidade adicionada às

parcelas com café correspondente, correlacionaram-se negativamente com a produtividade de grãos, sendo r igual a $-0,42$.

Com exceção de 2003, para todos os tratamentos e de 2004 para as áreas manejadas com fitomassa de acácia e bracatinga, todos os demais tratamentos apresentaram produtividade acima das 20 sacas por hectare (Figura 20). No sul de Minas Gerais, aproximadamente 36% das propriedades têm uma produtividade inferior a 10 sacas de café beneficiado/ha, 41%, entre 10 e 20 sacas de café beneficiado/ha e 23%, superior a 20 sacas de café beneficiado/ha (CORRÊA et al., 2001; REIS Jr. et al., 2002), o que demonstra a existência de um potencial de aumento de produtividade dessas propriedades.

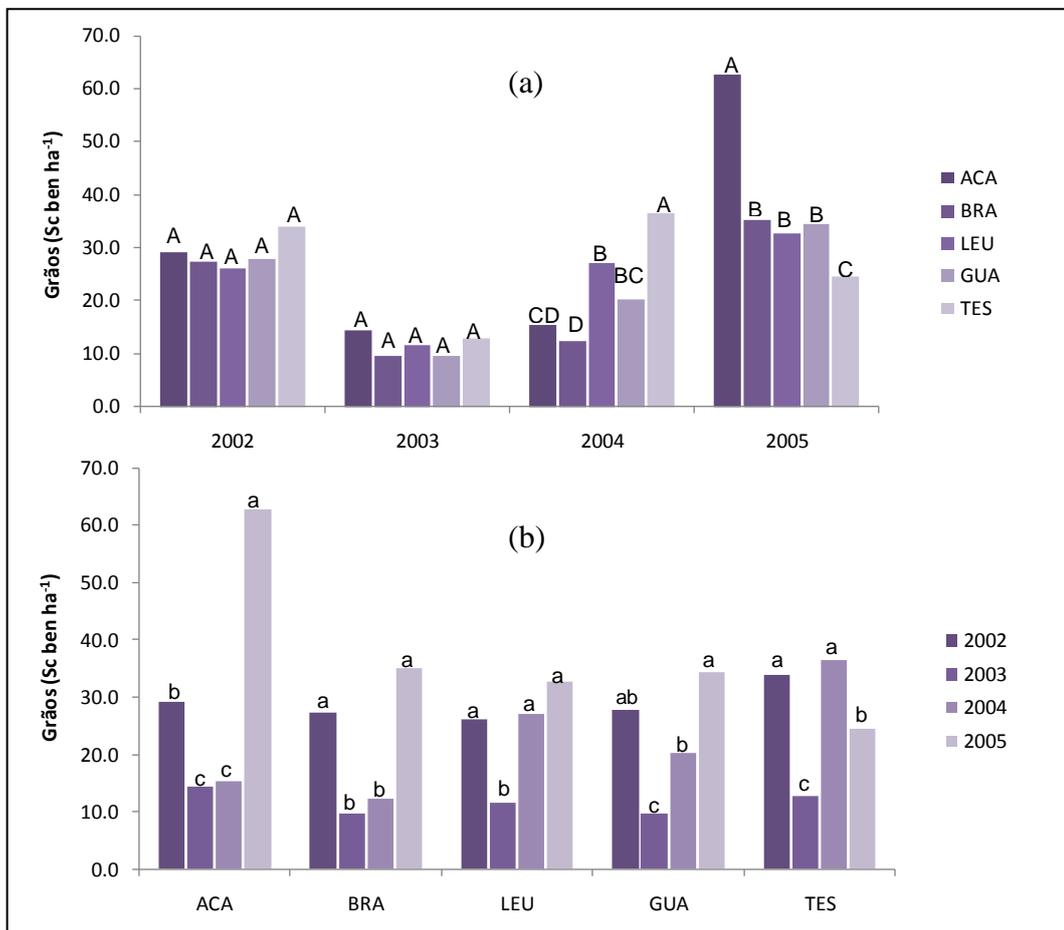


Figura 20: Variação na produção de sacas de café beneficiadas das parcelas com fitomassa de leguminosa e testemunha para cada ano (a). Variação temporal na produção de sacas de café beneficiadas para cada parcela com fitomassa de leguminosa e testemunha (b). Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracatinga; ACA – acácia; TES – testemunha).

Considerando todas as parcelas, a média geral da produção de grãos ao longo dos anos foi maior em 2005 (37,88 sacas beneficiadas por hectare) e menor em 2003 (11,60 sacas beneficiadas ha⁻¹).

Em relação às leguminosas, a média geral da produção foi maior nas parcelas manejadas com fitomassa de acácia (30,41 Sc ben ha⁻¹) e nas área testemunha (26,93 sacas beneficiadas ha⁻¹), ambas sem diferenças estatísticas significativas.

Paulo et al. (2006) avaliaram o efeito na produtividade resultante do sistema intercalar entre o café (cultivar Mundo Novo, enxertado sobre Apoatã IAC 2258), e as leguminosas: crotalaria júncea (*Crotalaria juncea* L.), crotalaria espectabilis (*Crotalaria spectabilis*), mucuna-anã (*Stizolobium deeringeanu.*), soja IAC 9 (*Glycine max*) e guandu (*Cajanus cajan*). Da mesma forma que no presente estudo, esses autores constataram que apesar de ter produzido maiores quantidades de fitomassa e ter proporcionado aumento no teor de MOS, o guandu provocou redução na produtividade do cafeeiro, com valor abaixo da testemunha, sem adubo verde. Resultados semelhantes foram obtidos em outro experimento conduzido por Paulo et al. (2001), onde foram avaliados os efeitos dessas mesmas leguminosas porém sobre a produtividade e crescimento do café Apoatã IAC 2258.

Avaliando a interação do fator ANO dentro do fator LEG (Figura 20), verifica-se que as áreas com fitomassa de leucena apresentaram menores variações na produtividade no período considerado, tendo ocorrido queda na produtividade apenas em 2003, onde a produtividade foi de 11,60 sacas beneficiadas ha⁻¹, cerca de 60% menor em relação à média dos três outros anos. A área testemunha apresentou bianualidade característica da cafeicultura, com significativas oscilações na produtividade. Essa menor variação na produtividade, atenuando a bianualidade, é um resultado importante para se avaliar a viabilidade do manejo de fitomassa de leguminosa, uma vez que para o produtor é interessante que se mantenha constante.

Verifica-se que as áreas com acácia apresentaram média geral na produtividade maior em relação às demais áreas devido ao aumento de mais de 200% na produtividade em 2005, comparada à média dos três anos anteriores.

5.7. FITOMASSA COMO COMPLEMENTO DA ADUBAÇÃO NPK

Considerando a produção de massa seca, o teor foliar de nutrientes das leguminosas e as análises pedológicas e foliares do café, foi obtido o potencial de substituição da adubação NPK pela adição de fitomassa das leguminosas, conforme recomendações da CFSEMG (1999) (Tabela 5-10).

As espécies leguminosas estudadas promoveram reciclagem e incorporação de quantidades significativas de nutrientes ao solo, possibilitando reduzir em até 65% da demanda por nitrogênio, no caso da acácia, em 2002, ou até mesmo substituir o uso de adubos nitrogenados químicos no cafeeiro, como em 2003, onde o uso de fitomassa das leguminosas supriria totalmente a necessidade nutricional por N.

Silva et al. (2002) também obtiveram bons resultados ao promover cultivo intercalar da leguminosa *C. juncea* com citros. Esses autores verificaram que a aplicação de fitomassa da leguminosa resultou em uma adição de 91,7 kg de N por hectare, equivalente à aplicação de 204 kg de ureia ha⁻¹ ou 460 kg de sulfato de amônia ha⁻¹.

Interessante ressaltar que, apesar das maiores quantidades de P reciclados e presentes na massa seca da acácia, com potencial de substituição igual a 85% em 2002 (Tabela 5-10), as áreas tratadas com esse material apresentaram em todos os anos amostrados deficiência desse nutriente, estando sempre dentro da classe “muito baixo”, isto é, abaixo de 12 mg de P por kg de solo (CFSEMG, 1999), conforme observado na Figura 17 e Tabela A5 do Apêndice A. Esse resultado é mais um indício de que a acácia apresenta baixa taxa de decomposição, diminuindo o aporte de nutrientes para o solo (GIACOMINI et al., 2003), concordando com as análises anteriores (capítulo 5.3) e com os estudos desenvolvidos por Moura et al. (2010) e Balieiro et al. (2004).

Contrariamente, como a média no conteúdo de P do solo manejado com leucena apresentou-se dentro da classe adequada para o cafeeiro, não sendo necessária a adubação de produção, é possível concluir que a fitomassa da leucena além de possuir elevados teores de P (Figura 10), é facilmente decomposta.

Tabela 5-10: Potencial de substituição da adubação NPK pela adição de fitomassa das leguminosas, S.S.Paraíso/MG.

Nutriente	Tratamento			
	GUA	LEU	BRA	ACA
N				
Teor foliar (g/kg)	29,19	29,17	28,44	28,72
Classe ¹	Adequado	Adequado	Adequado	Adequado
Dose recomendada (kg/ha/ano) ²	175	175	175	175
Potencial de substituição: 2002	178%	218%	119%	228%
2003	64%	31%	48%	65%
P				
Média no solo (mg/kg ³)	25,48	36,75	17,69	7,8
Classe ²	Médio	Bom	Baixo	Muito baixo
Dose recomendada (kg/ha/ano) ¹	20	0	30	40
Potencial de substituição: 2002	45%	-	36%	85%
2003	31%	-	10%	17%
K				
Média no solo (mg/kg ³)	84,83	92,42	91,17	86,58
Classe ²	Médio	Médio	Médio	Médio
Dose recomendada (kg/ha/ano) ¹	190	190	190	190
Potencial de substituição: 2002	44%	68%	19%	58%
2003	12%	7%	16%	16%

¹- Classe de fertilidade para a cultura do café conforme recomendações da CFSEMG (1999).

²- Doses recomendadas em função da produtividade esperada entre 20 e 30 sc. ben. ha⁻¹ (CFSEMG, 1999). (GUA - guandu; LEU - leucena; BRA - bracatinga; ACA - acácia; TES - testemunha).

Porém, mesmo a quantidade de N na fitomassa das leguminosas superando a demanda nutricional do cafeeiro, a adição do material em uma única etapa pode provocar uma mineralização acelerada do N, podendo ocasionar, em curto prazo, significativo impacto danoso no ambiente, e, em longo prazo, deficiência nutricional, principalmente nas situações onde não são considerados os períodos de maior demanda da cultura (MANFOGOYA; GILLER; PALM, 2004; PALM, 2004).

Considerando a dose anual de fertilizantes recomendada pela CFSEMG (1999) o uso de fitomassa de leguminosas pode proporcionar uma importante economia nos custos de produção do cafeeiro (Tabela 5-11), uma vez que os gastos com fertilizantes podem representar de 18 até 25% do custo total de produção (CNC, 2010). Nesse sentido destaca-se a redução nos custos com fertilizantes nitrogenados, principalmente em 2002, ano em que toda a demanda do cafeeiro poderia ser atendida com a aplicação de fitomassa.

Para compensar a perda de área produtiva, decorrente do plantio das aleias de leguminosas (ALVES et al., 2004) e risco de redução na produtividade, a substituição parcial ou total da adubação NPK, diminuído o custo operacional global da lavoura (CNC, 2010; SOUZA et al., 2010), é um dos principais atrativos para o produtor que deseja alterar seu sistema de manejo. Porém, estudos voltados para a fisiologia das leguminosas e sua relação com a qualidade química da fitomassa e dependência das condições pedoclimáticas, são necessárias para que sejam alcançadas os benefícios proporcionadas pelo manejo da fitomassa de leguminosas na manutenção e/ou melhoria da qualidade química do solo (QUEIROZ et al., 2007).

Tabela 5-11: Redução nos custos de produção em função da aplicação de fitomassa de leguminosas em 2002 e 2003, S.S.Paraíso, MG.

nutriente		Tratamento			
N (Uréia; R\$ 1120,00/ton)		GUA	LEU	BRA	ACA
Economia	2002	R\$ 1,120.00	R\$ 1,120.00	R\$ 1,120.00	R\$ 1,120.00
	2003	R\$ 716.80	R\$ 347.20	R\$ 537.60	R\$ 728.00
P (Superfosfato Simples GR; R\$ 737,00)		GUA	LEU	BRA	ACA
Economia	2002	R\$ 331.65	R\$ 737.00	R\$ 265.32	R\$ 626.45
	2003	R\$ 228.47	R\$ 737.00	R\$ 73.70	R\$ 125.29
K (Cloreto de Potássio; R# 1586,00)		GUA	LEU	BRA	ACA
Economia	2002	R\$ 653.84	R\$ 1,010.48	R\$ 282.34	R\$ 861.88
	2003	R\$ 178.32	R\$ 104.02	R\$ 237.76	R\$ 237.76
NPK		GUA	LEU	BRA	ACA
Economia total	2002	R\$ 2,105.49	R\$ 2,867.48	R\$ 1,667.66	R\$ 2,608.33
	2003	R\$ 1,123.59	R\$ 1,188.22	R\$ 849.06	R\$ 1,091.05

¹ Valores referentes a abril de 2011 (COOPARAÍSO, 2011). (GUA - guandu; LEU – leucena; BRA – bracinga; ACA – acácia; TES – testemunha;

Considerando o emprego dos fertilizantes mais onerosos (Uréia, Superfosfato Simples GR e Cloreto de Potássio PO) é possível verificar que o tratamento com leucena proporcionou maior economia de recursos, totalizando R\$ 2867,48 em 2002 e R\$ 1123,59 em 2003.

5.8. DESEMPENHO GLOBAL DOS TRATAMENTOS

Métodos estatísticos que consigam extrair e sintetizar a maior quantidade de informação simultaneamente tem grande aplicabilidade em estudos da qualidade do solo (SENA et al., 2000). Assim, a ACP foi realizada baseada na matriz de correlação das variáveis de forma a sintetizar os efeitos obtidos da aplicação superficial de fitomassa de leguminosa e as respostas na qualidade química do solo.

Foram considerados na análise de fertilidade do solo, os atributos que indicaram diferenças estatísticas na ANOVA (significância a 0,001), considerando o valor médio das três repetições de cada parcela em todas as épocas amostradas (2003, 2004, 2005 e 2006), em um total de 60 amostras. Os atributos avaliados foram: pH, potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e alumínio trocável (Al^{3+}), soma de bases (SB), CTC efetiva (t), saturação por bases (V) e por alumínio (m) e matéria orgânica do solo (MOS).

Nessas circunstâncias, foram apresentados oito componentes principais, onde a primeira componente principal tem maior importância na contribuição para a variação total dos dados, com 71,28% da variância total. A segunda componente responde por 18,86% da variância dos dados.

Assim, esses dois eixos respondem juntos por 90,14% da variabilidade total dos dados. Assim, é possível desconsiderar as demais componentes da análise multivariada de forma a tornar a análise mais clara, sem, contudo, perder informações importantes. Os autovetores que representam o peso de cada variável nas duas componentes principais são mostrados na Tabela 5-12.

Somente as variáveis pH, K e MOS possuem maior correlação no segundo componente (Eixo 2), estando as demais variáveis relacionadas a primeira componente principal.

A primeira componente principal é um índice de desempenho global padronizado da química do solo (MINGOTI, 2007). Como, nessa componente, somente os atributos Al^{3+} e m possuem pesos negativos, os escores das áreas de estudo que apresentarem valores mais baixos e negativos indicam solos com elevada acidez trocável e saturação por alumínio, atributos desfavoráveis para a fertilidade do solo. Contrariamente, áreas com escores mais positivos indicam solos com atributos químicos mais favoráveis ao cultivo.

Tabela 5-12: Correlação dos atributos químicos do solo com as componentes principais.

Variáveis	1	2
pH	0,30	0,45
K	0,20	-0,58
Ca	0,39	-0,10
Al	-0,35	-0,31
SB	0,38	-0,15
t	0,37	-0,24
V	0,36	0,26
m	-0,38	-0,13
MOS	0,21	-0,42

A Figura 21 mostra a sobreposição da distribuição das variáveis químicas do solo e dos tratamentos testados com seus respectivos escores das duas componentes principais (CP 1 e 2), permitindo uma visualização integrada dos respectivos manejos. Verifica-se certa dispersão dos tratamentos ao longo dos eixos, sendo difícil visualizar agrupamentos nítidos.

Dessa forma, considerando a média de todos os blocos em todos os anos de amostragem, observa-se na Figura 21 e Figura 22 que as áreas testemunhas e com fitomassa de guandu apresentaram os menores escores, com média igual a -1,87 e -0,58, respectivamente. Nessas áreas a qualidade do solo foi baixa em 2003, 2004 e 2005 motivada pela acidez trocável e saturação por alumínio, e aumentando em 2006, quando foram influenciadas positivamente pelos teores de Ca e K, SB, t e MOS.

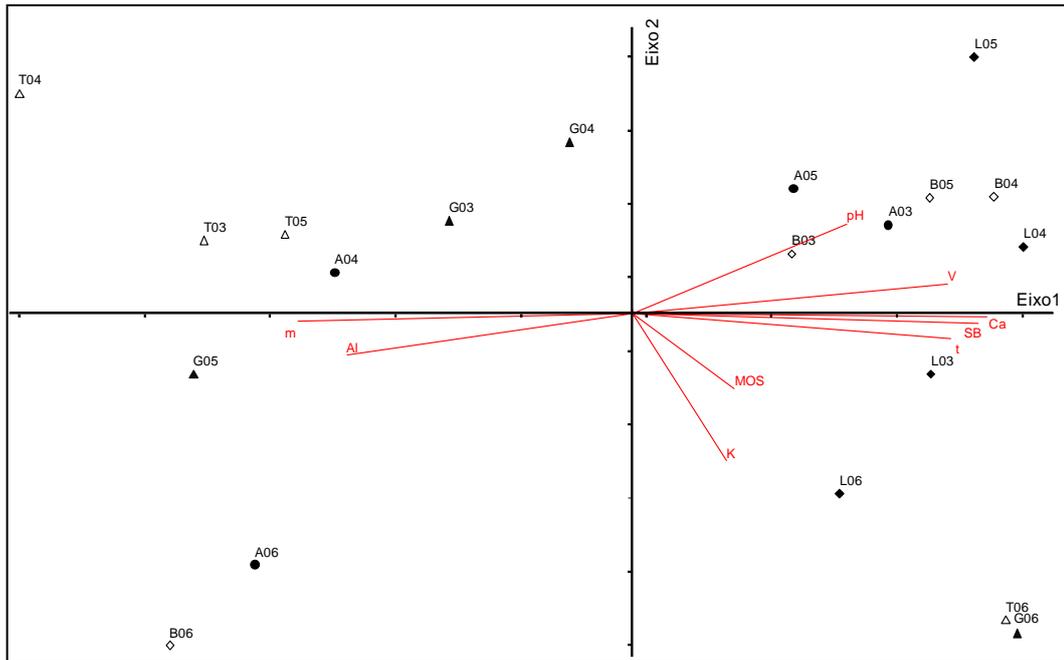


Figura 21: Diagrama de ordenação *Biplot* para as variáveis da fertilidade do solo. As letras indicam a leguminosa utilizada para prover fitomassa (L - leucena; A – acácia; G – guandu; B – bracatinga e T – testemunha) e os números indicam a época de análise (03 – 2003; 04 – 2004; 05 – 2006 e 06 – 2006).

Faria, Soares e Leão (2004), ao avaliarem o efeito da adubação verde com crotalária (*Crotalaria juncea*) e feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*) em características químicas do solo e na produtividade e qualidade da uva de mesa em cultivo irrigado no Semi-Árido nordestino, também verificaram que os tratamento com as leguminosas proporcionaram valores mais elevados para a CTC, MOS e Ca trocável, em relação à testemunha, principalmente na camada de 0-10 cm.

Na sequência encontram-se as áreas com fitomassa de acácia, com escore médio igual a -0,48 (Figura 22). Nessas áreas observa-se uma alternância na qualidade química do solo, sendo positivos os escores em 2003 e 2005, sendo as variáveis pH e V responsáveis por essa variação.

As áreas que foram manejadas com fitomassa de bracatinga e leucena apresentaram os maiores índices de desempenho, 0,65 e 2,27, respectivamente (Figura 22), com destaque para a leucena, cujos escores foram positivos em todos os anos, localizando-se a direita do gráfico, indicando ser o tratamento com maiores benefícios para o produtor.

Os tratamentos posicionados mais próximos da região central do diagrama apresentam maior variação nos seus atributos químicos e, conseqüentemente, dos

escores, tendo uma menor correlação dessas áreas com as características químicas selecionadas (ALVARENGA; DAVIDE, 1999).

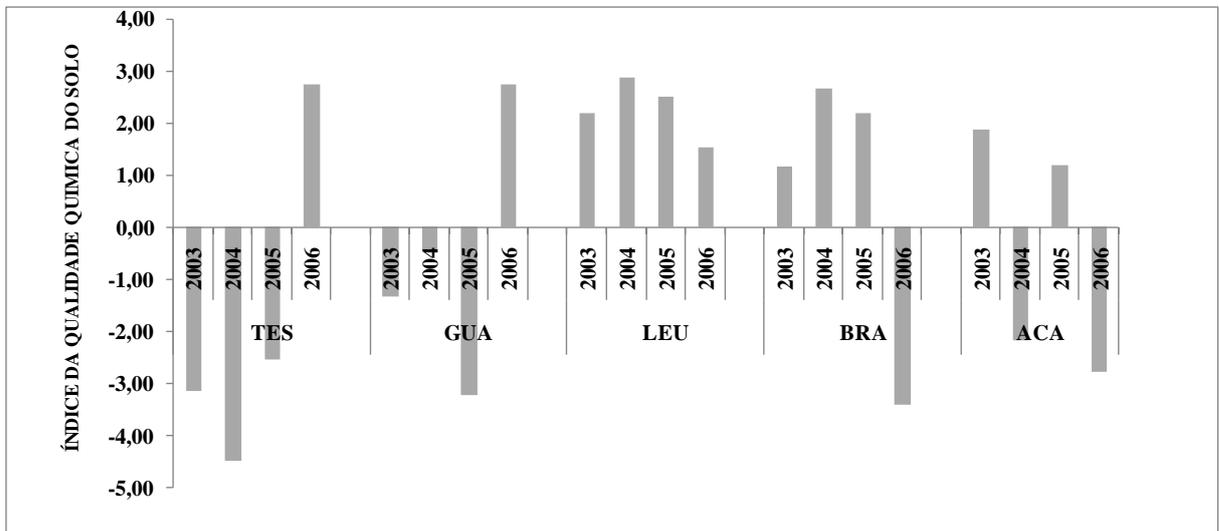


Figura 22: Qualidade química do solo (escores) de cada tratamento (LEU - leucena; ACA – acácia; GUA – guandu; BRA – bracatinga e TES – testemunha), S. S. Paraíso, MG.

6. CONCLUSÕES

Todas as leguminosas acumularam maiores quantidades de N, Ca e K em relação aos demais nutrientes avaliados. De forma geral, maiores concentrações de nutrientes foram obtidos na fitomassa da leucena e menores na acácia.

As espécies leguminosas estudadas promoveram reciclagem e incorporação de quantidades significativas de N, P e K ao solo, principalmente para os tratamentos com leucena, tendo ocorrido variação anual desse potencial, conforme a variação na produção de fitomassa das leguminosas e também na qualidade química foliar desta, devendo ser dada atenção aos fatores fisiológicos e edáficos que controlam essa variabilidade.

Todos os tratamentos apresentaram importante potencial de promover redução nos custos com fertilizantes nitrogenados, podendo substituir completamente a demanda por esse nutriente. O tratamento com leucena foi o que proporcionou maior potencial de redução nos custos com fertilizante nitrogenados, fosfatados e potássicos de até R\$ 2.800,00.

A produtividade do cafeeiro não respondeu à aplicação superficial de fitomassa de leguminosas, tendo sido observada uma maior produção de grãos no tratamento testemunha que não recebeu aplicação de fitomassa.

Por outro lado, todas as leguminosas promoveram alterações nas propriedades físicas e químicas do solo, sendo o tratamento com fitomassa de leucena (LEU) o que promoveu melhor qualidade química, indicando ser o tratamento mais adequado para a melhoria da qualidade do solo.

Não foram obtidas diferenças significativas entre a testemunha e as áreas manejadas com fitomassa de leguminosa para C-Biomassa, atividade microbiana e quociente metabólico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUIAR, A.C.F. et al. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the pre-Amazon region of Brazil. **Nutrient Cycling In Agroecosystems** , v. 86, n. 2, p.189-198, 2009.
- ALCANTARA, F. A. et al. Adubação verde na recuperação da fertilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro degradado. **Pesq. agropec. bras.**, v. 35, n. 2, p. 277-288, 2000.
- ALVARENGA, M. I. N.; DAVIDE, A. C. Características físicas e químicas de um latossolo vermelho-escuro e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v. 23, n. , p. 933-942, 1999.
- ALVARENGA, R.C. et al. Características de alguns adubos verdes de interesse para a conservação e recuperação de solos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.30, n.2, p.175-185, 1995.
- ALVES, S. M. C. et al . Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesq. agropec. bras. Brasília**, v. 39, n. 11, Nov. 2004.
- ALVES, S.M.C. et al. Balanço do nitrogênio e fósforo em solo com cultivo orgânico de hortaliças após a incorporação de biomassa de guandu. **Pesq. agropec. bras.** , v.39, p.1111-1117, 2004.
- AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; FERNANDES, S. B. V.. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, p.179-189, 2000.
- ANDRÉA, M. M., HOLLWEG, M. J. M. Comparação de métodos para determinação de biomassa microbiana em dois solos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 28, n. 6, p. 981-986, 2004.
- AQUINO, A. M.. **Vermicompostagem: Caracterização de Demandas e Alternativas de Substratos Enriquecidos com Leguminosas e Fósforo**.1996. 177 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1996.
- ARAUJO, A. S. F. et al. Utilização de nitrogênio pelo trigo cultivado em solo fertilizado com adubo verde (*Crotalaria juncea*) e/ou uréia. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, 2005.
- BAGGIE, I. et al. Decomposition and phosphorus release from organic residues as affected by residue quality and added inorganic phosphorus. **Agroforestry Systems**. V. 63, n. 2, p. 125-131, 2005.
- BALIEIRO et al. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serrapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium Willd.* **Ciência Florestal**, v. 14, n. 1, p. 59-65, 2004.
- BALIEIRO, F. C. et al. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serrapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium Willd.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p.59-65, 2003.

- BALOTA, E. L.; LOPES, E. S.. Introdução de fungo micorrizico arbuscular no cafeeiro em condições de campo: Persistência e interação com espécies nativas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Campinas, v. 20, p.217-223, 1996.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. (Ed.). **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48 p. (Boletim técnico, 78)
- BAYER, C.; BERTOL, I.. Características químicas de um Cambissolo húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, n. 23, p.687-694, 1999. BERGO, C. L. et al . Avaliação de espécies leguminosas na formação de cafezais no segmento da agricultura familiar no Acre. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 36, n. 1, Mar. 2006.
- BLANCHAR, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C. Sulfur in plant material digestion with nutric and percloria acid. **Soil Science Society Proceedings**, Madison, v. 29, n 1, p. 71-72, jan. 1965.
- BOGNOLA, I. A. et al. Influencia de propriedades fisico-hidricas do solo no crescimento de Pinus taeda. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 61, p.37-49, 2010.
- BORGES, I. B. et al. Estado nutricional de lavouras de café na região do Alto Paranaíba – MG. **Biosci. J.**, Uberlandia, v. 20, n. 2, p. 197-206, 2004.
- BRAIDA, J. A. et al. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio Proctor. **Rev. Bras. Ciênc. Solo****Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 30, n.4 , p. 605-614, 2006.
- BRASIL. Conselho Nacional do Café. **Custo de Produção**: Safra 2008. Disponível em: <<http://www.cncafe.com.br/conteudo.asp?id=21>>. Acesso em: 15 ago. 2010.
- BRASIL. Ministerio Agricultura Pecuária e Abastecimento. .. **Produção Integrada**: Legislação e Marco Legal da Produção Integrada. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 03 dez. 2010
- BRASIL. Sistema IBGE de Recuperação Automática. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/ids/default.asp?o=10&i=P>>. Acesso em: 16 ago. 2010.
- BRESSAN, W. et al . Fungos micorrízicos e fósforo, no crescimento, nos teores de nutrientes e na produção do sorgo e soja consorciados. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 2, 2001.
- CAMPOS, A. X. **Fertilização com sulfato de amônio na cultura**. 2004. 117 f. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz, Piracicaba, 2004.
- CANELLAS, L. P. et al . Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. **Sci. agric.**, Piracicaba, v. 61, n. 1, Feb. 2004 .
- CANTARUTTI, R. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In: NOVAIS, Roberto Ferreira et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 769-850.
- CARDOSO et al. Distribution of mycorrhizal fungal spores in soils under agroforestry and monocultural coffee systems in Brazil. **Agroforestry Systems**. v. 58, n. 1, p. 33-43, 2003.

- CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; RAMALHO, J. D. C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. **Braz. J. Plant Physiol.**, Londrina, v. 18, n. 1, mar. 2006 .
- CAVENAGE, A. Alterações nas propriedades físicas de um Latossolo vermelho-escuro sob diferentes culturas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v. 23, n. 4, p. 997-1003, 1999.
- CIOTTA, M. N. et al. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 26, p.1055-1064, 2002.
- COLOZZI FILHO, A.; CARDOSO, E. J. B. N. Detecção de fungos micorrízicos arbusculares em raízes de cafeeiro e de crotalária cultivada na entrelinha. **Pesq. agropec. bras.** vol.35, n.10, 2000.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5ª aproximação**. Viçosa, 1999. 359p.
- CONCEICÃO, P. C. et al . Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 29, n. 5, Out. 2005.
- CONSELHO NACIONAL DO CAFÉ (São Paulo). **Análises econômicas: Custos de Produção**. Disponível em: <<http://www.cncafe.com.br/conteudo.asp?id=21>>. Acesso em: 16 ago. 2010.
- COOPARAÍSO. **Informativo Cooparaíso**. nº 199. Disponível em: <[http://www.cooparaíso.com.br/news/upload/PROVA_JORNAL_COOPARAISO_ABRIL_BAIXA_FINAL\(1\).pdf](http://www.cooparaíso.com.br/news/upload/PROVA_JORNAL_COOPARAISO_ABRIL_BAIXA_FINAL(1).pdf)>. Acesso em: 19 abr. 2011.
- CORRÊA, J. B. et al. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul de Minas Gerais. **Ciênc. Agrotec**, Lavras, v. 25, n. 6, p.1279-1286, 2001.
- CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.39, n.12, p.1231-1237, dez. 2004
- COSER, T. R. et al . Nitrogênio da biomassa microbiana em solo de Cerrado com aplicação de fertilizante nitrogenado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 3, Mar. 2007 .
- COSTA et al. O aporte de nutrientes pela serrapilheira mostrou-se fortemente associado com a produção de fitomassa. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** v.28, n.5, p. 919-927, 2004.
- COSTA, F. S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v.27, n.3, 2003.
- COSTA, R. S. C. et al. Receita e diferentes manejos na recuperação de cafezal decadente em Presidente Médice, Rondônia, Brasil. In: simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumo Expandido**. Poços de Caldas: SAPC, 2000. p. 1049 - 1052.
- D'ANDRÉA, A. F. et al. Atributos biológicos indicadores da qualidade do solo em sistemas de manejo na região do cerrado no sul do estado de Goiás. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, n. 26, p.913-923, 2002.

Dominy, C.S.; Haynes, R.J. Influence of agricultural land management on organic matter content, microbial activity and aggregate stability in the profiles of two Oxisols. **Biol Fertil Soils**, v. 36, n. 4, p. 298-305, 2002.

EBERHARDT, D. N. et al. Influência da granulometria e da mineralogia sobre a retenção do fósforo em latossolos sob pastagens no cerrado. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. v.32, n.3, p.1009-1016, 2008.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Seropédica). **Banco de dados: Leguminosas**. Disponível em: <<http://www.cnpab.embrapa.br/leguminosas/>>. Acesso em: 6 jul. 2010.

EMBRAPA (Rondonia). Mapa. **Uso da Casca de café para aumento da produtividade, controle de plantas daninhas e fornecimento de nutrientes para cafezal em Rondônia**. Artigo Técnico.

EMBRAPA -Embrapa Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Rio de Janeiro). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análises de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FARIA, C. M. B.; SOARES, J. M.; LEAO, P. C. S.. Adubação verde com leguminosas em videira no submédio São Francisco. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 28, n. 4, ago. 2004.

FERNANDES, D. S. et al.. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em consequência da aplicação foliar de manganês. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 42, n. 3, Mar. 2007 .

FERNANDES, M. F.; BARRETO, A. C.; EMÍDIO FILHO, J. Fitomassa de adubos verdes e controle de plantas daninhas em diferentes densidades populacionais de leguminosas. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 384, n. 9, p.1593-1600, jul. 1999.

FERREIRA, C. R. R. P. T.; VEGRO, C. L. R. Fertilizantes refletem situação desfavorável no mercado de grãos. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, São Paulo, v. 1, n. 9, p.1-12, 15 set. 2006.

FOLONI, J. S. S., ROSOLEM, C. A. Efeito da calagem e sulfato de amônio no algodão: I - Transporte de cátions e ânions no solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.30, n.3, p. 425-432, 2006.

FOSU, M.; KUHNE, R. F.; VLEK, P. L. G. Mineralization and microbial biomass dynamics during decomposition of four leguminous residues. **Journal of Biological Sciences**. V. 7, n. 4, p. 632-637, 2007.

FRANCHINI, J.C. et al. Rapid transformations of plant water-soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, v. 231, n. 1, p.55- 63, 2001.

GARAY, I. et al . Comparação da matéria orgânica e de outros atributos do solo entre plantações de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 27, n. 4, Aug. 2003 .

GERDEMANN, J. W.; NICOLSON, T. H. Spores of mycorrhizal endogene especies extrated from soil by wetsieving and decanting. **Trans. Br. Mycol. Soc.**, v.46, p.235-246, 1963.

GIACOMINI, S. J. et al. Liberação de fósforo e potássio durante a decomposição de resíduos culturais em plantio direto. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1097-1104, 2003.

GROHMANN, F. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.19, n.21, p.319-328, abr. 1960.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. Adubação e nutrição do cafeeiro em sistema orgânico de produção. **Informe Agropecuário**, v. 23, n. 214/215, p. 63-81, 2002.

HUNTER, D. J. et al. Comparative effects of green manure and lime on the growth of sweet corn and chemical properties of an acid oxisol in Western Samoa.

Communications in Soil

JORDAN, C. F. Organic farming and agroforestry: Alleycropping for mulch production for organic farms of southeastern United States. **Agroforestry Systems**. v. 61, n.1, p. 79-90, 2004.

KANG, B. T. Alley cropping: past achievements and future directions. **Agroforestry Systems**, v. 23, n. 2, p. 141-155, 1993.

KANG, B. T., WILSON, G. F.; SIPKENS, L. Alley cropping maize (*Zea mays* L.) and leucaena (*Leucaena leucocephala* Lam) in southern Nigeria. **Plant and Soil**. v.63, n. 2, p. 165-179, 1983.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**. São Paulo, Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KIMARO, A. A. et al. Nutrient use efficiency and biomass production of tree species for rotational woodlot systems in semi-arid Morogoro, Tanzania. **Agroforestry Systems**. V. 71, n. 3, p. 175-184, 2007.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 26, p. 857-867, 2002.

KUMAR, R., et al. Impact of leguminous biomulching on soil properties, leaf yield and cocoon productivity of tropical tasarculture under rain-fed conditions. **J. Entomol.**, v.7: 219-226, 2010.

LANGE, A. et al. Aproveitamento pelo trigo do nitrogênio residual da crotalária (*Crotalaria juncea*) e da uréia aplicado ao solo em cultivo precedente. **Ciênc. Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 6, set. 2009.

LANION, L. E.; HEALD, W. R. Magnesium, calcium and barium. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis**: chemical and microbiological properties. Part.2, 2. ed. Madison: ASA, 1982. p.247-260.

LOVATO, T. et al. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, p.175-187, 2004.

MAFONGOYA, P. L. GILLER, K. E.; PALM, C. A. Decomposition and nitrogen release patterns of tree prunings and litter. **Agroforestry Systems**. V. 38, n. 1, p. 77-97, 2004.

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

MALAVOLTA, E.; FERNANDES, D.R.; ROMERO, J.P. Seja doutor do seu cafezal. **Informações Agronômicas**, v.64, p.1-12, 1993.

MATOS, E. S. et al. Green manure in coffee systems in the region of Zona da Mata, Minas Gerais: characteristics and kinetics of carbon and nitrogen mineralization. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, Out. 2008.

McLEAN, E. O. Soil pH and lime requirement. In: PAGE, A. L.; MILLER, R. H.; KEENEY, D. R. **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Part.2, 2. ed. Madison: ASA, 1982. p.199-223.

MENDONÇA, E. S.; STOTT, D. E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. **Agroforestry Systems**. V. 57, n. 2, p. 117-125, 2004.

MESQUITA, M. G. B., MORAES, S. O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. **Ciênc.Rural**. v.34, n. 3, p. 963-969, 2004.

MINGOTI, S. A. Análise de Componentes Principais. In: MINGOTI, Sueli Aparecida. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: UFMG, 2007. Cap. 3, p. 59-95.

MIYASAKA, S. et al. Efeito da adubação verde com uma gramínea e quatro leguminosas sobre a produção do feijoeiro "da seca", em terra-roxa misturada. **Bragantia**, v.25, n.25, p.277-289, 1966.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v. 21, n.4, 1998.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do solo**. 2º Ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.

MOURA et al. Nutrient use efficiency in alley cropping systems in the Amazonian periphery. **Plant and Soil**, v. 335, n. 1, p. 363–371, 2010.

NASCIMENTO, J. T. et al. Efeito de leguminosas nos atributos físicos e carbono orgânico de um Luvissole. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 29, n. 5, p. 825-831, 2005.

NEVES, L. S.; ERNANI, P. R.; SIMONETE, M. A.. Mobilidade de potássio em solos decorrente da adição de doses de cloreto de potássio. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 33, n. 1, p. 25-32, 2009.

NEVES, M. C. P. **Boas Práticas Agrícolas - Segurança na produção agrícola de alimentos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2006. 22p (Documento 223).

NGORAN, A. et al. Litter decomposition of *Acacia auriculiformis* Cunn. Ex Benth. and *Acacia mangium* Willd. under coconut trees on quaternary sandy soils in Ivory Coast. **Biology and Fertility of Soils**. V. 43, n. 1, p. 102-106, 2006.

NICOLELLA, A. C.; DRAGONE, D. S.; BACHA, C. J. C.. Determinantes da demanda de fertilizantes no Brasil no período de 1970 a 2002. **Rev. Econ. Sociol. Rural**, v. 43, n. 1, mar. 2005.

NOVAIS, R. F. et al. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 471-551.

NOVAIS, Roberto Ferreira de (Ed.). **Tópicos em ciência do solo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa: Revista Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

- OLIVEIRA, L. B. de. Determinação da macro e microporosidade pela “em mesa de tensão” em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesq. agropec. bras.**, v.3, p. 197-200, 1968.
- PALM, C. A. Contribution of agroforestry trees to nutrient requirements of intercropped plants. **Agroforestry Systems**. V. 30, n. 1, p. 105-124, 2004.
- PAULO, E. M. et al . Produtividade do café Apoatã em consórcio com leguminosas na região da Alta Paulista. **Bragantia**, v. 60, n. 3, 2001.
- PAULO, E. M. et al . Produtividade do cafeeiro Mundo Novo enxertado e submetido à adubação verde antes e após recepa da lavoura. **Bragantia**, v. 65, n. 1, 2006.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Rev. Bras. Ciên. Solo**, v. 32, p.911-920, 2008.
- PEREIRA, J. C. et al. 4 Efeito do cultivo da soja na dinâmica da população bacteriana, em solos de Cerrado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.35, n.6, p.1183-1190, 2000.
- PERIN, A. et al . Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesq. agropec. bras.**, v. 39, n. 1, jan. 2004.
- PERIN, A. et al. Cobertura do solo e acumulação de nutrientes pelo amendoim forrageiro. **Pesq. agropec. bras.**, v. 38, n. 7, p.791-796, jul. 2003.
- PERIN, A.; GUERRA, J. G. M.; TEIXEIRA, M. G.; PEREIRA, M. G.; FONTANA, A. Efeito da cobertura viva com leguminosas herbáceas perenes na agregação de um argissolo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 26, n. 3, p. 713-720, 2002.
- QUEIROZ, L. R. et al . Avaliação da produtividade de fitomassa e acúmulo de N, P e K em leguminosas arbóreas no sistema de aleias, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Rev. Árvore**, v. 31, n. 3, 2007.
- QUEIROZ, L. R.; COELHO, F. C.; BARROSO, D. G. Cultivo de milho no sistema de aleias com leguminosas perenes. **Ciênc. agrotec.**, v. 31, n. 5, out. 2007.
- RAGOZO, C. R. A.; LEONEL, S.; CROCCI, A. J. Adubação verde em pomar cítrico. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 28, n. 1, abr. 2006.
- RAIJ, B. van; ZULLO, M. A. T. **Métodos de análise de solo**. Campinas, Instituto Agrônomo, 1977. 16p. (IAC. Circular,63).
- REIS JR., Roberto dos Anjos and MARTINEZ, Hermínia E. P.. **Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro**. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)* [online]. 2002, vol.59, n.3, pp. 537-542. ISSN 0103-9016
- REISENAUER, H. M.; WALSH, L. M.; HOEFT, R. G. Testing soils for sulfur, boron, molibdenum and chlorine. In: WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (edit.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: SSSA, 1973. p.418-425.
- RIO DE JANEIRO. Adriana Maria de Aquino. Embrapa Agrobiologia. **Vermicompostagem**. Seropédica, 2009. Circular Técnica 29.
- ROSOLEM, C.A.; FOLONI, J.S.S.; OLIVEIRA, R.H. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 38, n. 2, p. 301-309, 2003.

- SALET, R.; ANGHINONI, I. & KOCHHANN, R.A. Atividade do Alumínio na solução do solo do sistema plantio direto. **R. Cient. Unicruz**, v.1, p.9-13, 1999.
- SALMI, G. P., SALMI, A. P.; ABOUD, A. C. S. Dinâmica de decomposição e liberação de nutrientes de genótipos de guandu sob cultivo em aleias. **Pesq. agropec. bras.** v.41, n.4, p.673-678, 2006.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análise química em plantas**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Química, 1974. 56p.
- SCHENCK, N.C.; PEREZ, Y. **Manual for the identification of VA Mycorrhizal fungi**. Gainesville, INVAM/University of Florida, 1987. 245 p.
- SENA M. M. et al. Avaliação do uso de métodos quimiométricos em análise de solos. **Química Nova**. v. 23, p. 547-556, 2000.
- SILVA, C.A., MACHADO, P.L.O.A. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, Roberto Ferreira et al. (Ed.). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 275-374.
- SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARAES, P. T. G.. Uso do DRIS na avaliação do estado nutricional do cafeeiro em resposta à adubação potássica. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 27, n. 2, abr. 2003.
- SILVA, J. A. A. et al . Reciclagem e incorporação de nutrientes ao solo pelo cultivo intercalar de adubos verdes em pomar de laranja-'Pêra'. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, abr. 2002 .
- SILVA, J. C. G. et al . A influência da cobertura morta sobre características físicas e químicas de frutos da pinha (*Annona squamosa L.*). **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, 2007a.
- SILVA, M. B. da et al . Atributos biológicos do solo sob influência da cobertura vegetal e do sistema de manejo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 12, Dec. 2007b .
- SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, M. M. Atributos físicos indicadores da qualidade do solo sob sistemas de manejo na bacia do Alto do Rio Grande MG. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 719-730, 2005
- SILVA, Rogério Ferreira da et al . Atributos físicos e teor de matéria orgânica na camada superficial de um argissolo vermelho cultivado com mandioca sob diferentes manejos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 32, n. 6, dez. 2008 .
- SILVA, S. A. et al . Distribuição e incerteza da acidez de um latossolo vermelho-amarelo húmico sob cultivo de café. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa , v. 33, n. 4, 2009 .
- SILVA, V. F.. Vermicompostagem utilizando esterco e palha enriquecida com N e P: Processo de produção e avaliação para a cultura da cenoura (*Daucus carota L.*). 1992. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Itaguaí, 1992.
- SIQUEIRA, J. O. et al. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. **Mycorrhiza**. v. 7, n. 6, p. 293-300, 1997.
- SOUZA et al. Selection of native trees for intercropping with coffee in the Atlantic Rainforest biome. **Agroforest Syst.** v. 80, n. 1, p.1–16, 2010.

SUBRAMANIAN, K. S., BHARATHI, C. JEGAN, A. Response of maize to mycorrhizal colonization at varying levels of zinc and phosphorus. **Biology and Fertility of Soils**, v. 45, n. 2, p. 133-144, 2008.

TEIXEIRA, I. R. et al. Variação dos valores de pH e dos teores de carbono orgânico, cobre, manganês, zinco e ferro em profundidade em Argissolo Vermelho-Amarelo, sob diferentes sistemas de preparo de solo. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 1, 2003

THEODORO, V. C. A. et al. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, Dec. 2003. TIAN, G.; KANG, B. T.; BRUSSAARD, L.. Mulching effect of plant residues with chemically contrasting compositions on maize growth and nutrients accumulation. **Plant and Soil**. V. 153, n. 2, p. 179-187, 2004.

TRIOLA, M. F. **Introdução à estatística**. 10. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2010.

UHLAND, R. E. Rapid method for determining soil mixture. **Soil Science Society of American Proceedings**, v.15, p.391-393, 1951.

VITÓRIA. Adegar Anotonio Formentini. Incaper. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. Disponível em: <http://agroecologia.incaper.es.gov.br/site/images/publicacoes/cartilha_leguminosas.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2010.

VOMOCEL, J. A. Porosity. In: Black, C. A. ed. **Methods of soil analysis**. Madison, Wisc. American Society of Agronomy, 1965. Part 1. p. 299-314.

WEBER, M. A.; MIELNICZUK, J. Estoque e disponibilidade de nitrogênio no solo em experimento de longa duração. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, p.429-437, 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000200020&lng=pt&nrm=i&tlng=pt>. Acesso em: 22 set. 2009.

XIONG et al. Impacts of litter and understory removal on soil properties in a subtropical *Acacia mangium* plantation in China. **Plant and Soil**. V. 304, n. 1, p. 179-188, 2008.

XU et al. Nitrogen fertilizer in leucaena alley cropping. I. Maize response to nitrogen fertilizer and fate of fertilizer-15N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. V. 33, n. 3, p. 219-227, 1992.

ZHAO, P., SHAO, M., WANG, T. Spatial Distributions of Soil Surface-Layer Saturated Hydraulic Conductivity and Controlling Factors on Dam Farmlands. **Water Resources Management**, v.24, n. 10, p. 2247-2266, 2010.

APÊNCICE - A

Tabela A.1: Produção anual de fitomassa, S. S. do Paraíso, MG¹.

C.V. =13,72 %	Produção de massa seca de fitomassa (t ha ⁻¹)					
	Ano	Guandu	Leucena	Bracatinga	Acácia	Média
	2001	22,32 aA	19,57 aA	13,48 aB	7,12 bC	15,62 a
	2002	16,23 bA	18,80 aA	11,58 aB	18,33 aA	16,23 a
	2003	3,16 cB	4,90 bAB	6,58 bA	4,94 bAB	4,89 b
	2005	3,88 cB	5,96 bAB	7,57 bA	5,34 bAB	5,69 b
	Média	11,40 ab	12,31 a	9,80 ab	8,94 b	10,61

¹ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas (variação dentro do ANO) e minúsculas nas colunas (variação dentro de LEG), não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.

Tabela A.2: Análise da composição química na massa seca das leguminosas em 2002 e 2003, S. S. do Paraíso, MG¹.

Nutriente	Unidade	Bracatinga	Guandu	Leucena	Acácia	CV (%)	Média
2002							
Fósforo		0,92 b	0,55 c	1,05 b	1,85 a	15,00	1,09
Nitrogênio		17,96 a	19,20 a	21,12 a	22,08 a	11,54	20,09
Potássio	g kg ⁻¹	3,17 c	5,10 b	6,86 a	5,98 ab	20,24	5,28
Cálcio		14,06 a	10,35 b	14,09 a	11,12 b	12,56	12,41
Magnésio		0,78 a	0,74 a	0,66 b	0,73 a	4,91	0,73
Enxofre		1,26 b	1,21 b	1,58 a	1,46 ab	11,53	1,38
Boro		15,04 b	19,25 ab	24,00 a	19,57 ab	25,35	19,47
Manganês	mg kg ⁻¹	193,34 a	224,10 a	115,35 b	120,84 b	13,95	163,41
Zinco		30,60 a	17,30 b	26,07 a	28,21 a	12,92	25,55
Cobre		14,39 a	9,22 b	12,24 a	13,51 a	16,15	12,34
2003							
Fósforo		0,94 b	1,14 ab	1,352 a	0,59 c	17,43	1,01
Nitrogênio		17,08 b	17,2 b	23,12 a	17 b	18,23	18,60
Potássio	g kg ⁻¹	3,53 b	4,24 b	6,36 a	6,01 a	21,66	5,04
Cálcio		9,31 b	9,45 b	16,73 a	8,73 b	13,44	11,06
Magnésio		1,57 c	1,94 b	2,99 a	1,99 b	12,16	2,12
Enxofre		1,06 b	1,09 b	2,21 a	1,22 b	19,31	1,40
Boro		16,78 c	23,26 b	35,13 a	20,63 b	10,12	23,95
Manganês	mg kg ⁻¹	138,76 b	124,44 b	149,77 b	237,86 a	0,95	162,71
Zinco		27,08 b	28,45 b	42,31 a	26,03 b	20,51	30,97
Cobre		16,73 a	16,38 b	20,29 a	15,54 a	16,16	17,24

¹ Médias seguidas de letras iguais na linha não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.

Tabela A.3: Média dos macronutrientes do café no solo (K: Potássio; Ca: cálcio; S: enxofre; P: fósforo), S. S. do Paraíso, MG¹.

Atributo/ano	Leguminosas					Média
	Guandu	Leucena	Bracatinga	Acácia	Testemunha	
C.V. = 22,0 %	----- K (mg kg ⁻³)-----					
2003	71,33 bA	98,00 abA	88,67 aA	94,00 abA	86,00 bA	87,60 b
2004	71,67 bA	80,67 bA	80,00 aA	58,33 bA	49,00 bA	67,93 c
2005	71,67 bAB	72,67 bAB	91,00 aAB	93,67 abA	54,00 bB	76,60 bc
2006	124,67 aA	118,33 aA	105,00 aA	100,33 aA	123,33 aA	114,33 a
<i>Média</i>	84,83 ab	92,42 a	91,17ab	86,58 ab	78,08 b	
C.V. = 16,9 %	----- Ca (cmol _c dm ⁻³)-----					
2003	2,07 bcBC	3,47 aA	2,73 aAB	2,97 aA	1,47 bC	2,54 a
2004	2,33 bB	3,33 aA	3,23 aA	1,77 bcBC	1,03 bC	2,34 ab
2005	1,47 cB	3,07 aA	3,07 aA	2,47 abA	1,53 abB	2,32 b
2006	3,63 aA	3,13 aA	1,53 bBC	1,47 cC	2,27 aB	2,41 ab
<i>Média</i>	2,38 bc	3,25 a	2,64 b	2,17 c	1,58 d	
C.V. = 38,6 %	----- S (mg kg ⁻³)-----					
2003	68,47 aA	61,33 aA	39,70 abAB	26,63 cB	58,17 aA	50,86 a
2004	16,40 bA	15,43 bA	15,60 bA	42,00 bcA	22,50 bA	22,39 c
2005	45,57 bB	33,17 abB	48,80 aB	81,37 aA	50,27 abB	51,83 a
2006	19,97 bB	37,93 abAB	35,40 abAB	62,83 abA	21,03 bB	35,43 b
<i>Média</i>	37,60 b	36,97 b	34,88 b	53,21 a	37,99 b	
C.V. = 26,16 %	----- P (mg kg ⁻³)-----					
2003	29,03 bB	40,03 bA	16,10 abCD	7,73 aD	23,10 abBC	23,20 b
2004	16,10 cB	27,90 cA	17,00 abB	6,47 aB	14,47 bB	16,39 c
2005	15,70 cAB	21,47 cA	13,20 bAB	6,03 aB	18,00 bA	14,88 c
2006	41,07 aB	57,60 aA	24,47 aCD	10,97 aD	31,90 aBC	33,20 a
<i>Média</i>	25,48 b	36,75 a	17,69 c	7,80 d	21,87 bc	

¹ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas (variação dentro do ano) e minúsculas nas colunas (variação dentro da leguminosa), não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.

Tabela A.4: Média dos atributos Matéria orgânica do solo (MOS), Saturação por bases (V), Soma de Bases (SB), Saturação por Alumínio (m), Alumínio (Al) e Alumínio mais Hidrogênio (Al+H), Capacidade de Troca de Cátions efetiva (t) e pH do solo, S. S. do Paraíso, MG¹.

Ano	Guandu	Leucena	Bracatinga	Acácia	Testemunha	Média
C.V. = 16,0 % ----- MOS (dag kg ⁻¹) -----						
2003	1,47 cB	2,33 bA	2,30 aA	2,23 aA	1,10 bB	1,89 c
2004	1,67 cB	3,37 aA	2,83 aA	2,90 aA	1,33 bB	2,42 b
2005	2,53 bA	2,17 bA	2,57 aA	2,17 aA	2,60 aA	2,41 b
2006	3,30 aA	3,57 aA	2,47 aB	2,50 aB	2,17 aB	2,80 a
Média	2,24 b	2,86 a	2,54 ab	2,45 b	1,80 c	
C.V. = 14,95 % ----- V (%) -----						
2003	43,10 abAB	55,37 aAB	51,00 aAB	56,63 aA	32,73 aC	47,77 a
2004	47,63 abBC	60,67 aB	61,80 aA	34,70 bCD	29,60 aD	46,88 a
2005	36,43 bB	63,10 aA	60,50 aA	53,53 aA	39,60 aB	50,63 a
2006	49,47 aA	39,67 bABC	26,67 bC	30,57 bBC	41,23 aAB	37,52 b
Média	44,16 bc	54,70 a	49,99 ab	43,86 c	35,79 d	
C.V. = 16,3 % ----- SB (cmol _c dm ⁻³) -----						
2003	2,97 bBC	4,60 aA	3,77 aAB	3,93 aAB	1,97 bC	3,45 a
2004	3,07 bBC	4,23 aA	4,23 aAB	2,20 cBC	1,43 bC	3,03 b
2005	2,10 bB	4,13 aA	3,80 aA	3,47 bA	2,20 bB	3,14 ab
2006	4,77 aA	3,97 aAB	2,40 bC	2,57 bcC	3,30 aBC	3,40 ab
Média	3,23 bc	4,23 a	3,55 b	3,04 c	2,23 d	
C.V. = 31,8 % ----- m (%) -----						
2003	2,99 abB	2,18 abB	2,09 bB	1,68 bB	4,01 aA	2,59 b
2004	2,96 abBC	1,25 bC	1,25 bC	3,66 aAB	4,88 aA	2,80 ab
2005	4,57 aA	0,71 bB	1,25 bB	1,32 bB	4,13 aA	2,40 b
2006	1,86 bB	3,07 aAB	4,69 aA	4,29 aA	3,23 aAB	3,43 a
Média	3,09 b	1,80 c	2,32 bc	2,74 b	4,06 a	
C.V. = 17,9 % ----- Al + H (cmol _c dm ⁻³) -----						
2003	3,87 abA	3,70 bA	3,67 bA	3,00 bA	4,03 abA	3,65 b
2004	3,37 bAB	2,70 bB	2,60 bB	4,17 bA	3,23 bAB	3,21 bc
2005	3,67 abA	2,40 bA	2,50 bA	3,03 bA	3,37 abA	2,99 c
2006	4,87 aB	6,17 aA	6,60 aA	5,87 aAB	4,67 aB	5,63 a
Média	3,94 ab	3,74 b	3,84 ab	4,02 a	3,83 ab	
C.V. = 60,2 % ----- Al (cmol _c dm ⁻³) -----						
2003	0,27 abA	0,20 abA	0,17 bA	0,10 bA	0,37 aA	0,22 b
2004	0,27 abAB	0,07 bB	0,07 bB	0,33 abAB	0,40 aA	0,23 b
2005	0,57 aA	0,00 bB	0,07 bB	0,07 bB	0,43 aA	0,23 b
2006	0,17 bB	0,43 aAB	0,67 aA	0,57 aA	0,37aAB	0,44 a
Média	0,32 ab	0,18 b	0,24 ab	0,27 ab	0,39 a	

Tabela A.4 (cont.): Média dos atributos Matéria orgânica do solo (MOS), Saturação por bases (V), Soma de Bases (SB), Saturação por Alumínio (m), Alumínio (Al) e Alumínio mais Hidrogênio (AL+H), Capacidade de Troca de Cátions efetiva (t) e pH do solo, S. S. do Paraíso, MG¹.

Ano	Guandu	Leucena	Bracatinga	Acácia	Testemunha	Média
C.V. = 12,2% ----- t (cmol _c dm ⁻³) -----						
2003	3,23 bB	4,77 aA	3,93 aB	4,03 aAB	2,33 bcC	3,66 ab
2004	3,33 bB	4,30 aA	4,30 aA	2,53 cBC	1,83 cC	3,26 c
2005	2,67 bB	4,13 aA	3,87 abA	3,53 abA	2,63 bB	3,37 bc
2006	4,93 aA	4,40 aAB	3,07 bC	3,13 bcC	3,67 aBC	3,84 a
Média	3,54 bc	4,40 a	3,79 b	3,31 c	2,62 d	
C.V. = 4,4% ----- pH -----						
2003	4,87 bC	5,33 bAB	5,47 aA	5,57 aA	4,93 aBC	5,23 a
2004	5,40 aAB	5,73 abA	5,70 aA	5,03 bB	5,07 aB	5,39 a
2005	4,97 abB	5,80 aA	5,67 aA	5,53 aA	5,10 aB	5,41 a
2006	5,13 abA	4,83 cAB	4,53 bB	4,70 bAB	4,83 aAB	4,81 b
Média	5,09 cd	5,43 a	5,34 ab	5,21 bc	4,98 d	

¹ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas (variação dentro do ano) e minúsculas nas colunas (variação dentro das leguminosas), não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.

Tabela A.5: Média dos micronutrientes do café no solo (Zn: zinco; Cu: cobre; Mn: manganês), S. S. do Paraíso, MG¹.

Ano	Guandu	Leucena	Bracatinga	Acácia	Testemunha	Média
C.V. = 21,2 % ----- Zn (mg kg ⁻³) -----						
2003	6,33 aB	10,90 aA	6,53 aB	5,90 aB	6,47 aB	7,23 a
2004	4,57 abA	5,37 cA	4,33 bA	3,40 bA	3,27 bA	4,19 b
2005	3,77 bAB	5,43 cA	4,60 abAB	3,27 bB	4,30 bAB	4,27 b
2006	6,37 aA	7,83 bA	3,60 bB	3,07 bB	3,73 bB	4,92 b
Média	5,26 b	7,38 a	4,77 bc	3,91 c	4,44 bc	
C.V. = 15,0 % ----- Cu (mg kg ⁻³) -----						
2003	10,03 aC	16,93 aB	15,73 aB	20,00 aA	8,63 aC	14,27 a
2004	3,90 bC	7,20 bB	7,53 bB	10,50 bA	3,37 bC	6,50 b
2005	4,70 bC	6,43 bBC	8,07 bB	12,00 bA	4,43 bC	7,13 b
2006	5,10 bB	7,93 bA	7,87 bA	10,23 bA	5,23 bB	7,27 b
Média	5,93 c	9,62 b	9,80 b	13,18 a	5,42 c	
C.V. = 31,4 % ----- Mn (mg kg ⁻³) -----						
2003	28,10 aC	59,37 aB	81,27 aB	109,87 aA	23,17 aC	60,35 a
2004	25,20 aC	29,87 bABC	50,23 bcA	45,30 cAB	12,60 aC	32,64 bc
2005	20,90 aB	36,30 abB	62,80 abA	63,80 bA	18,83 aB	40,53 b
2006	19,63 aAB	32,83 bAB	39,00 cA	31,87 cAB	11,27 aB	26,92 c
Média	23,46 c	39,59 b	58,33 a	62,71 a	16,47 c	

¹ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas (variação dentro do ano) e minúsculas nas colunas (variação dentro das leguminosas), não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância.

Tabela A.6: Índices balanceados de Kenworthy (B, %) para cafeeiro sob diferentes manejos, em 2003, S. S. do Paraíso, MG¹.

Atributo	Testemunha	Guandu	Leucena	Bracatinga	Acácia
K	56,46	61,06	58,77	59,92	55,34
P	102,05	110,46	107,73	99,32	109,09
N	106,00	96,05	95,96	93,76	94,63
Ca	179,20	139,90	164,31	154,45	117,05
Mg	73,10	66,16	68,76	74,92	58,19
S	122,16	129,16	127,32	116,16	121,99
B	134,59	122,25	131,76	118,72	114,44
Cu	356,01	331,38	259,53	339,48	340,15
Fe	93,55	83,10	85,26	88,74	92,50
Mn	143,33	108,14	112,05	100,32	112,05
Zn	340,97	308,76	300,05	403,23	287,42

Tabela A.7: Média da produtividade de sacas beneficiadas de café por hectare, S. S. do Paraíso, MG.

Ano	Leguminosa					Média
	Acácia	Bracatinga	Leucena	Guandu	Testemunha	
2002	29,15 bA	27,40 aA	26,13 aA	27,86 abA	33,99 aA	28,90 b
2003	14,37 cA	9,60 bA	11,60 bA	9,61 cA	12,82 cA	11,60 d
2004	15,42 cCD	12,25 bD	27,12 aB	20,33 bBC	36,48 aA	22,32 c
2005	62,70 aA	35,11 aB	32,76 aB	34,40 aB	24,43 bC	37,88 a
Média	30,41 a	21,09 c	24,40 bc	23,05 c	26,93 ab	25,18

¹ Médias seguidas de letras iguais, maiúsculas nas linhas (variação dentro do ano) e minúsculas nas colunas (variação dentro das leguminosa), não diferem pelo teste Duncan ao nível de 5% de significância