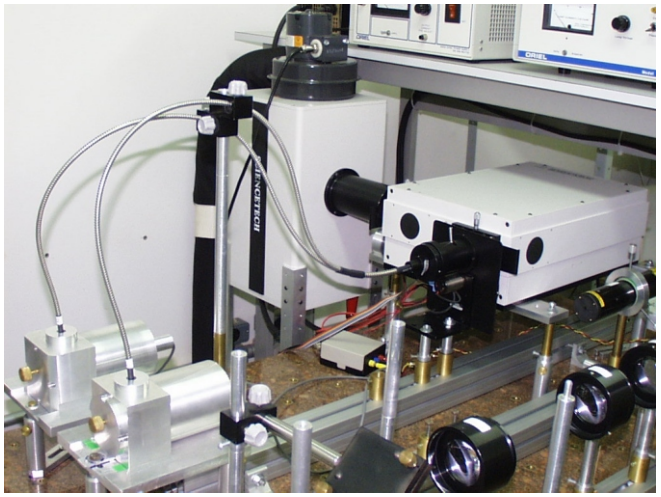
Comunicado Técnico 101

ISSN 1517-4786
Novembro, 2008
São Carlos, SP



Washington Luiz de Barros Melo

Aplicação da Espectroscopia Fotoacústica nos estudos de solos intactos

Washington Luiz de Barros Melo[1]
Guilherme Guimarães Pires[2]
Davi Ambrozio Lóio[3]
Carlos Manoel Pedro Vaz[4]

Introdução

O solo é considerado um corpo natural que tem propriedades particulares devido aos efeitos do clima, dos organismos vivos e dos compostos minerais condicionados durante o tempo (NOÇÕES básicas..., 2008). É importante conhecer detalhadamente tanto os seus constituintes e propriedades quanto suas distribuições geológicas para se ter um controle da terra e minimizar o seu desgaste natural através do uso de técnicas adequadas a cada tipo de solo.

O solo brasileiro, apesar de suas excelentes condições físicas, apresenta limitações quanto à fertilidade, necessitando de manejo que inclui a correções da acidez, o aumento da fertilidade e o controle de erosão (ESPIG et al., 2005). Seu comportamento espectral se deve a sua composição química, física, biológica e mineralógica. Os constituintes que afetam esse comportamento são a matéria orgânica e os óxidos de ferro (DALMOLIN et al., 2005). Os óxidos de ferro são predominantes nos solos tropicais e importantes na produção agrícola por sua influência no suprimento de nutrientes (ESPIG et al., 2005). A predominância de dois óxidos de ferro, a hematita e a goethita, é quase absoluta no solo brasileiro. Espectralmente, estão associados aos comprimentos de onda de 530 a 570 nm e 420 a 450 nm, respectivamente (FERNANDES et al., 2004).

Uma das ferramentas empregadas para o estudo do solo é a reflectometria, seja em laboratório ou sensoriamento remoto através de satélites artificiais. Tradicionalmente, usa-se o espectrorradiômetro para medir a refletância do solo na faixa de 400 a 2500 nm, isto é, do visível ao infravermelho próximo (DALMOLIN et al., 2005; DEMATTÊ et al., 2000, 2004). Esses espectros apresentam feições típicas ou bandas de absorção que são devidos às interações dos átomos ou das moléculas que constituem as substâncias dos solos. Elas são os efeitos das transições eletrônicas (região visível) e das vibrações no infravermelho.

Diversos pesquisadores têm usado técnicas associadas como espectrofotometria por refletância difusa (FERNANDES et al. 2004), difração de raio-X e ressonância magnética (MANHÃES et al., 2002) para estudar os solos, seus constituintes e as interações entre eles. A partir da década de 80, alguns pesquisadores têm usado a espectroscopia fotoacústica para análise de solos juntamente com outras técnicas (NORDEMANN e LUCHT, 1982; MANHÃES et al., 2002; SANTOS et al., 2003; MOTA et al., 2009).

A espectroscopia fotoacústica (PAS) teve sua origem com a descoberta do efeito fotoacústico por A. G. Bell em 1881. A partir da década de 70, após os trabalhos de Rosencwaig e Gersho (1976), a PAS se tornou, definitivamente, uma técnica espectroscópica aplicada a sólidos. Na técnica PAS, o efeito fotoacústico surge quando um feixe de luz, periodicamente modulado, incide sobre uma amostra dentro de uma câmara fechada e cheia de gás. A luz é absorvida pela amostra que se aquece periodicamente resultando em um fluxo de calor periódico dela para o gás, ou em sua expansão térmica, ou em outros efeitos, causando uma variação de pressão dentro da câmara. Essa variação de pressão é detectada por um microfone interno à câmara fotoacústica (MELO, 1992; MELO e FARIA, 1995).

A espectroscopia fotoacústica apresenta vantagens sobre a espectroscopia convencional, pois possibilita analisar amostras sólidas e opacas sem destruí-las e sem a necessidade de preparação prévia. Atividades como processo de extração, tratamento químico, entre outras, na maioria das vezes não são requeridas (BERTRAND et al., 1982; MONCHALIN et al., 1984; BICANIC et al., 1993).

Neste trabalho, a PAS é aplicada na obtenção dos espectros de absorção óptica de vários tipos de solos coletados na Fazenda Canchim onde se localiza a Embrapa Pecuária Sudeste, Município de São Carlos/SP. Os tipos de solos são: 1) Latossolo Vermelho distrófico (Latossolo Roxo LR); 2) Neossolo Quartzarênico (Areia quartzosa AQ); 3) Latossolo Vermelho Amarelo LVA;

[1]Físico, Dr., Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, wlbmelo@cnpdia.embrapa.br
[2]Graduando de Engenharia Ambiental, USP/São Carlos, SP, guigpires@gmail.com
[3]Graduando de Engenharia Ambiental, USP/São Carlos, SP, davi.sc.usp@gmail.com
[4]Físico, Dr., Pesquisador, Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, vaz@cnpdia.embrapa.br

Embrapa

4) Argilossolo (Podzólico Vermelho Amarelo PVA); 5) Nitossolo distroférrico (terra Roxa Estruturada TER); 6) Latossolo Vermelho Escuro LVE. Pretende-se demonstrar a viabilidade da aplicação da PAS no estudo de solos intactos, seus componentes e identificar bandas características dos diferentes solos quanto à presença de óxidos de ferro e matéria orgânica do solo (MOS) através da deconvolução dos espectros fotoacústicos de cada tipo de solos.

Metodologia

Os espectros foram obtidos no espectrômetro fotoacústico montado na Embrapa Instrumentação Agropecuária, o qual se constitui de: i) uma fonte de luz (xenônio de 450W ScienceTech); ii) um obturador para controlar a passagem de luz; iii) um monocromador ScienceTech (mod. 9055F) que possibilita decompor a luz e obter espectros de 300 a 1100 nm (ultravioleta a infravermelho próximo); iv) um disco com filtros ópticos Oriel (mod. 77254) para separar harmônicas de ordens superiores; v) um modulador de freqüência (*chopper*) da Oriel(mod. 75152); vi) lentes de quartzo para colimação da luz; vii) um cabo de fibra óptica bifurcado de quartzo alto grau - Oriel, sendo que cada ramo do cabo ilumina uma câmara fotoacústica; viii) duas câmaras fotoacústicas, projetadas e construídas na Embrapa Instrumentação Agropecuária, com microfones B&K *falcon,* sendo uma para a referência e outra para a amostra; ix) amplificadores *lock-in* da Stanford Research (mod. SR530), que por sua vez estão interfaceado a um computador AT-200Pro para a aquisição dos dados espectroscópicos; x) um que software faz o computador controlar e adquirir os dados. As Figuras 1 e 2 apresentam os esboços do espectrômetro fotoacústico e da câmara fotoacústica, respectivamente.

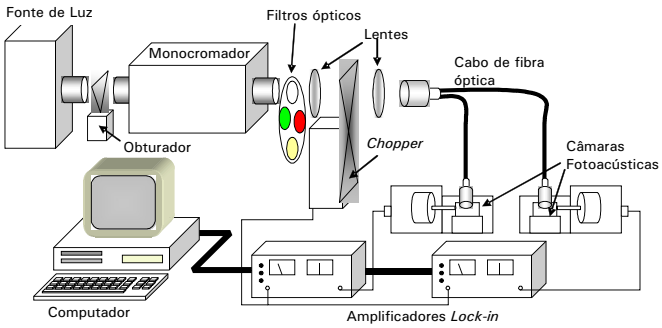


Fig. 1. Esboço do espectrômetro fotoacústico da Embrapa Instrumentação Agropecuária.

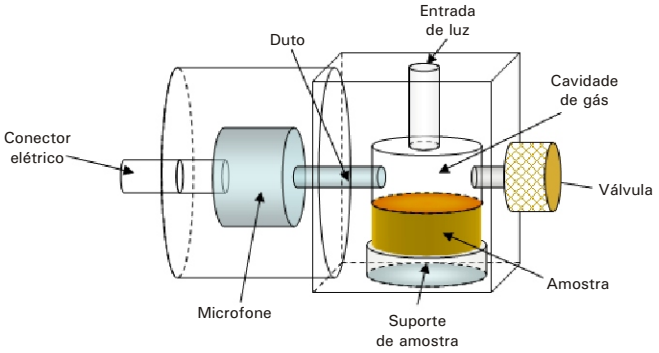


Fig. 2. Esboço detalhado da câmara fotoacústica.

Os solos foram peneirados (malha de 2mm), para remover restos de árvores (gravetos, folhas, etc) e, posteriormente, secos ao ar. Cada amostra de solo foi prensada dentro do suporte de amostra até formar uma pastilha rígida. Em seguida, o suporte e a amostra foram inseridos na câmara fotoacústica. Os espectros foram obtidos de 300 a 1000nm, com troca de filtro em 600nm e a resolução espectral foi cerca de 9 nm, isto é, as fendas de entrada e saída de luz do monocromador foram de 3mm. A freqüência de modulação da luz foi cerca de 80 Hz e foram lidos 200 pontos por espectro. A referência é uma pastilha rígida de carvão vegetal em pó, que serve para normalizar o sinal da amostra removendo a influência do espectro de emissão da lâmpada de xenônio. Foram usadas duas ou mais pastilhas de cada solo para verificar a reprodutibilidade espectral e minimizar falhas de manuseio das amostras. Todas as medições foram feitas à temperatura ambiente e na pressão atmosférica.

Resultados e discussões

Com base na Teoria de Campo Ligante, as transições eletrônicas de um íon livre Fe^{3+} num campo ligante forte são do nível $^6A1(^6S)$ para os níveis, $^4E(^4D)$, $^4T2(^4D)$, $[^4E,^4A1(^4G)]$, $^4T2(^4G)$ e $^4T1(^4G)$, correspondendo as bandas em 370, 430, 490, 540 e 650 nm, respectivamente (QUIROZ, 2002; MOTA et al., 2009). No solo, além dessas bandas, há também aquelas oriundas das substâncias húmicas que podem ocorrer em várias posições espectrais, desde o ultravioleta ao infravermelho. Há, ainda, banda no infravermelho próximo (850 a 900 nm) atribuída aos óxidos de ferro (DEMATTÊ et al., 2004; DALMOLIN et al., 2005).

Já para a determinação dos óxidos de ferro no solo, estudos demonstram que a goethita apresenta maior refletância (menor absorbância) que a hematita, sendo que a presença desses óxidos influencia o comportamento espectral no visível e no infravermelho próximo. A maior diferença nos espectros de latossolos brasileiros ocorre na região de 550 nm, aonde a hematita predomina com alto poder de absorção óptica. A região em torno de 850 nm é atribuída à presença da hematita e goethita de boa cristalinidade. Outros autores definiram as regiões entre 450 e 520, 520 e 600, 630 e 690, 2030 a 2035 nm para estimar teores de silte e as regiões 520 e 600, 1150 e 1300 e 2030 a 2035 nm como as melhores para estimar os teores de argila (COLEMAN et al., 1991 apud DALMOLIN et al., 2005).

Nos estudos realizados com refletância dos solos para determinar matéria orgânica (MOS), os pesquisadores encontraram alta correlação para as bandas em 564 e 623 nm (KRISHMAN et al., 1980 apud DALMOLIN et al., 2005, enquanto outros usando radiômetro portátil de campo constataram que a região de 760 a 900 nm é mais importante para predizer o conteúdo da matéria orgânica no solo (COLEMAN e MONTGOMERY, 1987 apud DALMOLIN et al., 2005). Mas usando dados de satélite, concluíram que o conteúdo de MOS foi melhor estimado usando as bandas 520 a 600 nm, 1550 a 1750 e 2030 a 2350 nm (COLEMAN et al., 1991 apud DALMOLIN et al., 2005).

As médias dos espectros de cada solo são mostradas nas Figuras 3 e 4. Esses foram divididos em dois grupos conforme o teor de ferro. Na Figura 3, agruparam-se os espectros fotoacústicos dos solos AQ, PVA e LVA, enquanto na Figura 4, têm-se os espectros dos solos LVE, TRE e LR. Com a finalidade de por os espectros em um mesmo sistema de eixo, subtraiu-se de cada um sua linha de base.

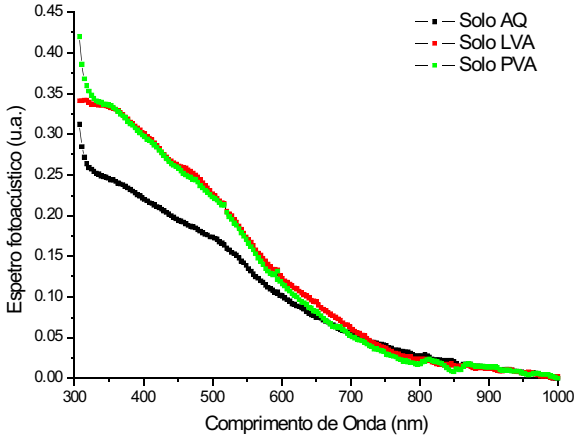


Fig. 3. Espectros fotoacústicos dos solos AQ, LVA e PVA. As linhas de base de cada espectros valem 0,157; 0,137 e 0,161, respectivamente.

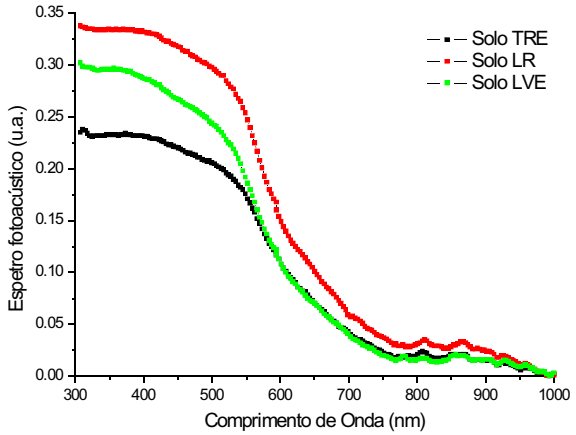


Fig. 4. Espectros fotoacústicos dos solos TRE, LR e LVE. As linhas de base de cada espectros valem 0,253; 0,223 e 0,238, respectivamente.

Nota-se na Figura 3 que os perfis espectrais dos solos PVA e LVA são parecidos, exceto nas regiões entorno de 650, 470 e 350 nm. O espectro do solo AQ apresenta significante diferença com relação aos demais, principalmente, por toda região visível, 700 a 300 nm. Isto indica a presença de areia em quantidade de modo a refletir a luz e causar decréscimo do sinal fotoacústico. Nota-se também que os espectros dos solos AQ e PVA, na região abaixo de 350 nm, cresce rapidamente. Isto é decorrente da absorção óptica das partículas de areias (quartzo natural) que se torna intensa no ultravioleta. Assim, esses dois solos apresentam maiores teores de areia do que o solo LVA. Como o espectro de AQ foi mais baixo, isto indica que esse solo contém o maior teor de areia em comparação aos outros. O espectro de LVA tem uma tendência à saturação fotoacústica na região do ultravioleta, o que indica maior presença de ferro e/ou de MOS do que nos outros solos. Na região central dos espectros, de 500 a 700 nm, nota-se diferenças de inclinações das curvas, principalmente para o solo AQ. Essa região, tipicamente, indica a presença de substâncias complexadas com ferro e de MOS. Na região entre 800 a 1000 nm, os espectros praticamente se sobrepõem, tendo apenas ligeira diferença para AQ. É possível notar que nessa região há um ombro no espectro de PVA e LVA. Isto indica a presença de ferro nesses solos, sendo mais atenuado no solo AQ.

Na Figura 4, os espectros são nitidamente bem diferenciados. Nota-se que o sinal do solo TRE entrou fortemente em saturação fotoacústica iniciando abaixo de 500 nm até o ultravioleta. Isto é um indicativo da existência de alta concentração de MOS e de compostos ferrosos, mas esta saturação dificulta a estimativa dos teores desses componentes. O espectro do solo LR foi mais alto, mas também apresentou forte saturação fotoacústica na região ultravioleta, indicando grande presença de compostos à base de ferro. O espectro de LVE ficou intermediário, a saturação fotoacústica foi menos intensa permitindo visualizar um ombro em torno de 500 nm e superposição de bandas próximas a 400 nm, o que proporciona uma inclinação maior do que nos outros solos. Já na região intermediária, 550 a 750 nm, o espectro de LR é diferenciado, o que indica a possibilidade de alta presença de MOS do que nos demais. Os espectros de LVE e TRE são semelhantes, possivelmente por apresentarem quantidades similares de MOS. Na região de 750 a 1000 nm, os três solos apresentam uma banda de absorção bem definida, tendo perfis semelhantes às bandas de TRE e de LVE, enquanto essa banda para LR foi mais intensa. Conforme a literatura, banda nessa região é decorrente da presença de compostos a base de ferro. Assim, esses espectros indicam que o solo LR, usado neste experimento, contém maior concentração de determinados complexos de ferro que nos demais.

Os valores das linhas de base de todos os espectros variaram conforme à capacidade de absorção de luz e retenção de calor. Os solos mais ferrosos são os que apresentaram maiores valores, portanto aquecem e retém mais o calor do que os mais arenosos.

Com a finalidade de determinar as bandas espectrais dos solos, aplicou-se o processo de ajustes de curvas nos espectros mostrados nas Figuras 3 e 4. Para isto, seis bandas gaussianas foram escolhidas, sendo quatro ou menos bandas para os óxidos de ferro (QUIROZ, 2002) e às demais atribuídas à matéria orgânica (MOS) e outros materiais contidos no solo. Essas bandas foram usadas como ponto de partida para o processo de ajuste de curva.

As Figuras 5 a 7 apresentam os espectros fotoacústicos do solo AQ, PVA e LVA, enquanto as Figuras 8 a 10 mostram os espectros dos solos LR, TRE e LVE, com suas bandas gaussianas usadas para obter os melhores ajustes.

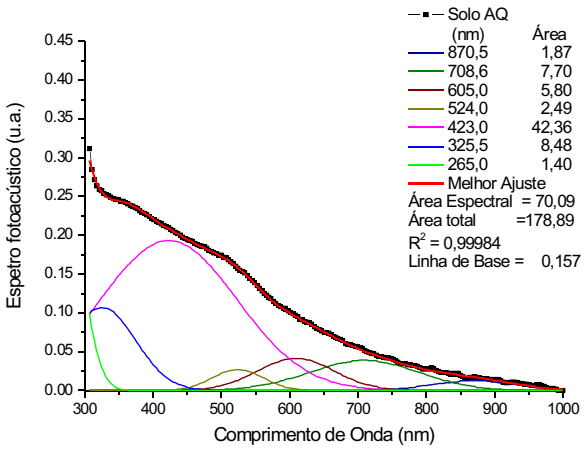


Fig. 5. Espectro fotoacústico de solo AQ e o melhor ajuste por gaussianas

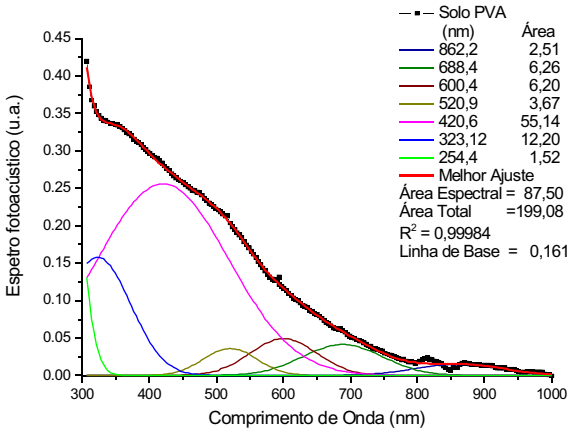


Fig. 6. Espectro fotoacústico de solo PVA e o melhor ajuste por gaussianas

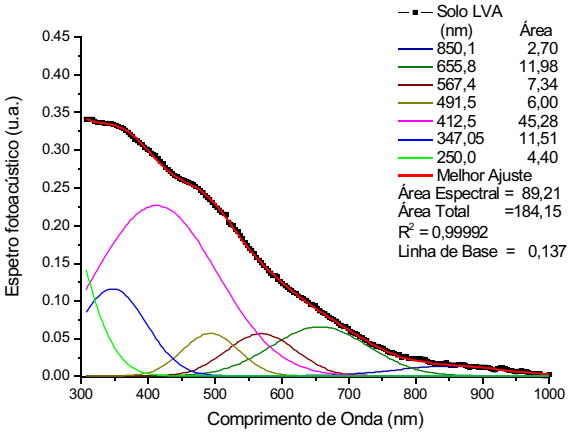


Fig. 7. Espectro fotoacústico de solo LVA e o melhor ajuste por gaussianas

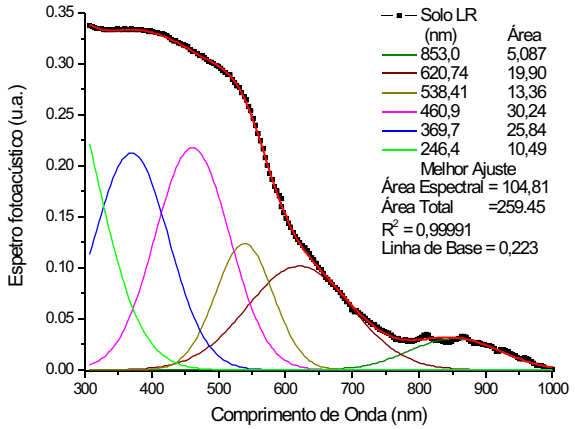


Fig. 8. Espectro fotoacústico de solo LR e o melhor ajuste por gaussianas

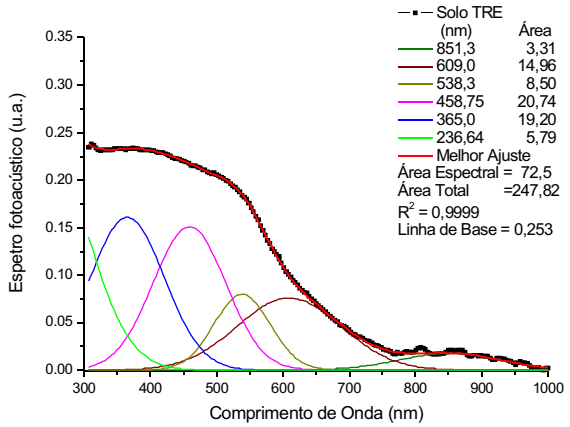


Fig. 9. Espectro fotoacústico de solo TRE e o melhor ajuste por gaussianas

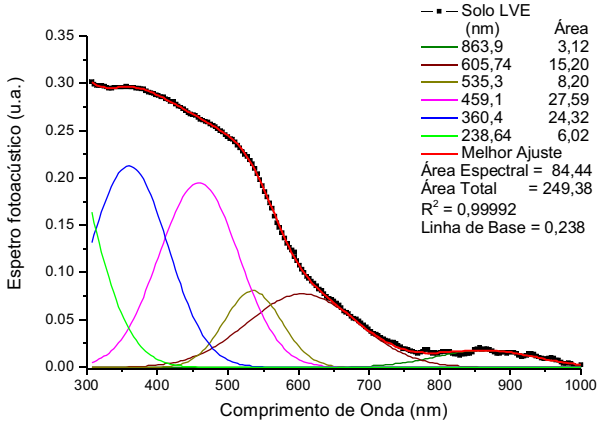


Fig. 10. Espectro fotoacústico de solo LVE e o melhor ajuste por gaussianas

Pode-se notar que os ajustes de curvas para os solos AQ, PVA e LVA foram diferentes daqueles solos mais ferrosos. Isto se deve ao efeito de saturação fotoacústica mais intensa nos solos ferrosos. Há meios de minimizar este efeito, mas devido a limitações instrumentais não foi possível. Essa saturação dificulta a determinação das bandas, por isso, as bandas mais significativas estão acima de 500 nm, as demais são difíceis de predizer. A região acima de 500 nm pode ainda fornecer informações importantes como a presença de substâncias ferrosas e de MOS.

As legendas internas às Figuras contêm os valores das posições de cada gaussiana e suas respectivas áreas. Nota-se, nas Figuras 5 a 7, que na região do infravermelho uma pequena banda foi ajustada, sendo que as áreas obtidas para os diferentes solos, o que indica Quantidades variadas de substâncias à base de ferro. Nessas Figuras, bandas ajustadas próximas a 600 nm dão indicativo da presença de MOS, sendo o solo LVA o que apresentou as maiores bandas.

Nas Figuras 8 a 10, os solos mais ferrosos apresentaram banda bem resolvida no infravermelho. Conforme a literatura, essa banda depende da quantidade de substancias à base de ferro. Um ombro largo, em cada espectro, foi ajustado por uma gaussiana nas proximidades de 600 nm, que indica alta presença de MOS e outros materiais. Uma banda estreita, próxima a 540 nm, completa o ajuste para o aumento abrupto do espectro. A literatura indica que essa banda está relacionada ao Fe3+, uma vez complexada, pode variar de posição. As demais formam um conjunto de bandas de alta incerteza que não serão analisadas neste trabalho. Vale salientar, que devido à forte saturação fotoacústica no solo TRE, o ajuste de seu espectro foi um tanto prejudicado.

A Tabela 1 apresenta as áreas totais sob o espectro de cada solo, como também as áreas das gaussianas na região de 850 nm, já que esta banda é mais resolvida do que as demais, principalmente nos solos que contém mais óxidos. Nota-se, na Tabela 1, o crescimento dessa banda desde o solo AQ até o LR, que reflete o crescimento similar àqueles das áreas totais.

Tabela 1. Parâmetros determinados através do ajuste de curvas.

	Solos intactos					
	AQ	LVA	PVA	TRE	LVE	LR
Área da Gaussiana na região de 900 nm.	1,87	2,70	2,51	3,31	3,12	5,09
Área Espectral Total	178,89	184,15	199,08	247,82	249,38	259,45

A menor área total foi para o solo AQ, mas os solos TRE e LVE ficaram praticamente iguais. As áreas sob as curvas espectrais representam as energias absorvidas por cada transição para os óxidos de ferro, matéria orgânica e outros. Elas representam as energias totais absorvidas e convertidas em sinais fotoacústicos. Parte da energia luminosa absorvida pode ser convertida em sinal acústico e outra parte é armazenada na amostra por transferência de calor. Lembrando que a energia luminosa total, no caso, tem duas componentes: a absorvia e a refletida. A energia transmitida é baixa já que as amostras são opticamente opacas para a maioria dos comprimentos de onda.

A Tabela 2 resume as propriedades desses solos coletados e analisados em 2007 (MANIERI et al., 2007). Estão arranjados conforme os teores crescentes de MOS. Notam-se algumas concordâncias entre esses resultados com aqueles na Tabela 1, especificamente para os solos argilosos. Lembrando que as amostras analisadas neste trabalho foram coletadas em 2008, nos mesmos locais, podendo haver, portanto, algumas pequenas alterações nos valores das propriedades dos solos.

As dispersões encontradas podem ter origens no efeito térmico que envolve o sinal fotoacústico. Alguns solos podem apresentar calores específicos bem diferentes entre si, isto é, armazenam mais calor do que outro. Isto pode elevar a temperatura interna do solo provocando um deslocamento espectral. Outro meio é a saturação fotoacústica que ocorreu nas amostras de solos mais ferrosos como LR, o que indica alta absorção do ferro e de MOS na região do ultravioleta como é mostrado por Quiroz (2002), Nordemann e Lucht (1982).

Solo	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	pH $CaCl^2$	M.O. g dm^{-3}
AQ	86	6	8	4,6	11
PVA	70	6	24	4,9	23
LVA	62	6	32	4,3	31
LVE	43	10	47	5,5	37
TRE	18	16	66	4,6	39
LR	43	8	49	4,7	54

Conclusão

Este trabalho demonstrou que a PAS pode ser usada para estudo de solo intacto. Ela tem a grande vantagem sobre a espectrorradiometria e espectrofotometria por refletância difusa, pois independe de parâmetros que podem influenciar nas medições, como variação da intensidade de luz, granulometria, entre outras.

A PAS possibilitou a determinação de bandas importantes de absorção dos solos com a associação da técnica de deconvolução espectral; a distinção entre os solos que mais absorvem a radiação luminosa através do cálculo das áreas sob as curvas e não necessitou tratamento prévio das amostras. As áreas espectrais totais e das gaussianas na região de 850 nm serviram para distinguir o solo com diferentes teores de óxidos de ferro, como esperado.

O relacionamento das áreas sob as curvas espectrais e o teor de MOS de ferro é um indicativo para a aplicação da PAS como uma ferramenta exploratória da quantidade desses materiais no solo. Além disso, é possível correlacioná-las com os conteúdos de óxidos de ferro entre diferentes solos.

Referências

BERTRAND, L.; MONCHALIN, J. P.; LEPOUTRE, F. Magnitude and phase photoacoustic spectra of chrysolite asbestos, a powdered sample. **Applied Optics,** New York, v. 21, n. 2, p. 248-252, 1982.

BICANIC, D.; CHIRTOC, M.; LUBBERS, M.; JALINK, H. A photoacoustic detector of the total carbon content in soil water solutions. **Measurement Science and Technology**, Bristol, v. 4, p. 1016-1020, 1993.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLANT, E.; DICK, D. P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481-489, 2005.

DEMATTÊ, J. A. M.; CAMPOS, R. C.; ALVES, M. C. Avaliação espectral de solos desenvolvidos em uma topossequência de diabásio e folhelho da região de Piracicaba,SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 35, n. 12, p. 2447-2460, 2000.

DEMATTÊ, J. A. M.; GENÚ, A. M.; FIORIO, P. R.; ORTIZ, L. J.; MAZZA, J. A.; LEONARDO, H. C. L. Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamento remoto espectral e pelo método convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, DF, v. 39, n. 12, p. 1219-1229, 2004.

ESPIG, S. A.; REIS, ILKA, A.; ARAÚJO, E. P.; FORMAGGIO, A. R. Relação entre o fator de reflectância e o teor de óxido de ferro em Latossolos brasileiros. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, Brasil. **Anais...** [S. l.]: INPE, 2005. p. 371-379.

FERNANDES, R. B. A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M. P. F. Quantificação de óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 245-257, 2004.

MANHÃES, R. S. T.; AULER, L. T.; STHEL, M. S.; ALEXANDRE, J.; MASSUNAGA, M. S. O.; CARRIÓ, J. G.; SANTOS, D. R. dos; SILVA, E, C. da; GARCIA-QUIROZ, A.; VARGAS, H. Soil characterisation using X-ray diffaction, photoacoustic spectroscopy and electron paramagnetic resonance. **Applied Clay Science**, Amsterdam, v. 21, p. 303-311, 2002.

MANIERI, J. M.; VAZ, C. M. P.; De MARIA, I. C. Sonda espiral de TDR para a medida da umidade no perfil do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 191-198, 2007.

MELO, W. L. B.; FARIA, R. M. Photoacoustic procedure for measuring thermal parameters of transparent solids. **Applied Physics Letters**, [S.l.] v. 67, n. 26, p. 3893-3894, 1995.

MELO, W. L. de B. **Contribuições às técnicas de espectroscopias fototérmicas e aplicações a materiais poliméricos.** 1992. 111 f. Tese (Doutorado em Física) - Instituto de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

MONCHALIN, J. P.; BERTRAND, L.; ROUSSET, G., LEPOUTRE, L. Photoacoustic sapectroscopy of thick powdered or porous samples at low frequency. J. Appl. Phys., [S. l.], v. 56, n. 1, p. 190-210, 1984.

MOTA, L.; TOLEDO, R.; FARIA JÚNIOR, R. T.; SILVA, E. C. da; VARGAS, H.; DELGADILLO-HOLTFORT, I. Thermally treated soil clays as ceramic raw materials: Characterisation by X-ray diffration, photoacoustic and electron spin resonance. Applied Clay Science, Amsterdam, v. 43, n. 2, p. 243-247, 2009.

NOÇÕES básicas de solo e a interação com a radiação solar. Disponível em: <http://www.epamig.br/geosolos/MN_GEO/capitulo03.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2008.

NORDEMANN, L. M. M.; LUCHT, L. A. M. Estudo de temperatura em solos tropicais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO SBSR, 2., Brasília, 1982. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1982. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte@80/2008/09.30.12.12?languagebutton=pt-BR&mirror=dpi.inpe.br/banon/2003/12.10.19.30.54&searchsite=marte.dpi.inpe.br:80&searchmirror=dpi.inpe.br/banon/2003/12.10.19.30.54. Acesso em: 11 nov. 2008.

QUIROZ, A. G. **Aplicação da ressonância paramagnética eletrônica e da espectroscopia fotoacústica ao estudo de íons Fe3+ em materiais catalíticos e argilosos.** 2002. 169 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ROSENCWAIG, A.; GERSHO, A. Theory of the photoacoustics effect with solids. **J. Appl. Phys.**, [S. l.], v. 47, p. 64-69, 1976.

SANTOS, D. R. dos; TOLEDO, R.; MASSUNAGA, M. S. O.; CARRIÓ, J. G.; AULER, L. T.; SILVA, E. C. da; GARCIA-QUIROZ, A.; VARGAS, H. Photoacoustic spectroscopy applied to the study of clay soils. **Review os Scientific Instruments**, Rochester, v. 74, n. 1, p. 355 - 357, 2003.

Comunicado Técnico,101

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: 16 2107 2800 - **Fax:** 16 2107 2902
e-mail: sac@cnpdia.embrapa.br
http://www.cnpdia.embrapa.br
1a. edição
1a. impressão 2008: tiragem 300

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
BRASIL UM PAÍS DE TODOS GOVERNO FEDERAL

Comitê de Publicações

Presidente: *Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso*
Membros: *Dra. Débora Marcondes B. P. Milori, Dr. João de Mendonça Naime, Dr. Washington Luiz de Barros Melo Valéria de Fátima Cardoso*

Membro Suplente: *Dr. Paulo S. P. Herrmann Junior*

Expediente

Supervisor editorial: *Dr. Victor Bertucci Neto*
Normalização bibliográfica: *Valéria de Fátima Cardoso*
Tratamento das ilustrações: *Valentim Monzane*
Editoração eletrônica: *Manoela Campos*