



RODRIGO MARTINS RIBEIRO

**INFRAVERMELHO E PCA NA ANÁLISE DA
NATUREZA QUÍMICA DO CARBONO EM
DIFERENTES CULTURAS**

LAVRAS – MG

2012

RODRIGO MARTINS RIBEIRO

**INFRAVERMELHO E PCA NA ANÁLISE DA NATUREZA QUÍMICA
DO CARBONO EM DIFERENTES CULTURAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Carlos Alberto Silva

LAVRAS – MG

2012

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Ribeiro, Rodrigo Martins.

Infravermelho e PCA na análise da natureza química do carbono em diferentes culturas / Rodrigo Martins Ribeiro. – Lavras : UFLA, 2012.

63 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Carlos Alberto Silva.

Bibliografia.

1. Idade da planta. 2. Componentes principais. 3. Estabilidade química. 4. Análise. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.41

RODRIGO MARTINS RIBEIRO

**INFRAVERMELHO E PCA NA ANÁLISE DA NATUREZA QUÍMICA
DO CARBONO EM DIFERENTES CULTURAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 27 de fevereiro de 2012.

Dr. Valdemar Faquin UFLA

Dr. Nilton Curi UFLA

Dr. Cleiton Antônio Nunes UFLA

Dra. Emanuelle Mercês Barros Soares UFV

Dr. Carlos Alberto Silva
Orientador

LAVRAS - MG

2012

Dedico este trabalho a minha mãe, Aparecida Maria Cardoso, que sempre sonhou com este momento e me incentivou sempre e ao meu pai, João Martins Ribeiro, por sempre me apoiar e me ajudar.

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre me deu força e trilha meus caminhos de forma tranquila.

A minha Família, pelo apoio, carinho e ajuda para que eu pudesse realizar essa etapa.

Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de cursar o doutorado.

Ao professor Carlos Alberto, pela orientação e amizade.

Aos membros da banca examinadora, professores Nilton Curi, Valdemar Faquin, Cleiton Antônio Nunes e Emanuelle Mercês Barros Soares, pelas colaborações, críticas e valiosas sugestões apresentadas.

Ao professor Mário Guerreiro, do Departamento de Química da UFLA, pelo apoio nas análises de infravermelho.

Ao Pesquisador Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães, por ceder a área do experimento e pelo auxílio de preparação do artigo e ao Técnico Valter José da Silva, pela ajuda na condução do experimento no campo e fornecimento de informação e pela amizade.

Ao CNPQ, pelo apoio financeiro às ações de pesquisa, pela concessão de bolsa de doutorado e de taxa de bancada e à FAPEMIG, processo PPM 00424/09, pelo apoio financeiro à condução deste estudo.

Aos professores do Departamento de Ciência do Solo, por terem contribuído com a minha formação profissional.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo.

Aos “amigos-irmãos” que fiz até aqui durante essa caminhada, pelos momentos de histórias, descontração, apoio e ensinamentos.

À Giovana, pelo companheirismo, paciência, ajuda, carinho e amor.

A todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

“A pessoa que ama os outros também será amada”

(Provérbio chinês)

“O nosso inimigo não é aquele que nos odeia,
mas aquele que nós odiamos”

(Provérbio árabe)

RESUMO GERAL

O objetivo geral com o presente trabalho foi qualificar o teor de carbono em diferentes órgãos vegetais da parte aérea de diferentes culturas agrícolas, em diferentes idades, utilizar a espectroscopia em infravermelho com transformada de Fourier na região média (FTMIR) para caracterizar a natureza química dos materiais avaliados e a análise de componentes principais para interpretar dados dos espectros de infravermelho gerados. Os materiais vegetais foram coletados na Fazenda Experimental da EPAMIG, Faria, e no Campus da UFLA, em Lavras – MG. As atividades e análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo do DCS/UFLA e no CAPQ/DQI/UFLA. Foram avaliados os teores de C no tronco, galhos laterais e na folha, no caso do cafeeiro; para o milho, as partes analisadas foram colmo, folhas, palha, sabugo e grãos; em relação ao feijão carioca, as partes analisadas foram a planta inteira, vagem e grãos; para a crotalária e feijão caupi, foi analisada a planta inteira; para o girassol a parte analisada foi o caule; no caso das plantas de soja, as partes analisadas foram caule e folha juntos, grão e vagem; para o pinus e eucalipto, apenas o cerne da madeira foi analisado. O conjunto de dados foi analisado estatisticamente por meio da análise de variância, sendo as diferenças entre as médias avaliadas pelo teste de Tukey no nível de 5% de probabilidade, utilizando-se delineamento inteiramente casualizado. Utilizou-se a espectroscopia no infravermelho (FTMIR) para avaliar as composições químicas de folha, galho, tronco e grão, para plantas de cafeeiro, e de folha, colmo, palha, sabugo e grão, para a cultura do milho. Foi utilizada para tratamento e interpretação dos dados espectrais a análise de componentes principais (PCA). A faixa de teores de C foi ampla, variando de 38 (girassol) a 48% (cafeeiro). Os teores de carbono das culturas estudadas variam de um órgão vegetal para outro e tendem a incrementar com o aumento da idade do material. Materiais vegetais mais herbáceos e menos lignificados tendem a apresentar menores teores de C do que os verificados para madeiras, troncos e galhos de cafeeiro e sabugo de milho; a técnica de PCA permitiu separar os espectros de infravermelho de um órgão vegetal de outro, independentemente da cultivar e da idade das plantas, tornando possível o agrupamento dos tecidos vegetais quanto à similaridade em natureza química.

Palavras-chave: Teor de carbono. Idade da planta. Análise de componentes principais. Estabilidade química.

GENERAL ABSTRACT

This study aimed to quantify the overall carbon content in different organs of different crops at different ages, using infrared spectroscopy with Fourier transform to characterize the chemical nature of materials and chemometric tools to interpret the infrared spectra. Plants materials sampled were cultivated at the Experimental Farm of EPAMIG, Faria, Lavras – MG. Crop sampled were: coffee, corn, bean, cowpea, sunflower, soybean, pine and eucalyptus. Activities and laboratory tests were performed at the Laboratory for the Study of soil organic matter of the DCS/ UFLA and in the Chemical Analysis and Prospecting Central – CAPQ/DQI/UFLA. We evaluated the levels of C in the trunk, branches and leaf, in the case of coffee; corn was analyzed for leaves, straw, cobs and grains; whole plant of bean and their tissues were also analyzed; for cowpea and crotalaria only the whole plant was analyzed; sunflower part analyzed was only the stem; soybeans was analyzed for stem and leaf, grain and beans, for pines and eucalyptus, only the wood tissue was analyzed. The averages were statistically analyzed by variance analysis and differences between means evaluated by the Tukey test at the level of 5% of probability. We used the infrared spectroscopy (FTMIR) to evaluate the chemical nature of leaf, branch, trunk, and grain, in the case of coffee plants, and leaf, stem, straw, cob and grain, for the corn plants. The range of C values observed for the plant material was wide, ranging from 38 (Sunflower) to 48% (coffee). The carbon content of crops studied varies from one organ plant to another and tend to increase with increasing age of the plant tissue. Materials or plant organs more herbaceous and less lignified are likely to have lower C content than those found for wood, trunks and branches of coffee and corn cob; The PCA technique allows to separate the infrared spectra and to group the crops tissues in terms of chemical nature similarities, regardless of variety and plant age;

Keywords: Carbon. Plant age. Principal component analysis. Chemical stability.

LISTA DE FIGURAS

SEGUNDA PARTE -ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1 Teores médios dos teores de carbono para a cultura do milho, para: (a) cultivar DKB350, (b) GEN2005, (c) PK3075 e (d) GEN2004..... 25
- Figura 2 Teores médios de carbono para a cultura do cafeeiro; (a) cultivar Catuaí Amarelo, (b) Mundo Novo e (c) Catuaí Vermelho 27
- Figura 3 Teores médios de carbono para a cultura do feijoeiro, cultivar Carioca 28
- Figura 4 Teores médios de carbono em diferentes espécies de plantas 29

ARTIGO 2

- Figura 1 Espectros de infravermelho de cafeeiro de diferentes partes da planta e cultivares: com 1 ano de idade, a) Acaiá; b) Catuaí Amarelo; c) Catuaí Vermelho; d) Mundo Novo e; e) Topázio; e com 4 anos de idade, para: f) Catuaí Amarelo; g) Catuaí Vermelho; h) Catucaí; i) Mundo Novo e; j) Paraíso 45
- Figura 2 Espectros de infravermelho de milho de diferentes partes da planta e cultivares: com 60 dias, a) DKB350; b) GEN2004; c) GEN2005; d) PK3075 e; com 120 dias, e) DKB350; f) GEN2004; g) GEN2005; h) PK3075..... 46
- Figura 3 PCA na análise de espectro de infravermelho de cafeeiro 50
- Figura 4 PCA na análise de espectro de infravermelho de planta de milho ... 51

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	11
1	INTRODUÇÃO	11
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	17
	ARTIGO 1 Teor de carbono em tecidos de espécies vegetais de diferentes idades	17
1	INTRODUÇÃO	19
2	MATERIAIS E MÉTODOS	22
2.1	Caracterização da Área de Estudo	22
2.2	Análises Laboratoriais	22
2.2.1	Preparação das Amostras	22
2.2.2	Determinação do Carbono	23
2.2.3	Análise Estatística	24
3	RESULTADO E DISCUSSÃO	25
4	CONCLUSÕES	32
	REFERÊNCIAS	33
	ARTIGO 2 Natureza química de tecidos de cafeeiro e de milho: emprego de infravermelho e de análise de componentes principais	35
1	INTRODUÇÃO	37
2	MATERIAIS E MÉTODOS	40
2.1	Caracterização da Área de Estudo	40
2.2	Análises Laboratoriais	40
2.2.1	Preparo das amostras	40
2.2.2	Análise em Infravermelho	41
2.2.3	Análise de Componentes Principais	41
3	RESULTADO E DISCUSSÃO	43
3.1	Análise em Infravermelho	43
3.2	Análise de Componentes Principais (PCA)	49
4	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	53
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
	ANEXOS	56

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O carbono participa da estrutura de diferentes substâncias encontradas na natureza, desde combustíveis fósseis, até moléculas de replicação e duplicação de células; participa, ainda, de dois importantes gases-estufa, metano e o dióxido de carbono, sendo ainda o elemento químico mais abundante dentre os que compõem os ciclos biogeoquímicos, estando presente também numa série de compostos e enzimas que mediam os processos de respiração e fotossíntese (TONELLO, 2007).

Existem diferentes compartimentos que fazem parte do ciclo do carbono e um deles é o C associado às plantas. O carbono estocado em ecossistemas tropicais (solo e vegetação) representa cerca de 20 a 25% do C terrestre mundial (CERRI et al., 2001).

No Brasil, em ecossistemas e em lavouras é grande a diversidade de espécies vegetais presentes no ambiente ou cultivada. Apesar da crescente evidência de um efeito da composição de espécies no armazenamento e sequestro de carbono, poucos são os estudos que buscam avaliar as implicações dessas relações para a agricultura e o reflorestamento visando à mitigação dos efeitos de um clima em mudança (KIRBY & POTVIN, 2007). Um dos pontos que merece maior atenção é o ligado à natureza química dos tecidos vegetais e aos teores de C presentes nas espécies vegetais e em seus tecidos.

As plantas acumulam matéria seca na forma de carboidratos, proteínas e lipídeos, visando garantir matéria-prima para a síntese de substâncias orgânicas e energia para o crescimento ou manutenção, quando não há produção de fotoassimilados; este acúmulo pode ocorrer em diversos tecidos e órgãos,

incluindo brotos, folhas, galhos, caules, raízes, sementes e frutos (BUCKERIDGE et al., 2004; PIMENTEL, 1998).

É fato que esses órgãos das plantas apresentam naturezas químicas diferenciadas, de modo que cada grupo de compostos orgânicos possui capacidade diferenciada de armazenar carbono. Isso, provavelmente, se explica devido ao fato de os compostos orgânicos de cadeia aberta armazenarem, por unidade de massa, menos C do que os de cadeia fechada, como o benzeno e seus derivados. Nas plantas, a proporção desses compostos varia de uma espécie para outra e, dentro da mesma espécie, de um órgão da planta para outro, de modo que é comum o teor de C variar desde 31,6% em raiz até 46,8% em espigas de milho (JANS et al., 2010). Existem tecidos vegetais, notadamente os associados a espécies para produção de madeira que apresentam cerca de 50% de C (LABBÉ et al., 2006). Diante dessa grande variação nos teores de C em materiais vegetais, e da importância econômica (mercado de créditos de C), ambiental – o maior ou menor aporte de C-resíduo vegetal pode significar maior ou menor teor de C estocado no solo ou na atmosfera, e agrônômica, pois o C-resíduo vegetal é substrato para microrganismos e exerce uma série de outras funções no ambiente; assim, torna-se importante avaliar os teores de C presentes em diferentes órgãos e tecidos vegetais.

Segundo Silva et al. (2004), o carbono orgânico que será estocado no solo é resultado principalmente da taxa de decomposição dos resíduos vegetais que permanecem sobre a superfície do solo e das raízes.

A estabilidade de carbono do solo e, conseqüentemente, a quantidade de carbono armazenado, depende principalmente de dois fatores: a estrutura química das moléculas de carbono (LICHTFOUSEA et al., 1998) e a sua interação com a superfície dos minerais do solo (KAISER & GUGGENBERGER, 2003). De acordo com Monteiro et al. (2004), a natureza e o teor de lignina nas plantas têm conseqüências de natureza técnica e econômica

(industriais, ambientais, e agrícolas), sendo exemplos, os processos industriais de polpação Kraft; neste processo, a presença de alto teor de unidade siringila na lignina é desejável, pois reduz o custo da produção de celulose e o impacto ambiental. Na agropecuária, a presença da lignina nas gramíneas e alfafa reduz a digestibilidade dos ruminantes (ALVES de BRITO et al., 2003). Segundo os mesmos autores, no solo, um maior teor de lignina nos restos vegetais reduz a velocidade de decomposição destes materiais pelos microrganismos.

Uma técnica que vem ganhando espaço na caracterização de resíduos orgânicos é a espectroscopia no infravermelho (IR). Esta técnica apresenta diversas vantagens em relação aos métodos convencionais de análise por ser um método mais simples, "limpo" e barato (SENA et al., 2000). A espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (FTMIR) é uma técnica muito importante na análise orgânica qualitativa e semiquantitativa, sendo amplamente utilizada nas áreas de química de produtos naturais, síntese e transformações orgânicas e, também, de alta relevância na determinação da pureza e quantificação de substâncias orgânicas (LOPES & FASCIO, 2004).

A espectroscopia no infravermelho estuda a interação da radiação eletromagnética com a matéria, sendo um dos seus principais objetivos o estudo dos níveis de energia de átomos ou moléculas, e se baseia no fato de que as ligações químicas das substâncias possuem frequências de vibrações específicas, as quais correspondem a níveis de energia da molécula, chamados nesse caso de níveis vibracionais (ANDRADE, 2009).

A radiação eletromagnética compreendendo a faixa de 4000 a 200 cm^{-1} é considerada a Região do Infravermelho Médio (MIR) (SKOOG et al., 2002). Segundo Hongfu et al. (2006), esta região correlaciona-se com o primeiro estado vibracional excitado e o estado fundamental. Essa região é considerada como a "impressão digital" do espectro que, por sua vez, apresenta bandas específicas de determinados grupos funcionais (BARBOSA, 2007).

Para a interpretação dos espectros de infravermelho, é importante ter como auxílio alguma ferramenta matemática que permita que seja extraído, de um modo mais criterioso, sistemático e científico, um conjunto de informações desses espectros. Tratados de formas pontuais ou por regiões espectrais, os espectros de IV podem gerar poucas informações, de modo que o emprego de ferramentas quimiométricas tem esse propósito, e uma delas é a PCA (*Principal Component Analysis*) ou Análise de Componentes Principais.

Existem poucos estudos que avaliam os teores de carbono em diferentes partes do tecido vegetal. Além disso, não se considera o efeito regulatório da idade da planta sobre os teores de C em seus diferentes órgãos. Este tipo de estudo pode fornecer subsídios para estudos voltados ao inventário de Carbono na biomassa vegetal, em agroecossistemas e em áreas sob vegetação natural.

Diante do exposto, o conhecimento da distribuição do carbono bem como da natureza química dos diferentes órgãos vegetais das culturas agrícolas, com diferentes idades fisiológicas e a caracterização dos materiais (determinar os principais grupos funcionais) tornam-se importante, pois se pode saber a contribuição real de sequestro de carbono que cada espécie de cultura proporciona, além de se poder inferir sobre a estabilidade química dos resíduos vegetais no solo.

Objetivou-se com este estudo, avaliar os teores de carbono e a natureza química por espectroscopia em infravermelho de tecidos de diferentes espécies vegetais de idades (estádios fenológicos), bem como o uso da análise de componentes principais como técnica de sistematização e agrupamento de dados espectrais variados e complexos, com o fim de se agrupar materiais vegetais com similaridades em natureza química.

REFERÊNCIAS

CERRI, C.C. et al. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2001. 41p.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**. Lavras: UFLA/DEX, 2003. Software.

FONSECA, W.; BENAYAS, J. M. R.; ALICE, F. E. Carbon accumulation in the biomass and soil of different aged secondary forests in the humid tropics of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 262, p. 1400-1408, 2011.

GARTEN JR. et al. Intra-annual changes in biomass, carbon, and nitrogen dynamics at 4-year old switchgrass field trials in west Tennessee, USA. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 136, p. 177-184, 2010.

GATTO, A. **Estoques de carbono no solo e na biomassa de plantações de eucalipto na Região Centro-Leste de Minas Gerais**. 2005. 159 p. Doutorado. (Tese em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2005.

JANS, W.W.P. et al. Carbon exchange of a maize (*Zea mays* L.) crop: influence of phenology. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 139, p. 314-324, 2010.

KIRBY, K.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 246 p. 208-221, 2007.

LABBÉ, N.; HARPER, D.; RIALS, T. Chemical structure of wood charcoal by infrared spectroscopy and multivariate analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 54, p. 3492-3497, 2006.

LAMLON, S. H.; SAVIDGE, R. A. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 25, p. 381-388, 2003.

MACHADO, S. do A. et al. Relações quantitativas entre variáveis dendrométricas e teores de carbono para *Mimosa scabrella* Bentham da região metropolitana de Curitiba. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 52, p. 37-60. 2006.

MARCENE, E. A. et al. Variação nos teores e estoques individuais de carbono fixado com o crescimento de *Gmelina arborea* Roxb. na região litorânea do Paraná, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 55-63, 2006.

SAINJU, U. M.; WHITEHEAD, W. F.; SINGH, B. P. Carbon accumulation in cotton, sorghum, and underlying soil as influenced by tillage, cover crops, and nitrogen fertilization. **Plant and Soil**, The Hague, v. 273, p. 219-234, 2005.

SANQUETTA, C. R.; BALBINOT, R. Metodologias para determinação de biomassa florestal. In: FIXAÇÃO DE CARBONO: ATUALIDADES, PROJETOS E PESQUISAS, 2004, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. p.77-92.

SMITH, P. Land use change and soil organic carbon dynamics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 81, p. 169-178, 2008.

THOMAS, S. C.; MALCZEWSKI, G. Wood carbon content of tree species in Eastern China: Interspecific variability and the importance of the volatile fraction. **Journal of Environmental Management**, London, v. 85, p. 659-662, 2007.

WANG QIJI et al. Response of carbon and nitrogen content in plants and soils to vegetation cover change in alpine *Kobresia* meadow of the source region of Lantsang, Yellow and Yangtze Rivers. **Acta Ecologica Sinica**, v. 28, n. 3, p. 885-894, 2008.

WARDLAW, I. F. The control of carbon partitioning in plants. **The New Phytologist**, v. 116, p. 341-381, 1990.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1 Teor de carbono em tecidos de espécies vegetais de diferentes idades

RESUMO

Objetivou-se com este estudo a determinação dos teores de C em diferentes espécies, órgãos vegetais e idades. As coletas das amostras foram realizadas na Fazenda Faria da EPAMIG e na UFLA, no município de Lavras/MG, as atividades e análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo do DCS/UFLA e as culturas avaliadas foram o cafeeiro, milho, feijão carioca, crotalária, girassol, soja, feijão caupi, pinus e eucalipto. Os teores de C foram determinados utilizando analisador elementar, onde apresentaram ampla faixa de variação, de 38 (girassol) a 48% (cafeeiro). A idade da planta não exerce influência sobre os teores de C para o cafeeiro e milho, e para suas cultivares, mas há um maior teor de C na planta inteira de feijoeiro de maior idade. Independentemente do órgão vegetal ou cultivar analisadas, as plantas de cafeeiro apresentam teores elevados de C, em torno de 48%. A folha de milho apresenta menores teores de C do que os outros tecidos dessa espécie vegetal.

Palavras-chave: Culturas agrícolas. Substâncias orgânicas. Idade da planta. Órgãos vegetais.

ABSTRACT

The objective of this study was to determine the levels of C in different species and plant organs. Activities and laboratory tests were performed at the Laboratory for the Study of Soil Organic Matter – LEMOS/DCS UFLA and in the Chemical Analysis and Exploration Central (CAPQ/UFLA) and the crops sampled and analyzed were coffee, corn, bean, sun hemp, sunflower, soybean, cowpea, pine and eucalyptus. The C content showed wide variation which ranges from 38 (sunflower) to 48% (coffee plants). The age of the plant does not influence the levels of C for the coffee and corn, and their varieties, but there is a higher content of C in the older bean plants. Regardless of the organ or plant variety analyzed, the coffee plants presented the highest levels of C, around 48%. Corn leaves have less C content than the other specie organs analyzed.

Keywords: Crops. Organic substances. Plant age. Lignin. Vegetable organs.

1 INTRODUÇÃO

Na natureza, são encontradas diversas substâncias orgânicas com teores variáveis de carbono, desde materiais vegetais com altos teores de C até substâncias ou matrizes muito pobres nesse elemento químico. A título de exemplo, nos horizontes mais profundos de solos arenosos, são verificados teores de C inferiores a 0,2%; por outro lado, alguns troncos de árvores podem apresentar teores de C superiores a 50%. Toda essa ampla faixa de variação nos teores de C sinaliza para a necessidade de se medir com exatidão os teores do elemento químico presentes nos diversos compostos orgânicos, matrizes e espécies vegetais encontradas na natureza. No que tange aos tecidos e espécies vegetais, essas diferenças nos teores de C são também notadas nos diversos biomas presentes na Terra e em áreas agrícolas (WARDLAW, 1990; CERRI et al., 2001; KIRBY & POTVIN, 2007).

Segundo Kirby e Potvin (2007), estudar o ciclo do carbono é a melhor maneira de se estimar o teor de CO₂ e outros gases do efeito estufa, e seu impacto sobre a biosfera. Por ser um dos principais compartimentos de armazenamento de C na natureza, a avaliação dos estoques de C e da biomassa produzida em diferentes biomas e áreas agrícolas torna-se importante, dado que há uma carência de informações referentes aos teores do elemento químico em diferentes órgãos, espécies vegetais e idades. É sabido que os teores de C armazenados no tecido vegetal variam de uma espécie para outra e, dentro de uma mesma espécie/cultivar, de um órgão vegetal para outro. O inventário real do C estocado na biomassa vegetal implica em maior exatidão na avaliação da fitomassa produzida e na quantificação do C em cada parte do tecido vegetal.

Segundo Cerri et al. (2001), nos ecossistemas tropicais (solo e vegetação em termos gerais, o C estocado representa cerca de 20 a 25% do C terrestre mundial. A capacidade de fixação e armazenamento de C no solo é influenciado

por diversos fatores, como, condições climáticas, relevo, drenagem, tipo de manejo de solo, entre outras variáveis que influenciam as taxas de aumento do C orgânico do solo (SMITH, 2008). Gatto (2005) estudando estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto observou que as condições edafoclimáticas regionais influenciaram o estoque de carbono em plantações de eucalipto e que as características responsáveis pelas maiores variações do estoque de carbono do solo foram, altitude, déficit hídrico e teores de argila e alumínio; concluiu-se, também, que o solo representou mais da metade do carbono estocado neste ecossistema.

Com o crescimento vegetal, a relação fonte/dreno modifica, pois, em cada estágio de desenvolvimento, determinados órgãos vão se comportar como fonte ou dreno (WARDLAW, 1990). A lógica do processo é o deslocamento de produtos fotoassimilados de onde são elaborados para os locais de maior demanda metabólica, de modo que a maior demanda metabólica ocorre em órgãos e tecidos em fase de expansão (WARDLAW, 1990). Assim, acompanhar a dinâmica do carbono na planta se configura em um dos aspectos fisiológicos mais importantes relacionados com a produtividade das culturas e com o armazenamento do elemento químico nos tecidos vegetais; conhecimentos sobre assimilação e transporte de carbono na planta, bem como a interação com os fatores ambientais são essenciais para se obter maiores produtividades, e para se criar uma biblioteca de teores de C em diferentes materiais vegetais, que são utilizados cada vez mais no inventário de C na biomassa, para fins de certificação de créditos de C, determinação da “carbon footprint” de diferentes cadeias produtivas, levantamentos e estudos de avaliação da qualidade de sistemas naturais e cultivados etc. (WARDLAW, 1990).

As culturas agrícolas e florestais são importantes para o equilíbrio do balanço global de gás carbônico, pois os diferentes tipos de florestas armazenam diferentes quantidades de carbono em função dos estágios de sucessão, da idade,

do regime de manejo e da composição de espécies (MACHADO et al., 2006). Segundo Sainju et al. (2005), uma das práticas para aumentar o sequestro de carbono em solos agrícolas é o aporte de maiores quantidades de C via resíduos vegetais, e isso implica em sistemas agrícolas com maior produtividade primária líquida e o uso de fontes de nutrientes e de insumos agrícolas com baixo custo energético. Diante desse quadro, a escolha da espécie ou o órgão da planta que armazenam maior quantidade de C por unidade de biomassa se constitui em outra estratégia para o sequestro de C nos sistemas agrícolas. A concentração genérica de carbono nos materiais vegetais de 50% é, atualmente, assumida e amplamente divulgada, mas alguns poucos relatórios apoiados, por poucos estudos, atestam que o conteúdo de carbono em madeira varia, dependendo da espécie, no intervalo de 47-59% (LAMLOM & SAVIDGE, 2003). Para o milho, dependendo do órgão da planta analisado, os teores de C podem variar de 31,2 a 46,8% (JANS et al., 2010). Dados como os mostrados sinalizam para a necessidade de realização de estudos como o aqui proposto.

Segundo Sanquetta e Balbinot (2004) o reflorestamento é uma das modalidades de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) relatadas no Protocolo de Quioto como instrumento para auxiliar na redução das mudanças climáticas. Esses autores afirmam que vários pesquisadores de distintas áreas vêm dedicando esforços para descobrir maneiras viáveis de quantificar a biomassa, pois, isso é essencial para se ter projetos de MDL fidedignos. Para se determinar o papel da vegetação na mitigação global da concentração de CO₂ atmosférico, é essencial ter um inventário rigoroso do teor de carbono armazenado na vegetação. Atualmente, existem poucos dados de pesquisa que realmente definem o teor de carbono nas diferentes culturas agrícolas e florestais. Assim, objetivou-se avaliar neste estudo determinar os teores de carbono em tecidos, cultivares e espécies vegetais com diferentes idades e estádios fenológicos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A coleta de tecidos vegetais foi feita na Fazenda Experimental da EPAMIG, Faria, e na UFLA, em Lavras – MG. O clima da região é classificado com Cwa, no sistema de Köppen, com inverno seco e médias anuais de precipitação e temperatura de 1.530 mm e 19,4 °C, com altitudes de 923 e 920 m, respectivamente. Os solos onde as amostras foram coletadas são Latossolos Vermelho Amarelo distróficos.

2.2 Análises Laboratoriais

As análises laboratoriais e o preparo das amostras foram realizados no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo (LEMOS) da Universidade Federal de Lavras.

2.2.1 Preparação das Amostras

As culturas avaliadas foram café, milho, feijão carioca, crotalária, girassol, soja, feijão caupi, pinus e eucalipto, ambas com 3 repetições, sendo as amostras de café coletadas em plantas com 1 e 4 anos de idade, para três cultivares (Catuaí Amarelo, Catuaí Vermelho e Mundo Novo); as amostras de milho foram coletadas aos 60 e 120 dias de ciclo de cultivo, para quatro cultivares (DKB350, GEN2004, GEN2005 e PK3075); as amostras de feijão carioca foram coletadas com 30 e 90 dias de idade; as amostras de crotalária foram coletadas com aproximadamente 120 dias, para apenas uma cultivar; as amostras de girassol foram coletadas com aproximadamente 85 dias, para apenas

uma cultivar; as amostras de soja foram coletadas com aproximadamente 90 dias com apenas uma cultivar; as amostras de feijão caupi foram coletadas com aproximadamente 70 dias; as amostras de pinus foram coletadas de árvores com diâmetro na altura do peito (DAP) de aproximadamente 40 cm, para apenas uma cultivar; e as amostras de eucalipto foram coletadas de árvores com diâmetro na altura do peito (DAP) de aproximadamente 60 cm com apenas uma cultivar.

A preparação das amostras foi realizada no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo (LEMOS) do DCS/UFLA, sendo as amostras lavadas, separadas e acondicionadas em sacos de papel; em seguida, foram levadas à casa de vegetação para uma pré-secagem, posteriormente, à estufa de circulação de forçada de ar, para secagem até atingirem peso constante, a um temperatura média de secagem de 65 °C. Após atingirem peso constante, foram moídas em moinho TC-650 da marca TECNAL. Posteriormente, as amostras foram peneiradas em peneira de 60 mesh, sendo então o material encaminhado para a análise do carbono. As partes que foram analisadas são: tronco, galhos laterais e a folha, no caso do cafeeiro; para o milho, as partes analisadas foram colmo, folhas, palha, sabugo e grãos; no caso do feijoeiro carioca, as partes analisadas foram a planta inteira (folhas e talos), vagem e grãos; em se tratando da crotalaria e do feijão caupi, foi analisada a planta inteira; para o girassol, a parte analisada foi apenas o caule; para a soja, as partes analisadas foram caule e folha juntos, grão e vagem; para o pinus e eucalipto, apenas o cerne da madeira foi analisado.

2.2.2 Determinação do Carbono

As análises de carbono foram realizadas no LEMOS/DCS-UFLA, em analisador da marca Elementar modelo Vario TOC Cube. O sistema de análise é baseado na combustão completa da amostra a 950 °C, seguida por redução,

separação e detecção dos produtos da combustão em detector no infravermelho. Para realização das análises, foram pesadas de 2 a 4 mg de amostras (precisão de $\pm 0,001$) em uma balança marca Mettler Toledo, acoplada ao equipamento de análise do tipo TOC. Para a calibração do analisador da Elementar, foi utilizado um padrão de sucrose e o bifitalato de potássio.

2.2.3 Análise Estatística

O estudo foi conduzido utilizando o delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, e o programa estatístico SISVAR (Ferreira, 2003) foi utilizado para a execução das rotinas das análises estatísticas. Os dados obtidos foram analisados estatisticamente por meio da análise de variância e as diferenças entre as médias avaliadas pelo teste de Tukey noo nível de 5% de probabilidade.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os teores de carbono para a cultura do milho são apresentados na Figura 1.

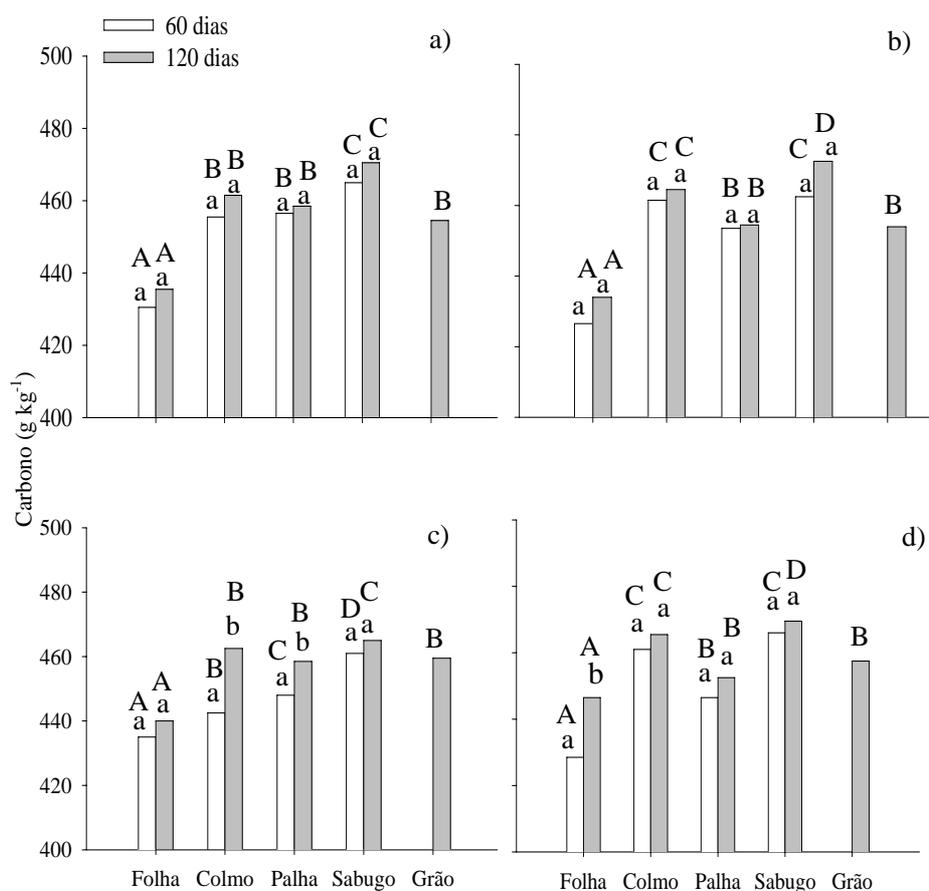


Figura 1 Teores médios dos teores de carbono para a cultura do milho, para: (a) cultivar DKB350, (b) GEN2005, (c) PK3075 e (d) GEN2004

Nota: Estatística ao nível de 5% de significância. Letras maiúsculas comparam os teores de C entre os órgãos do milho, dentro de cada idade das plantas; Letras minúsculas comparam as médias de teores de C para a idade da planta, dentro de cada órgão vegetal.

No gráfico da cultura do milho (Figura 1), letras minúsculas iguais dentro da idade não diferiram estatisticamente no nível de 5% de probabilidade, bem como letras maiúsculas dentro de órgãos, em cada idade, não diferiam estatisticamente. As cultivares GEN 04 e PK 3075 mostraram diferença significativa entre idades, entretanto as cultivares DKB 350 e GEN 05 não apresentaram diferenças, porém, observa-se uma tendência de maior teor de carbono com o aumento da idade para ambas as cultivares. Houve diferença significativa para os teores de C entre os órgãos da cultura do milho, independentemente da idade e cultivar estudada. Os teores de carbono variaram entre 43 e 47 %, sendo que os maiores teores foram observados para o sabugo com 120 dias, independentemente da cultivar estudada. Elevadas diferenças nos teores de carbono em órgãos vegetais de milho foram também observados por Jans et al. (2010), tendo em vista que, nesse estudo, as raízes de milho apresentaram teor de C em torno de 31%, ao passo que as espigas apresentaram teores em torno de 47%, faixa de variação superior à observada neste estudo para as plantas de milho. Em geral, os teores de C em folhas de milho são menores do que os verificados para colmo, palha, sabugo e grão.

Os teores de carbono para a cultura do cafeeiro são apresentados na Figura 2. No gráfico da cultura do cafeeiro, letras minúsculas iguais dentro da idade e dentro de órgãos não diferiram estatisticamente no nível de 5% de probabilidade.

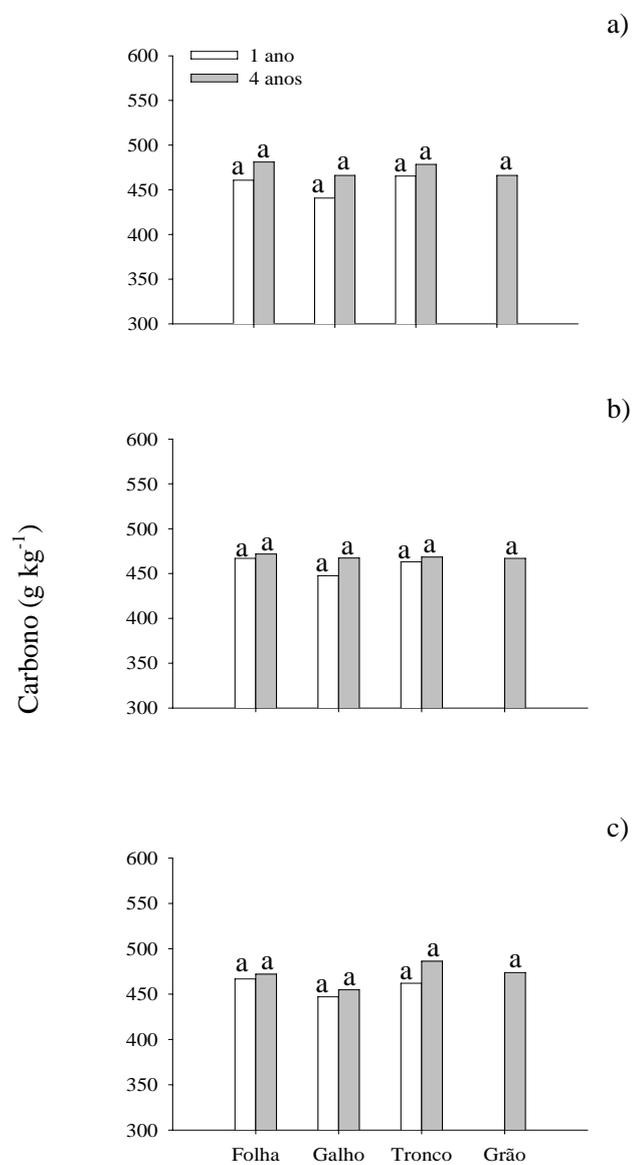


Figura 2 Teores médios de carbono para a cultura do cafeeiro; (a) cultivar Catuaí Amarelo, (b) Mundo Novo e (c) Catuaí Vermelho

Nota: Estatística ao nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam as médias de teores de C para a idade da planta e dentro de cada órgão vegetal.

Em geral, os teores de C determinados para cultivares e tecidos de cafeeiro variaram pouco (Figura 2) e são superiores aos notados para o milho. Para a cultura do café, os teores C não variam em função da cultivar amostrada, tampouco em relação à idade e órgão vegetal analisado. Em geral, os teores de C medidos no tecido de cafeeiro variaram na faixa de 45 a 48%. Observando os dados relativos à cultura do cafeeiro (figura 2), os maiores teores foram notados no tronco e folha, não havendo diferença significativa entre eles. Notou-se que existe uma tendência de incremento no teor de carbono com o aumento da idade.

Os dados relativos aos teores de C em plantas de feijoeiro são apresentados na Figura 3. Na Figura, letras minúsculas iguais dentro de órgãos (90 dias) não diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade.

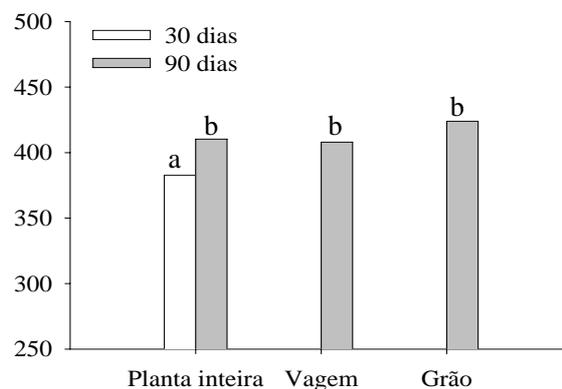


Figura 3 Teores médios de carbono para a cultura do feijoeiro, cultivar Carioca

Nota: Estatística no nível de 5% de probabilidade. Letras minúsculas comparam as médias de teores de C dentro de cada órgão vegetal.

Os teores de C no feijoeiro são em torno de, 40%, e eles não variam muito de um tecido vegetal para outro, sendo o maior teor observado para o grão. Entretanto, foi verificado que o teor de C na planta inteira é menor para

tecidos mais jovens do que para os com maior tempo de cultivo, mostrando diferença significativa.

Na Figura 4, são apresentados os teores de C para diferentes espécies vegetais. Letras minúsculas iguais não diferiram estatisticamente no nível de 5% de probabilidade.

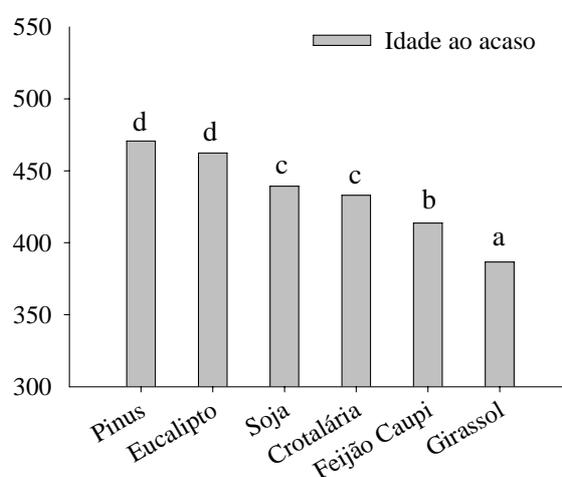


Figura 4 Teores médios de carbono em diferentes espécies de plantas

Nota: Pinus (tronco com DAP de 40 cm), Eucalipto (tronco com DAP de 60 cm), Soja (planta inteira 90 dias), Crotalária (planta inteira 120 dias), Feijão Caupi (planta inteira 70 dias) e Girassol (planta inteira 85 dias). Estatística no nível de 5% de probabilidade.

A faixa de variação do teor de C foi ampla, variando de 37% (girassol) a 48% (pinus) Figura 4. Analisando os dados dessa figura, foi possível observar que plantas de pequeno porte e herbáceas possuíam menores teores de C do que os verificados para os tecidos (madeira) mais lignificados de pinus e eucalipto.

Avaliando as culturas apresentadas na Figura 4, foi observada diferença significativa para os teores de C, sendo que soja e crotalária não apresentaram diferença significativa entre si, bem como eucalipto e pinus.

De acordo com os resultados apresentados nas Figuras de 1 a 4, nota-se que existe uma tendência de incremento no teor de carbono com o aumento da idade da planta, ou seja, quanto mais velho é o material vegetal, maior é o seu teor de carbono, independentemente da cultivar e/ou órgão vegetal das plantas estudadas, fato que corrobora com os normalmente encontrados na literatura (MARCENE et al., 2006; FONSECA et al., 2011; LAMLLOM & SAVIDGE, 2006). Outro ponto que se pode observar é que existem diferenças dos teores de carbono entre os órgãos das plantas. Machado et al., (2006) também observaram este resultado trabalhando com árvores da espécie *Mimosa scabrella* Bentham (bracatinga). Garten Jr. et al., (2010) também encontraram diferença no teor de carbono entre órgãos das plantas de gramínea (capim), trabalhando com a parte subterrânea dessas plantas.

Thomas e Malczewski (2007), trabalhando com diferentes espécies arbóreas, também encontraram diferenças significativas dos teores de carbono entre espécies, e os valores por eles determinados variaram entre 48,4 a 51,0%. Marcene et al. (2006), trabalhando com plantações de *Gmelina arborea* Roxb., avaliaram o teor de carbono em função da idade. Esses autores não encontraram diferença significativa em relação à idade, mas encontraram diferença significativa entre árvores; a média do teor de carbono foi de 40,47%. Nesse estudo, foi verificado que os tecidos mais lignificados e as madeiras de eucalipto e pinus analisadas apresentam teores de C maiores do que os observados para tecidos mais herbáceos e ricos em nitrogênio, como os de espécies de leguminosas, de modo que os dados alcançados refletem em parte os teores de C verificados para madeiras diversas, como os notados no estudo de Labbé et al. (2006), que obtiveram teores de C para tronco de árvores em torno de 50%.

Lamlom e Savidge (2003), ao trabalharem com 41 espécies de árvores norte americanas, verificaram a variação de 46,27% a 55,2% no teor de carbono das espécies estudadas, e que os teores de C nas espécies folhosas variaram de

46,27% a 49,97%; em espécies resinosas, a variação no teor de C foi de 47,21% a 55,2 %. Thomas e Malczewski (2007) avaliando árvores do leste da China, notaram também uma diferença no teor de carbono de uma espécie para outra. Wang Qiji et al. (2008), determinaram teores de carbono na parte aérea de pastagens levemente a severamente degradadas na região Tibet. Esses autores, além de observarem que existe uma diferença nos teores de C entre os grupos de espécies (gramíneas, 42,1% de C; ciperáceas, 40,8% e “forbs”, 42,5%), e notaram que o manejo também influenciou o teor de carbono da parte aérea das culturas estudadas, com redução dos teores de C nos ambientes de pastagem severamente degradada.

Fonseca et al., (2011) estudaram o acúmulo de carbono e biomassa em árvores com diferentes idade, em solo da Costa Rica, e observaram um aumento do teor de carbono e acúmulo de biomassa com o acréscimo na idade das plantas avaliadas. Esses autores notaram ainda a diferença existente entre o teor de carbono de um órgão da planta para outro, sendo os maiores teores observados para o tronco.

4 CONCLUSÕES

Os teores de C apresentaram ampla faixa de variação, de 38 (girassol) a 48% (pinus e cafeeiro). A idade da planta não exerce influência sobre os teores de C para o cafeeiro e milho, e para suas cultivares, mas há um maior teor de C na planta inteira de feijoeiro de maior idade, e um menor teor de C nas folhas em relação aos outros tecidos de milho. Independentemente do órgão vegetal ou cultivar analisadas, as plantas de cafeeiro apresentam teores elevados e constantes de C, em torno de 48%. A faixa de variação nos teores de C para plantas de milho apresentam maior amplitude de variação do que as os tecidos vegetais de cafeeiro analisados, contudo não foram verificadas diferenças nos teores de C para cultivares de milho, para um mesmo órgão da planta.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, L. C. A. **Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos**. Viçosa: UFV, 2007. 189 p.
- CANELLAS, L. P. et al. Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos sólidos urbanos I. Métodos espectroscópicos (IV, UV e RMN 13C) e microscopia eletrônica de varredura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 741-750, 2000.
- CANELLAS, L. P.; RUMJANEK, V. M. Espectroscopia na região do infravermelho. In: CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. **Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos Goytacazes: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2005. p. 143-159.
- DIAS, B. O. **Caracterização da matéria orgânica de Latossolo sob aplicação continuada de lodo de esgoto**. 2005. 68 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2005.
- DIAS, B. O. **Compostagem de esterco de galinha: composição química da matéria orgânica e extração de substâncias húmicas**. 2009. 107 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2009.
- GOKULAKUMAR, B.; NARAYANASWAMY, R. Fourier transform-infrared spectra (ft-ir) analysis of root rot disease in sesame (sesamum indicum). **Romanian Journal of Biophysics**, Bucharest, v. 18, p. 217–223, 2008.
- KELLEY, S. S. et al. Rapid analysis of the chemical composition of agricultural fibers using near infrared spectroscopy and pyrolysis molecular beam mass spectrometry. **Biomass and Bioenergy**, Amsterdam, v. 27, p. 77 – 88, 2004.
- LABBÉ, N. et al. FT-IR imaging and pyrolysis-molecular beam mass spectrometry: new tools to investigate wood tissues. **Wood Science and Technology**, Virgínia, v. 39, p. 61–77, 2005.
- LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 670-673, 2004.

MATOS, G. D. et al. Análise exploratória em química analítica com emprego de quimiometria: PCA e PCA de imagens. **Revista Analytica**, São Paulo, n. 6, p. 38-50, ago./set. 2003.

RANELLS, N. N.; WAGGER, M. G. Nitrogen release grass and legume cover crop monocultures and bicultures. **Agronomy Journal**, Madison, v. 88, p777-782, 1996.

REINERTSEN, S. A.; ELLIOT, L. F.; COCHRAN, V. L. The role of available C and N in determining the rate of wheat straw decomposition. **Soil Biology & Biochemistry**, Elmsford, v.16, p. 459-464, 1984.

RÍO, J. C. et al. Composition of non-woody plant lignins and cinnamic acids by Py-GC/MS, Py/TMAH and FT-IR. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 79, p. 39-46, 2007.

SANJUÁN, R. et al. Morphological and Chemical Composition of Pith and Fibers from Mexican Sugarcane Bagasse. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 59, p. 447-450, 2001.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2006. 490 p.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. 2. ed. New York: J. Willey, 1994. 496 p.

YU, P.; D. A. et al. Use of synchrotron FTIR microspectroscopy to identify chemical differences in barley endosperm tissue in relation to rumen degradation characteristics. **Canadian Journal of Animal Science**, Ottawa, v. 84, n. 3, p. 523-527, 2004.

ARTIGO 2 Natureza química de tecidos de cafeeiro e de milho: emprego de infravermelho e de análise de componentes principais

RESUMO

Com este estudo avaliou-se a natureza química de tecidos vegetais de cafeeiros e plantas de milho; foram amostradas lavouras de cafeeiro de 1 e 4 anos de idade, e de milho, aos 60 e 120 dias após a germinação. Utilizou-se a espectroscopia no infravermelho (FTMIR) para avaliar em plantas de cafeeiro a natureza química de folhas, galhos, troncos e grãos, e de folhas, colmos, palhas, sabugos e grãos, em plantas de milho. A fim de agrupar órgãos vegetais com similaridades de natureza química, foi empregada a técnica de análise de componentes principais (PCA), utilizando-se as transmitâncias correspondentes a cada região espectral. Pela análise de FTMIR, foram observados, em todos os espectros, sinais referentes a C-alquil, C-carboxílico, C-aromático e C-polissacarídeo, entre outros grupos químicos avaliados, sendo registradas diferenças químicas entre órgãos vegetais. Com o auxílio da análise de PCA, conseguiu-se separar as amostras quanto à similaridade em natureza química, de modo que foi observado, para o cafeeiro, independentemente da idade das plantas, em que os órgãos vegetais não apresentam similaridade quanto à natureza química. A idade das plantas exerce influência na natureza química dos tecidos avaliados. Com o avanço da idade de plantas de milho, a palha, sabugo e grãos apresentam similaridade em termos de natureza química.

Palavras-chave: Carbono lábil. Tecidos de plantas. Recalcitrância . Estabilidade química.

ABSTRACT

This study evaluated the chemical nature of plant tissue coffee and maize crops. It was sampled coffee from 1 and 4 years of implantation and corn tissues with 60 and 120 days after germination. We used the infrared spectroscopy (FTMIR) to evaluate the chemical natures of leaf, branch, stem and grain for e coffee plants and leaf, stem, straw, cob and grain for corn plants. In order to group plant organs with similarities in the chemical nature, we used the technique of principal component analysis, using the transmittance (FTMIR) data for each spectral region. For FTMIR analysis, it was observed in all spectra signals related to C-alquil, C-carboxílico, and C-aromatic and C-carbohydrate, among other chemical groups assessed. Plant organs differs in terms of concentrations of the chemical groups already described. With the help of PCA analysis, It was possible to separate the samples with respect of similarity in chemical nature. It was observed that, for the coffee, regardless of age to plants, plant parts are dissimilar in terms of chemical nature. As the corn tissue age increases straw, cob and grain show similarity in terms of chemical nature.

Keyword: labile carbon. Plant tissues. Recalcitrance. Chemical stability.

1 INTRODUÇÃO

A espectroscopia no infravermelho estuda a interação da radiação eletromagnética com a matéria, sendo um dos seus principais objetivos o estudo dos níveis de energia de átomos ou moléculas. Esta técnica se baseia no fato de que as ligações químicas das substâncias possuem frequências de vibrações específicas, as quais correspondem aos níveis de energia da molécula (chamados nesse caso de níveis vibracionais) (SILVERSTEIN et al., 2006).

O uso da espectroscopia no infravermelho na caracterização de resíduos tem gerado resultados importantes na avaliação da sua qualidade, pois fornecem informações sobre os grupos funcionais que constituem a matéria orgânica (DIAS, 2005; 2009). O conhecimento da natureza química do carbono, bem como sua diferença em termos de natureza química dentro de diferentes órgãos da parte aérea e da raiz de diferentes espécies vegetais, com diferentes idades fisiológicas torna-se importante, pois, além da relação C/N, as proporções dos carboidratos estruturais e lignina e de compostos solúveis e lábeis, também, podem variar entre as espécies vegetais (RANELLS & WAGGER, 1996). Entender a natureza química da biomassa vegetal se configura em uma ação fundamental na determinação de seus usos potenciais, e na valoração de uma fonte específica de biomassa (KELLEY et al., 2004).

As mudanças químicas na composição da fitomassa podem induzir às alterações nas taxas de decomposição, uma vez que esse processo é controlado por aspectos quali-quantitativos, como, por exemplo, as concentrações de N, lignina e polifenóis, além das relações C/N, lignina/N e lignina + polifenóis/N. Isto pode dizer o tempo que este carbono advindo da fitomassa será adicionado à matéria orgânica do solo ou que permanecerá no ambiente (REINERTSEN et al., 1984).

Sanjuán et al., (2001), trabalhando com bagaço de cana-de-açúcar e utilizando análise de infravermelho com transformada de Fourier (FTMIR), verificaram uma semelhança em natureza química da fibra e da medula do bagaço. Gokulakumar e Narayanaswamy (2008) trabalharam com raízes de gergelim para monitorar a presença de bandas ligadas a proteínas específicas de doenças que causam a podridão das raízes e conseguiram observar estas bandas de absorção, e que indicaram qual tratamento foi mais eficiente no combate à doença.

Yu et al., (2004) avaliaram diferentes cultivares de cevada e observaram que a cultivar influenciou na intensidade das bandas de absorção espectral, o que levaram a inferir sobre a variação dos teores de amido e proteína dentro das cultivares estudadas.

O espectro de infravermelho de uma substância possui um conjunto muito grande de informações, o que, em determinados estudos, pode dificultar sua análise sem o uso de alguma ferramenta quimiométrica. Nesses casos, tais ferramentas podem contribuir de modo mais criterioso, na extração das informações mais importantes para a interpretação do conjunto de dados espectrais. Uma ferramenta útil para este fim é a PCA (*Principal Component Analysis*) ou Análise de Componentes Principais. A PCA permite extrair, de um determinado conjunto de dados, informações significativas para a sua interpretação. O conjunto de dados é organizado na forma de uma matriz. Assim, com a PCA é possível efetuar uma simplificação ou redução da dimensão original dos dados e, então empregá-los em problemas de modelagem, detecção de amostras anômalas (outliers), entre outros (MATOS et al., 2003).

Labbé et al., (2005) utilizando a análise de PCA e a FTMIR conseguiram diferenciar espectros de infravermelho de árvores transgênicas e concluíram que ambas as ferramentas são úteis para uma análise rápida das diferenças na natureza química de árvores transgênicas. Neste mesmo estudo

avaliando a estrutura química de carvão de madeira por FTMIR e PCA, conseguiram diferenciar a composição química do carvão de acordo com a espécie da madeira bem como a temperatura de queima da madeira.

Segundo Kelley et al. (2004), a PCA permite distinguir amostras com alta concentração de um componente de amostras com baixa concentração desse mesmo componente. Devido ao agrupamento que a técnica realiza com base em suas semelhanças e diferenças, e fornece informações sobre as características de massa espectral (*loadings*) que são à base das semelhanças e diferenças de concentrações químicas.

Objetivou-se com este estudo avaliar a composição química de tecidos de cafeeiro e milho, com diferentes idades e, ou, tempos de cultivo, por meio do emprego da espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTMIR) e da análise de componentes principais (PCA) na interpretação de espectros de FTMIR, visando o agrupamento dos materiais vegetais quanto à similaridade em termos de natureza química das espécies e tecidos vegetais estudados.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área de Estudo

As amostras de tecidos vegetais de cafeeiros e de plantas de milho foram coletadas na Fazenda Experimental da EPAMIG, na região de Lavras denominada Faria. O clima da região é classificado com Cwa, no sistema de Köppen, com inverno seco e médias anuais de precipitação e temperatura de 1.530 mm e 19,4 °C, com altitudes de 923 e 920 m, respectivamente. Os solos onde as amostras foram coletadas são Latossolos Vermelho Amarelo distrófico.

2.2 Análises Laboratoriais

As análises laboratoriais e o preparo das amostras foram realizados no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo (LEMOS) do Departamento de Ciência do Solo e na Central de Análise e Prospecção Química (CAPQ) da Universidade Federal de Lavras.

2.2.1 Preparo das amostras

As culturas estudadas foram o cafeeiro e o milho, sendo as amostras dos tecidos vegetais de cafeeiros foram coletadas em lavouras de 1 e 4 anos de idade, para sete cultivares (Acaiá, Catuaí Amarelo, Catuaí Vermelho, Catucaí, Mundo Novo, Paraíso e Topázio), com 3 repetições por tratamento; as amostras de plantas de milho foram coletadas em lavouras com 60 e 120 dias de cultivo, para quatro cultivares (DKB350, GEN2004, GEN2005 e PK3075), em 3 repetições. O preparo das amostras foi realizado no Laboratório de Estudo da Matéria Orgânica do Solo (LEMOS) do DCS/UFLA. As amostras foram

cuidadosamente lavadas, separadas e acondicionadas em sacos de papel, submetidas, em casa de vegetação, a uma pré-secagem e, posteriormente, foram acondicionadas em estufa de circulação forçada de ar, para secagem, até atingirem peso constante, a temperatura de 65-70 °C. Após atingirem peso constante, foram moídas em moinho TC-650 da marca TECNAL. As amostras foram peneiradas em peneiras de 0,7 e 0,3 mm, sendo utilizado na análise por espectrômetro em infravermelho, somente o material que passou em peneira com malha de 0,3 mm. As partes analisadas foram: folhas, tronco, galhos laterais e grãos, no caso de cafeeiros; para as plantas de milho, foram analisadas amostras de colmo, folhas, palha, sabugo e grãos.

2.2.2 Análise em Infravermelho

As análises em espectrômetro de infravermelho foram realizadas na Central de Análise e Prospecção Química (CAPQ/DQI-UFLA), sendo as amostras de cada material ou tecido vegetal caracterizadas pela técnica de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTMIR). As pastilhas de KBr foram obtidas aplicando-se uma pressão de 4 Mg cm⁻², com o auxílio de uma prensa hidráulica, durante 30 segundos, a uma mistura de 1 mg de material vegetal e 100 mg de KBr; posteriormente, essas pastilhas foram analisadas em espectrofotômetro Excalibur FT 3000 Series detector DTGS, operando em um intervalo de número de onda de 4.000 a 400 cm⁻¹, com resolução de 16 cm⁻¹.

2.2.3 Análise de Componentes Principais

Para auxílio na interpretação dos dados espectrais, foi utilizada a análise de componentes principais (PCA), visando identificar materiais vegetais com

similaridade em natureza. O *software* utilizado na análise de PCA foi o MatLab 7.5 da empresa MathWorks. O tratamento realizado nos dados antes de se aplicar a PCA foi a derivada da terceira com polinômio de grau 2.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

3.1 Análise em Infravermelho

As possíveis interpretações das bandas de absorção dos espectros foram feitas com base nos trabalhos e bandas espectrais de IV descritas em Stevenson (1994), Canellas et al. (2000), Lopes & Fascio (2004), Canellas & Rumjanek (2005), Silvestein et al. (2006), e Barbosa (2007).

Os espectros de infravermelho foram obtidos em triplicata, sendo observadas, em todos os espectros, bandas de absorção na região de 3.800 a 3.000 cm^{-1} , que podem ser atribuídas às vibrações de O-H ou N-H livres (SILVERSTEIN et al., 2006). A presença de grupamentos alifáticos foi notada devido à presença dos grupos C-H (CH_3) na faixa de absorbância de 2.935 a 2.946 cm^{-1} , e as dos grupos C-H (CH_2), na região de 2.862 a 2.867 cm^{-1} . A presença desses grupos é confirmada pela banda de absorção em torno de 1.460 cm^{-1} (BARBOSA, 2007). As bandas de absorção ao redor de 1.700 cm^{-1} correspondem a vibrações de grupos C=O de cetonas, quinonas e grupos COOH (carboxílicos); já a banda de absorção em torno de 1.650 cm^{-1} pode ser atribuída à presença do íon carboxilato (deformação axial assimétrica); bandas de absorção acentuadas variando de 1.400 a 1.465 cm^{-1} podem ser atribuídas a grupamentos CH_3/CH_2 ; as bandas de absorção em torno de 1.300 e 1.200 cm^{-1} são indicativas da presença de grupos C-O e OH de COOH (STEVENSON 1994; BARBOSA, 2007).

Os espectros obtidos das diferentes partes aéreas de cafeeiros com 1 e com 4 anos de idade são apresentados na Figura 1.

Na Figura 2, são mostrados os espectros obtidos dos diferentes órgãos vegetais de plantas de milho, com 60 e 120 dias de cultivo.

As partes estudadas tanto para as plantas de milho quanto para os cafeeiros apresentaram uma forte e larga banda de absorção entre 3.347 e 3.426 cm^{-1} , decorrente de hidroxilas com ponte de hidrogênio com intensidade semelhante, independentemente das idades das plantas e das cultivares e espécies analisadas.

Na região atribuída a estiramentos de grupos C-H alifáticos (2.940 a 2.840 cm^{-1}), todas as partes, idades, espécies e cultivares das duas culturas estudadas, apresentaram bandas de absorção entre 2.906 a 2.930 cm^{-1} , sendo que as folhas de cafeeiros e os grãos de milho apresentaram uma banda de absorção um pouco mais nítida na região 2.856 e 2850 cm^{-1} , respectivamente, quando comparada com as outras partes vegetais, indicando assim menor presença de ramificação nas cadeias alifáticas.

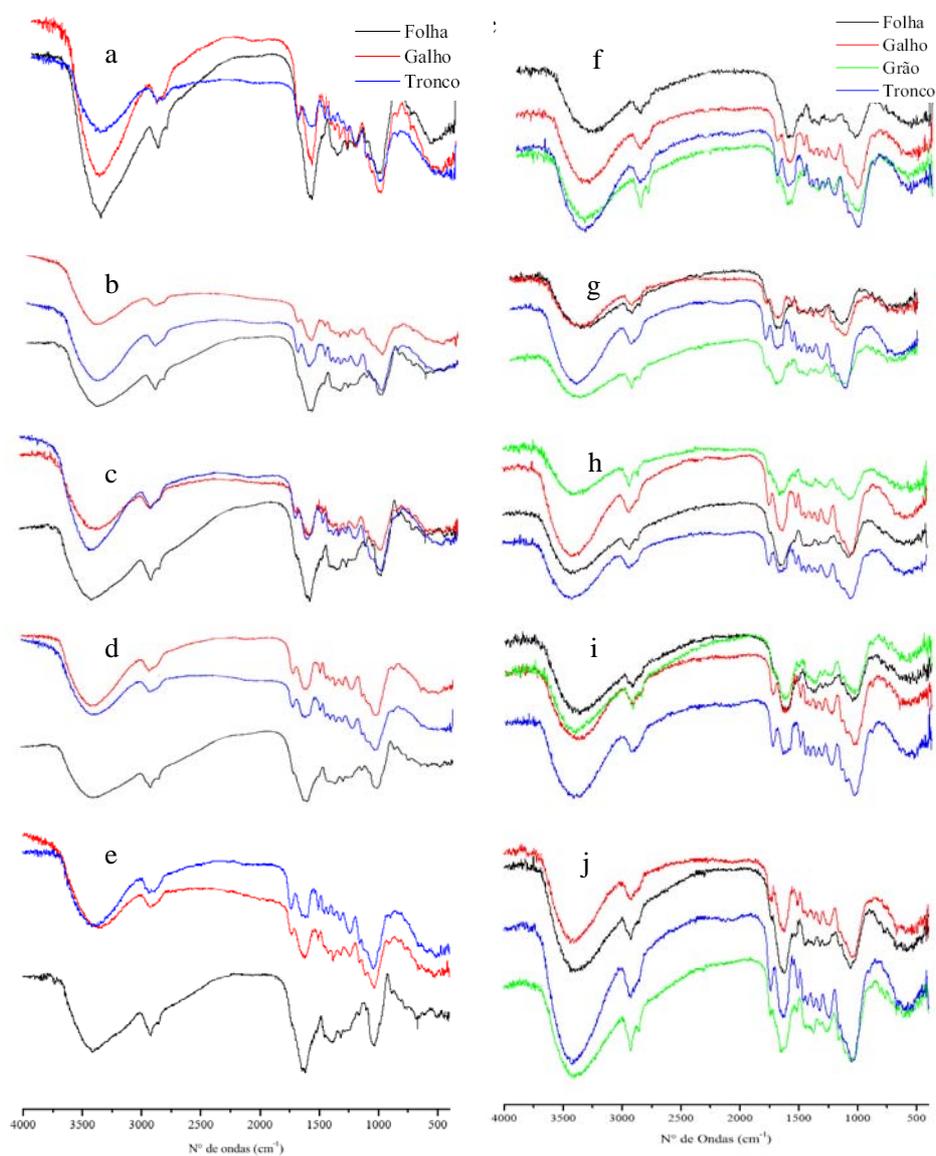


Figura 1 Espectros de infravermelho de cafeeiro de diferentes partes da planta e cultivares: com 1 ano de idade, a) Acaiá; b) Catuaí Amarelo; c) Catuaí Vermelho; d) Mundo Novo e; e) Topázio; e com 4 anos de idade, para: f) Catuaí Amarelo; g) Catuaí Vermelho; h) Catucaí; i) Mundo Novo e; j) Paraíso

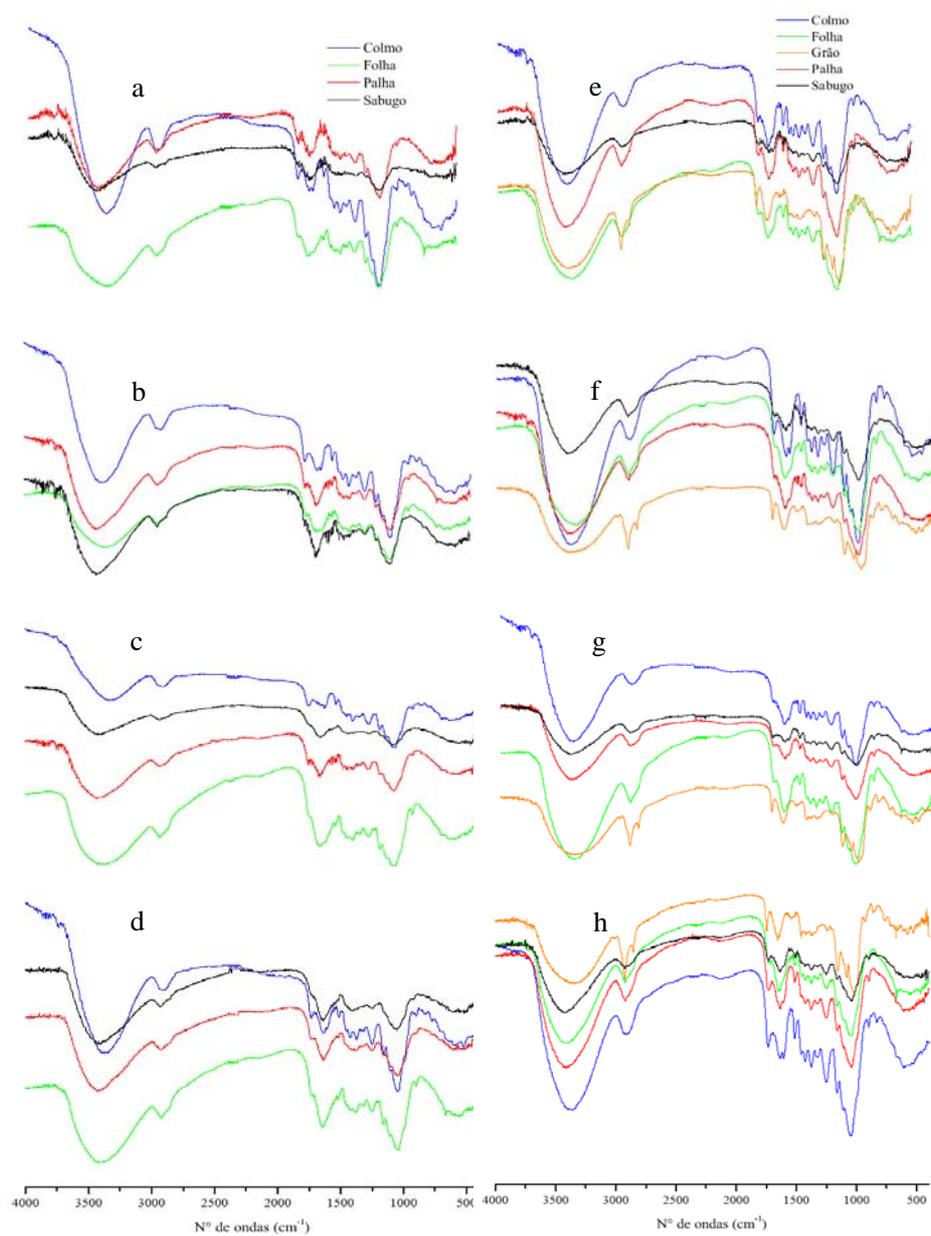


Figura 2 Espectros de infravermelho de milho de diferentes partes da planta e cultivares: com 60 dias, a) DKB350; b) GEN2004; c) GEN2005; d) PK3075 e; com 120 dias, e) DKB350; f) GEN2004; g) GEN2005; h) PK3075.

Observa-se nas amostras de cafeeiros, para galhos e troncos, bandas de absorção em 1.737 cm^{-1} (provavelmente grupos carboxílicos ou C=O de aldeídos ou C=O de ésteres), para todas as partes, e bandas de absorção em 1.616 cm^{-1} (podendo ser estiramento de C=C aromático ou NH_2 ou sais de ácido carboxílico). As amostras de galhos e troncos apresentaram banda de absorção em 1.500 cm^{-1} , característica de C=C de anéis aromáticos (LOPES & FASCIO, 2004).

Para as amostras de plantas de milho observam-se bandas de absorção em 1.730 cm^{-1} para colmo e palha com 60 dias e sabugo com 120 dias e em 1.740 cm^{-1} para grão, decorrente também de grupos carboxílicos e C=O de aldeídos. Ambas as partes estudadas apresentaram bandas entre 1.628 a 1.640 cm^{-1} , também podem ser atribuídas a estiramento de C=C aromático ou sais de ácido carboxílico. Nas amostras de plantas de milho aparecem ainda bandas de absorção em 1.517 cm^{-1} para folhas e colmos nas duas idades e 1.537 cm^{-1} para grãos, devido à deformação angular de N-H ou de NH_2 (banda de amida II) (SILVERSTEIN et al., 2006; BARBOSA, 2007).

O aparecimento de bandas de absorção em troncos e galhos de cafeeiros em 1.420 cm^{-1} e entre 1.300 a 1.200 cm^{-1} pode ser devido à presença de C-O de ácidos carboxílicos. Já em plantas de milho, apenas folhas e colmos, nas duas idades, palhas e sabugos com 120 dias e grãos podem ter a presença de tal estrutura. Em plantas de milho, observa-se uma banda em 1.455 cm^{-1} apenas para os colmos com 120 dias, que pode ser devido a estiramento C-H alifático (LOPES & FASCIO, 2004; SILVERSTEIN et al., 2006; BARBOSA, 2007).

Ambas as partes e espécies apresentaram bandas de absorção características de presença de alcoóis C-O (1.300 a 1.000 cm^{-1}) e OH (3.650 a 3.100 cm^{-1}), diferenciando apenas em primários, secundários e terciários (SILVERSTEIN et al., 2006).

Para ambas as partes de cafeeiros, e para colmos, palhas e folhas nas duas idades e sabugos com 120 dias nas plantas de milho, observam-se bandas de absorção entre 1.320 e 1.323 cm^{-1} , podendo ser devido a C-N de aromáticos, porém, com o aparecimento conjunto de uma banda em 1.155 cm^{-1} , esta vibração pode indicar a presença SO_2 (sulfona) (BARBOSA, 2007). Esta banda de 1.155 cm^{-1} pode ser também devido a C-N alifáticos (1.280 a 1.180 cm^{-1}) ou estiramento C-O de estruturas do tipo polissacarídeos e ainda ser indicativo de presença de ligninas (BARBOSA, 2007). Os grãos de milho também apresentaram esta banda de absorção. Segundo Ríó et al. (2007), a lignina pode ser confundida com proteínas.

Observa-se a presença de C-O de éteres aromáticos e vinílicos devido ao aparecimento de duas bandas de absorção entre as regiões 1.275 a 1.200 e 1.075 a 1.020 cm^{-1} em todas as partes estudadas, independentemente da idade, da cultivar e das espécies. O milho ainda apresenta para C-O de ésteres insaturados e aromáticos devido ao aparecimento de duas bandas na região 1.275 a 1.250 e 1.200 a 1.050 cm^{-1} . (SILVERSTEIN et al., 2006)

Observando a região entre 900 a 700 cm^{-1} (deformação de aromáticos) pode-se inferir a presença de $\text{R}_2\text{C}=\text{CH}_2$ e $\text{R}_2\text{C}=\text{CHR}$ (C-H fora do plano) em todas as partes do cafeeiro, devido ao aparecimento de bandas em 890 e 790 cm^{-1} , respectivamente. Já nas plantas de milho apenas os sabugos com 60 dias as folhas em ambas as idades não apresentaram o grupo funcional $\text{R}_2\text{C}=\text{CH}_2$ e $\text{R}_2\text{C}=\text{CHR}$ (C-H fora do plano), respectivamente, e apenas os colmos nas duas idades, os grãos e os sabugos com 120 dias apresentaram o grupo funcional $\text{R}_2\text{C}=\text{CHR}$ (C-H fora do plano).

Pode-se observar através dos espectros que as amostras de plantas de milho apresentaram bandas espectrais de IV semelhantes, sendo os espectros dos sabugos com 60 dias o que mais se diferenciaram. Já os espectros de cafeeiros

mostraram-se mais semelhantes. Observa-se ainda nas duas figuras que há uma diferença quanto à amplitude de sinais das bandas de absorção identificadas.

3.2 Análise de Componentes Principais (PCA)

As análises de PCA foram realizadas para todas as espécies, cultivares e idades, estando apresentada apenas uma para cada idade e cultivar, devido o resultado ter sido semelhante em ambos os casos, conforme pode ser visto nos anexos. A ferramenta permitiu separar e agrupar os espectros mais semelhantes em termos da natureza química.

De acordo com as Figura 3 e 4, pode-se inferir que a análise de PCA conseguiu agrupar amostras com base nos espectros de infravermelho nas diferentes partes da planta, como era de se esperar devido à presença ou não de algumas bandas de absorção identificadas acima.

Para as plantas de cafeeiro com 1 ano de idade, cultivar Catuaí Amarelo (Figura 3a), 59,62% da variância total é descrita pela primeira componente principal (PC1) e 13,25% pela PC2. Já o cafeeiro com 4 anos (Figura 3b) mesma cultivar, 69,18% da variância total é descrita pela PC1 e 12,96%, pela PC2. Observando a figura 3, nota-se que a PC2 separaram ambas as idades em dois grandes grupos, sempre aproximando galhos de troncos, o que era de se esperar pela composição semelhante. A PC1 também mostrou esta semelhança, como também aproximou grãos das folhas.

Para as plantas de milho com 60 dias cultivar DKB350 (Figura 4a), 81,59% da variância total é descrita pela primeira componente principal (PC1) e 11,19% pela PC2. Já as plantas de milho com 120 dias (Figura 4b), mesma cultivar, 36,48% da variância total são descritas pela PC1 30,49% e pela PC2. Observando a figura 4 nota-se que a PC2 separaram ambas as idades em três grupos.

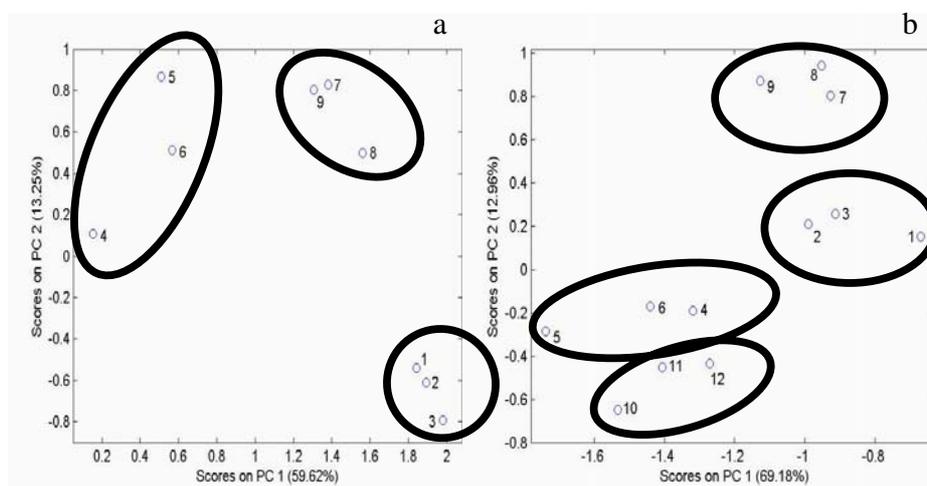


Figura 3 PCA na análise de espectro de infravermelho de cafeeiro

Nota: a) PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Catuaí Amarelo com 1 ano de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho) e, (7, 8 e 9 tronco); b) PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Catuaí Amarelo com 4 anos de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho), (7, 8 e 9 grão) e, (10, 11 e 12 tronco)

Pode-se inferir analisando as Figuras 3 e 4 que, com o aumento da idade, os espectros de galhos tendem a se aproximar dos espectros de tronco, isto provavelmente devido a maior semelhança na natureza química.

Observando ainda a Figura 4b, nota-se que, existe um grupo que se mostrou semelhantes entre si, devido às poucas bandas de absorção diferentes apresentadas nos espectros e que também foram notadas na identificação dos mesmos. Analisando a Figuras 4, observa-se que mesmo com o aumento da idade, os espectros das diferentes partes pouco se modificaram, somente palha e sabugo se aproximaram mais, comparando os dados da figura.

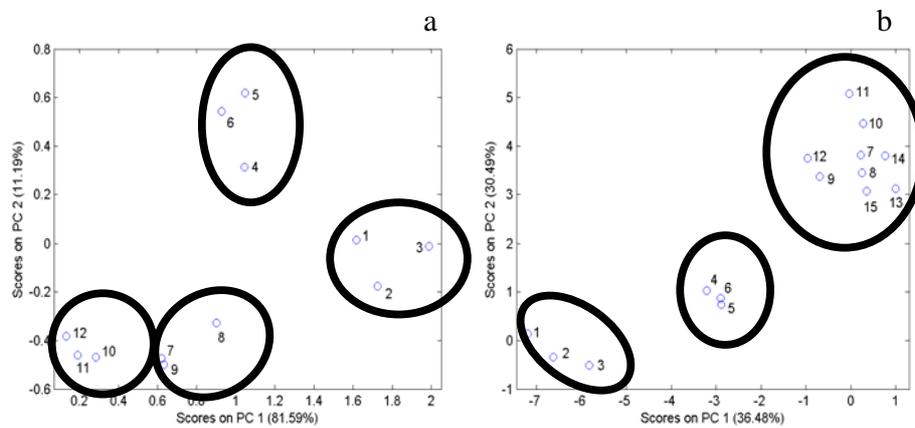


Figura 4 PCA na análise de espectro de infravermelho de planta de milho

Nota: a) PCA do espectro de IV de plantas de milho, cultivar DKB350 com 60 dias; (1, 2 e 3 colmo), (4, 5 e 6 folha), (7, 8 e 9 palha) e, (10, 11 e 12 sabugo); b) PCA do espectro de IV de plantas de milho, cultivar DKB350, com 120 dias de idade; (1, 2 e 3 colmo), (4, 5 e 6 folha), (7, 8 e 9 grão), (10, 11 e 12 palha) e, (13, 14 e 15 sabugo)

4 CONCLUSÕES

O emprego da análise espectroscópica na região do infravermelho com transformada Fourier (FTMIR) e o uso de PCA mostraram que os órgãos e espécies vegetais estudados possuem natureza química e assinaturas espectrais específicas. Em função do emprego de FTMIR, foi possível analisar os diferentes órgãos das culturas agrícolas quanto à natureza química, as quais apresentam grupos aromáticos, estruturas alifáticas do tipo alquil, carboidratos, ésteres, ácidos carboxílicos, grupamentos metila, haletos de alquila, grupamentos aromáticos, dentre outros grupos químicos avaliados. Os sabugos, amostrados em plantas com 60 dias, apresentam, quanto à sua natureza química, maiores proporções de compostos químicos de maior labilidade do que outras partes dos tecidos vegetais de plantas de milho; independentemente da cultivar analisada, esse foi o órgão que apresentou maior diferença quanto ao número de bandas de absorção observadas. Os galhos laterais e os troncos de cafeeiros apresentam grupos de C com maior recalcitrância e estabilidade química do que as folhas e os grãos, por serem os tecidos mais ricos em C-aromático. Para as plantas mais novas de cafeeiros, os troncos apresentam maior presença de moléculas recalcitrantes do que os galhos. O emprego da PCA no sentido de agrupar os órgãos vegetais quanto à natureza química similar por FTMIR mostrou que, com o aumento da idade do cafeeiro, a natureza química dos galhos laterais tende a se aproximar do tronco. Para o milho, o aumento da idade das plantas implica em agrupamento de palhas, sabugos e grãos, sugerido similaridades em natureza química desses órgãos da planta. Em razão dos dados obtidos, o emprego do PCA na análise de dados espectrais de FTMIR apresenta potencial para uso na distinção e agrupamento de tecidos vegetais com similaridade em natureza química.

REFERÊNCIAS

ALVES DE BRITO, C. J. F.; RODELLA, R. A.; DESCHAMPS, F. C. Perfil químico da parede celular e suas implicações na digestibilidade de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1835-1844, 2003. (Supl. 2).

ANDRADE, G. H. **Estudo da espectroscopia na região estudo da espectroscopia na região do infravermelho médio e próximo para previsão das propriedades do petróleo e emulsão de petróleo do tipo água em óleo do infravermelho médio e próximo para previsão das propriedades do petróleo e emulsão de petróleo do tipo água em óleo**. 2009. 125p. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2009.

BARBOSA, L. C. A. **Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos**. Viçosa: UFV, 2007. 189 p.

BUCKERIDGE, M. S. et al. Acúmulo de reservas. In: FERREIRA, A. G.; BORGHETTI, F. (Ed.). **Germinação** - do básico ao aplicado. Porto Alegre: Artmed, 2004. p. 31-50.

CERRI, C. C. et al. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: emissões e remoções de dióxido de carbono pelos solos por mudanças de uso da terra e calagem. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2001. 41 p.

HONGFU, Y. et al. Determination of multi-properties of residual oils using mid-infrared attenuated total reflection spectroscopy. **Fuel**, London, v. 85, p. 1720-1728, 2006.

JANS, W. W. P. et al. Carbon exchange of a mayze (*Zea mays* L.) crop: influence of phenology. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 139, p. 314-324, 2010.

KAISER, K.; GUGGENBERGER, G. Mineral surfaces and soil organic matter. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v. 54, p. 219–236, 2003.

KIRBY, K.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a small-scale carbon sink project. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 246, p. 208–221, 2007.

LABBÉ, N.; HARPER, D.; RIALS, T. Chemical structure of wood charcoal by infrared spectroscopy and multivariate analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 54, p. 3492-3497, 2006.

LICHTFOUSEA, É. et al. A novel pathway of soil organic matter formation by selective preservation of resistant straight-chain biopolymers: chemical and isotope evidence. **Org. Geochem – Organic Geochemistry**, v. 28, n. 6, p. 411-415, 1998.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, p. 670-673, 2004.

MONTEIRO, M. B. O.; PEREIRA, R. P. W.; ABREU, H. dos S. Bioquímica da lignificação de células xilemáticas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n. 2, p. 48-57, 2004.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 159 p.

SENA, M. M. et al. Avaliação do uso de métodos quimiométricos em análise de solo. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, p. 547-556, 2000.

SILVA, I. R. et al. Manejo de resíduos e matéria orgânica do solo em plantações de eucalipto: Uma questão estratégica para a manutenção da sustentabilidade. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p.10-20, 2004.

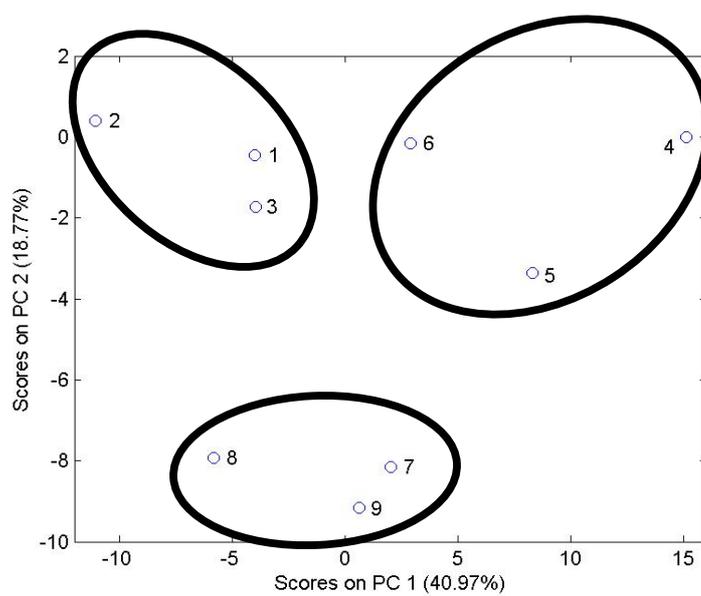
SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. **Princípios de análise instrumental**. Porto Alegre: Guanabara Dois, 2002. p. 363-382.

TONELLO, V. M. M. **Principais aspectos do ciclo biogeoquímico do elemento carbono e seu contexto na atualidade**. 2007. 132 p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba. 2007.

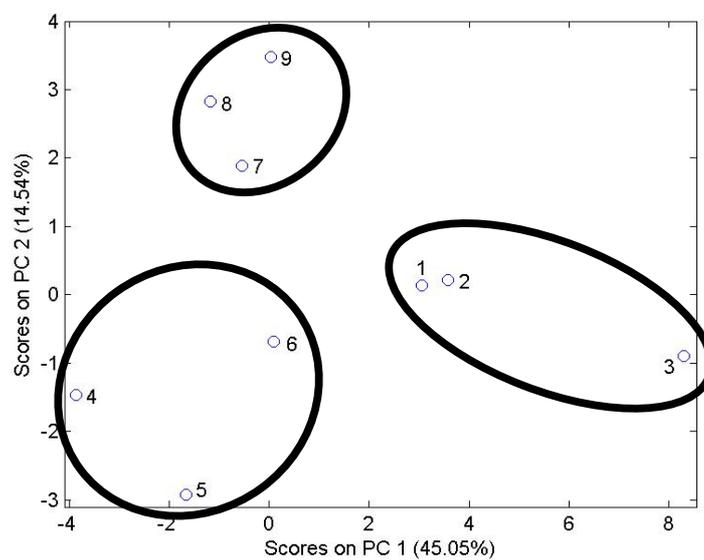
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existe uma variação do teor de carbono de acordo para diferentes espécies vegetais, bem para tecidos e materiais vegetais de diferentes idades. Isso permite inferir que o inventário correto de C na biomassa vegetal só é alcançado se forem quantificados com precisão os teores de C presentes nos tecidos de diferentes espécies vegetais. Os resultados obtidos neste estudo justificam a ampliação de seu escopo, com vistas a um levantamento amplo dos teores de C presentes em diferentes tecidos, cultivares e espécies vegetais, tanto para as cultivadas quanto para as presentes nos diferentes biomas brasileiros. O uso da técnica de PCA na interpretação de espectros de infravermelho pode ser mais estudado visando, em futuro próximo, correlacionar os teores de C nos tecidos vegetais com índices matemáticos de dados espectrais que reflitam a natureza química desses mesmos materiais vegetais, tudo isso para elucidar a questão ligada à influência da natureza química dos tecidos vegetais sobre os teores de C armazenados nessas mesmas espécies vegetais. Assim, sugerem-se estudos similares, para que dados mais precisos do teor de carbono em outras culturas sejam investigados, visando contribuir com informações para o manejo adequado, inventário e elucidação da natureza química de diferentes espécies vegetais, visando uma maior conservação do C no sistema solo-planta em detrimento de seu acúmulo na atmosfera.

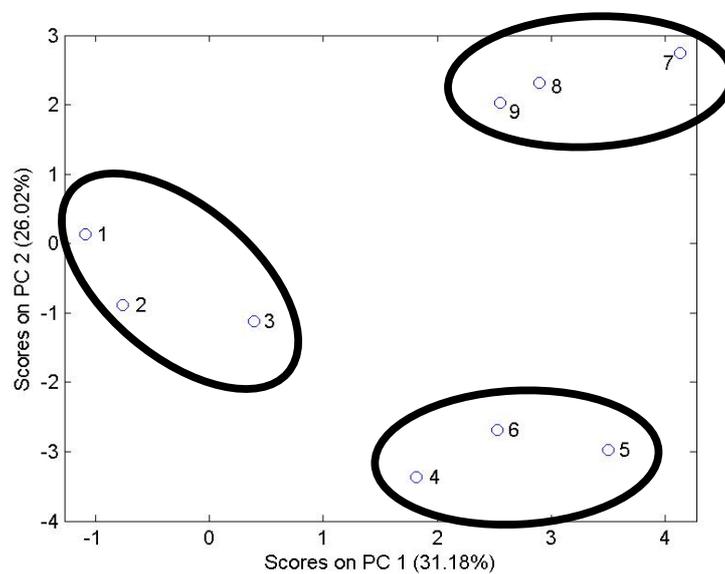
ANEXOS



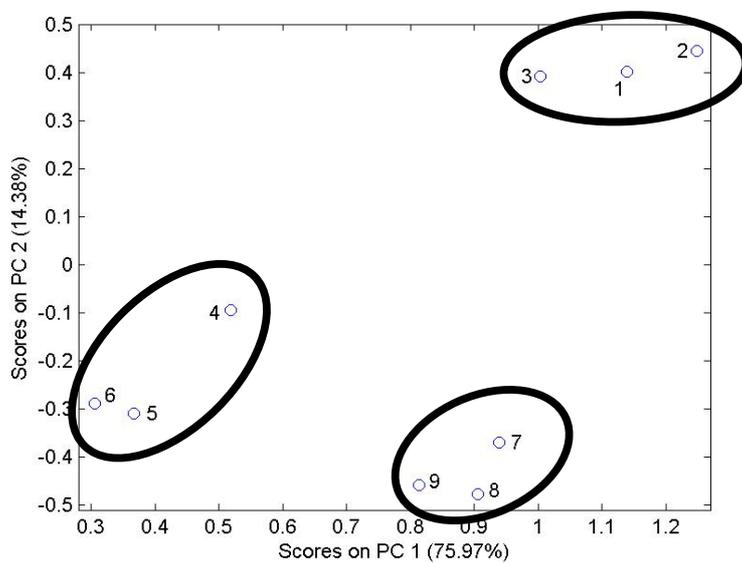
ANEXO A. PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Acaia com 1 ano de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho) e, (7, 8 e 9 tronco)



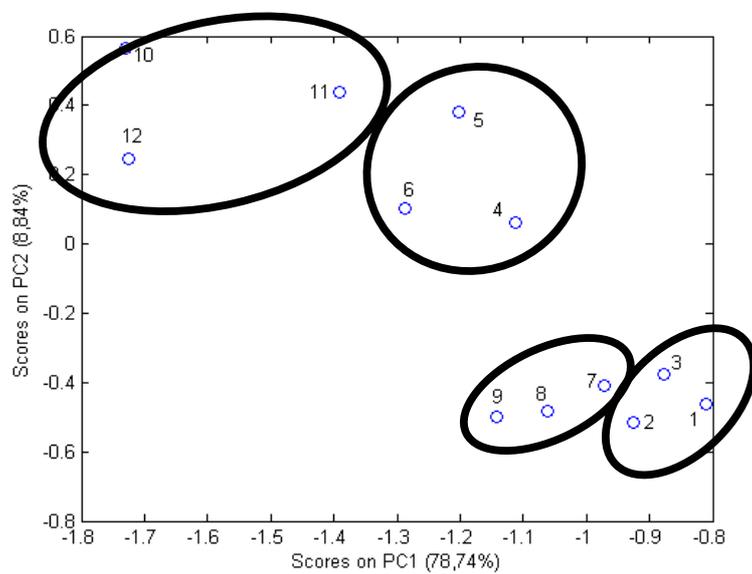
ANEXO B. PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Catuaí Vermelho com 1 ano de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho) e, (7, 8 e 9 tronco)



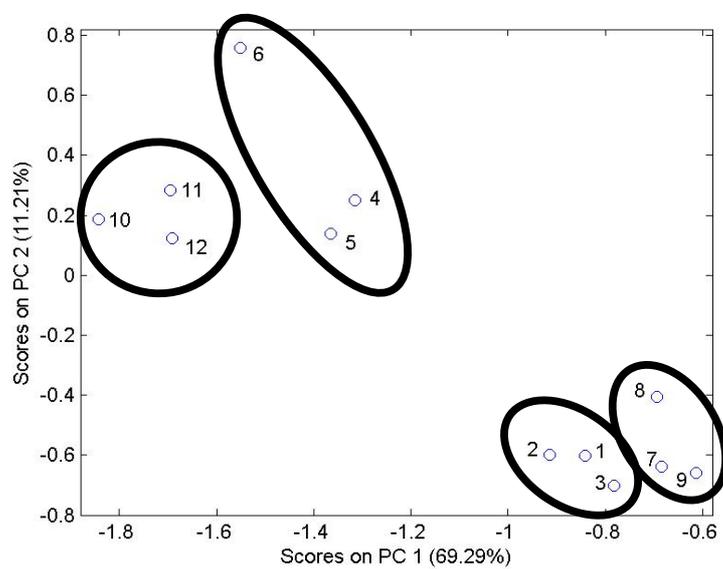
ANEXO C. PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Mundo Novo com 1 ano de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho) e, (7, 8 e 9 tronco)



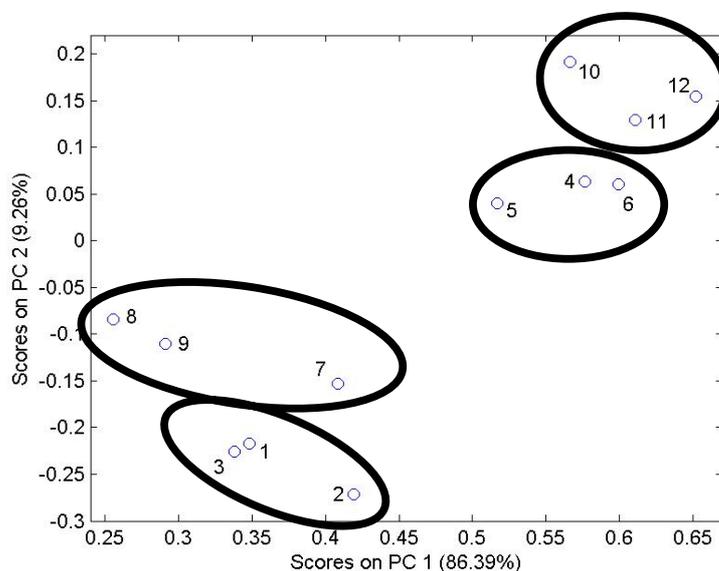
ANEXO D. PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Topázio com 1 ano de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho) e, (7, 8 e 9 tronco)



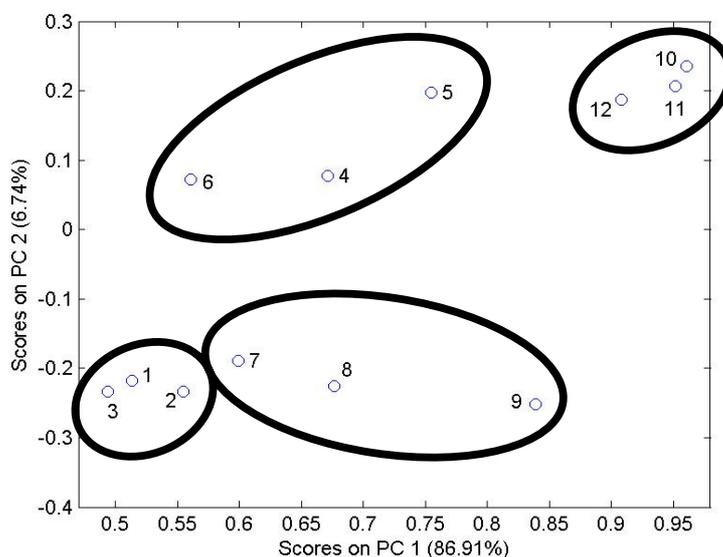
ANEXO E. PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Catuaí Vermelho com 4 anos de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho), (7, 8 e 9 grão) e, (10, 11 e 12 tronco).



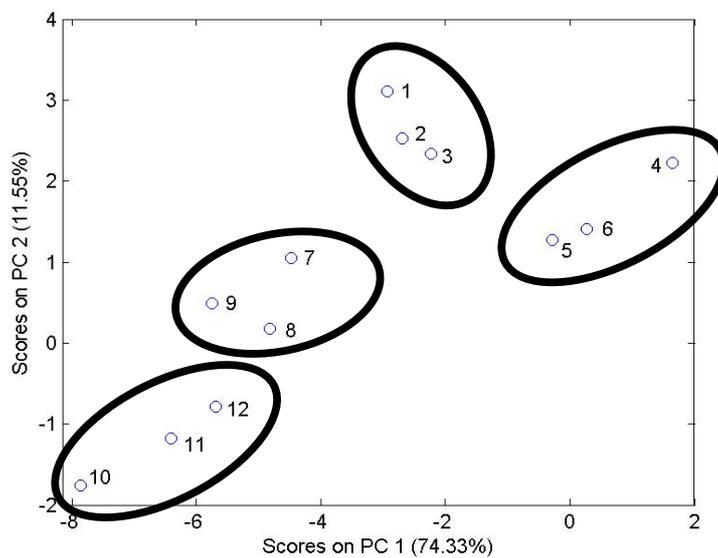
ANEXO F. PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Catuaí com 4 anos de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho), (7, 8 e 9 grão) e, (10, 11 e 12 tronco).



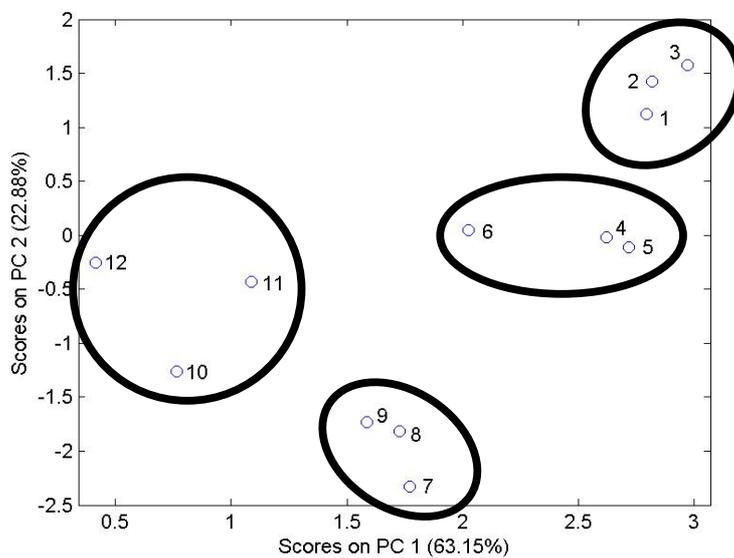
ANEXO G. PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Mundo Novo com 4 anos de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho), (7, 8 e 9 grão) e, (10, 11 e 12 tronco).



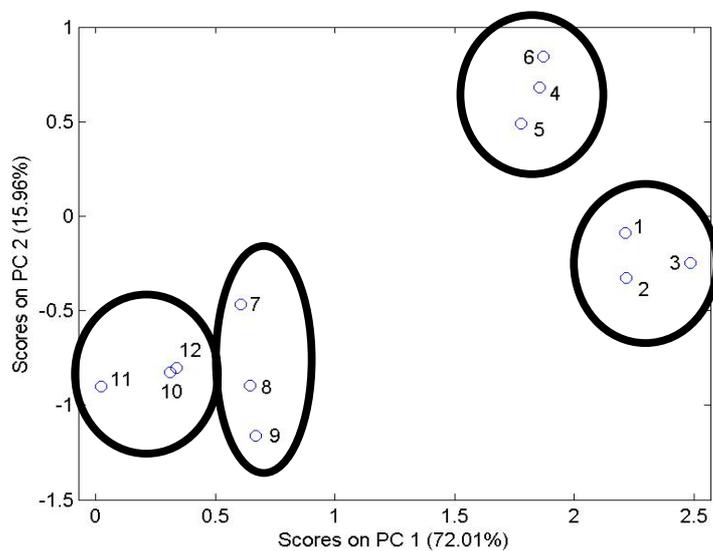
ANEXO H. PCA do espectro de IV de cafeeiros, cultivar Paraíso com 4 anos de idade; (1, 2 e 3 folha), (4, 5 e 6 galho), (7, 8 e 9 grão) e, (10, 11 e 12 tronco).



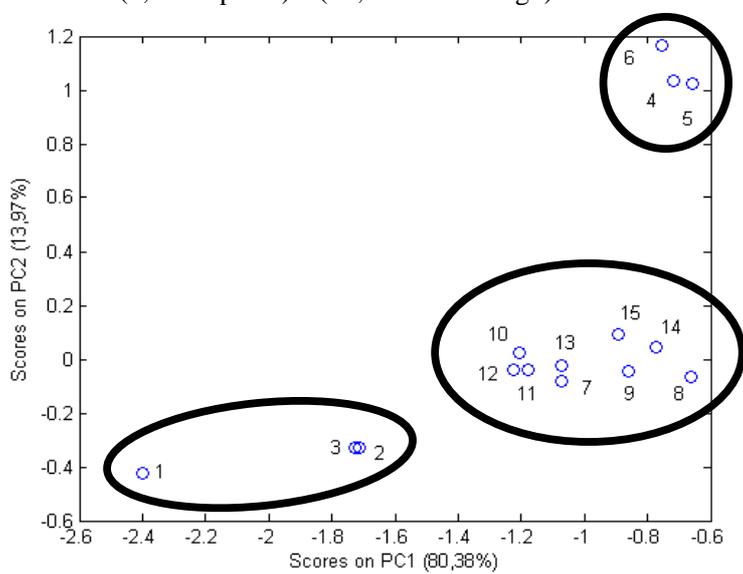
ANEXO I. PCA do espectro de IV de plantas de milho, cultivar GEN2004 com 60 dias; (1, 2 e 3 colmo), (4, 5 e 6 folha), (7, 8 e 9 palha) e, (10, 11 e 12 sabugo).



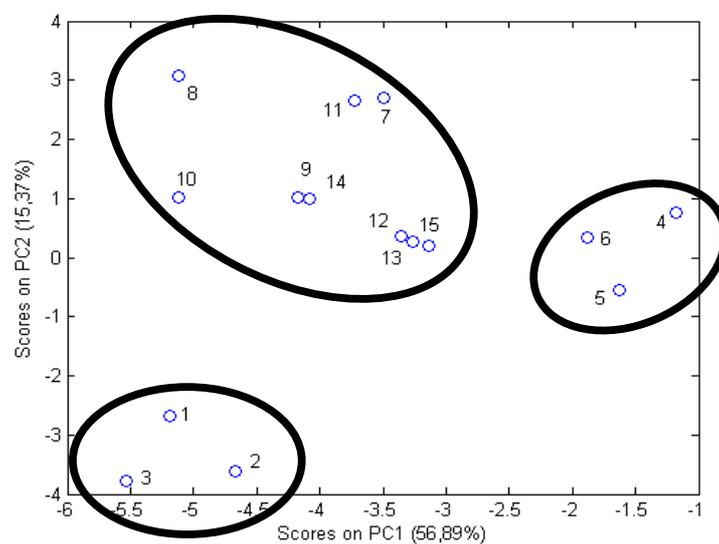
ANEXO J. PCA do espectro de IV de plantas de milho, cultivar GEN2005 com 60 dias; (1, 2 e 3 colmo), (4, 5 e 6 folha), (7, 8 e 9 palha) e, (10, 11 e 12 sabugo).



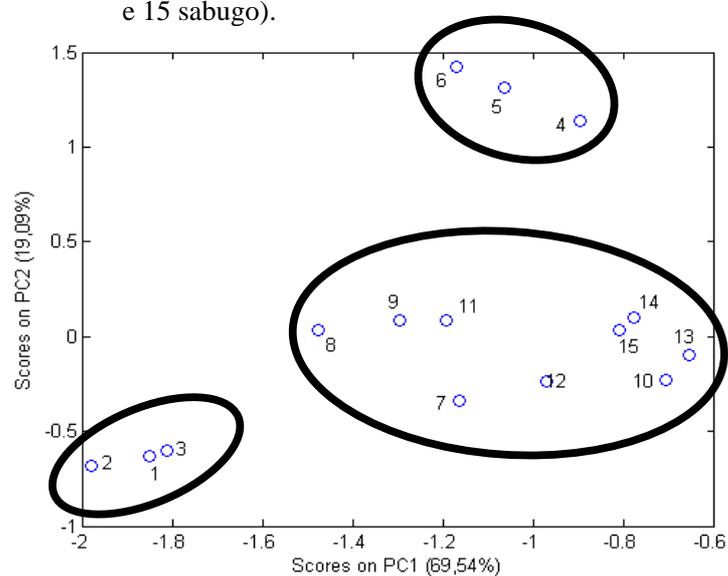
ANEXO K PCA do espectro de IV de plantas de milho, cultivar PK3075 com 60 dias; (1, 2 e 3 colmo), (4, 5 e 6 folha), (7, 8 e 9 palha) e (10, 11 e 12 sabugo).



ANEXO L. PCA do espectro de IV de plantas de milho, cultivar GEN2004, com 120 dias de idade; (1, 2 e 3 colmo), (4, 5 e 6 folha), (7, 8 e 9 grão), (10, 11 e 12 palha) e (13, 14 e 15 sabugo).



ANEXO M. PCA do espectro de IV de plantas de milho, cultivar GEN2005, com 120 dias de idade; (1, 2 e 3 colmo), (4, 5 e 6 folha), (7, 8 e 9 grão), (10, 11 e 12 palha) e (13, 14 e 15 sabugo).



ANEXO N. PCA do espectro de IV de plantas de milho, cultivar PK3075, com 120 dias de idade; (1, 2 e 3 colmo), (4, 5 e 6 folha), (7, 8 e 9 grão), (10, 11 e 12 palha) e (13, 14 e 15 sabugo).