

Aplicabilidade de ferramentas de geotecnologia para estudos e perícias ambientais

V.W. Botteon ^{a,*}

^a *Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (USP), São Paulo (SP), Brasil*

* *Endereço de e-mail para correspondência: victor_botteon2@hotmail.com. Tel.: +55-19-98371-8552.*

Recebido em 21/11/2015; Revisado em 08/02/2016; Aceito em 11/02/2016

Resumo

Impactos ambientais se tornam frequentes preocupações nos dias atuais. Dentre os vários meios produtores de prova na esfera judicial, a perícia ambiental se destaca e ocupa um espaço importante no esclarecimento de questões destinadas a apurar determinado fato relacionado a litígios ambientais. Em virtude da importância e da grande complexidade de ilícitos contra o meio ambiente, é fundamental que se desenvolvam tecnologias para auxiliar os exames periciais no desempenho de suas atividades. Dessa forma, as geotecnologias apresentam vantagens e se tornam primordiais para lidar com a complexidade da avaliação ambiental e áreas de grande extensão. O uso de geotecnologias é amplo e se dá principalmente pela disponibilidade de equipamentos adequados ao processamento de informações e à facilidade de acesso a dados, otimizando custos operacionais e agilizando processos de tomadas de decisão. Esse quadro pode oferecer suporte ao perito na realização de exames de forma mais eficiente e permitindo acessibilidade de recursos tecnológicos a baixos custos para melhor instruir um laudo pericial ambiental. O presente trabalho objetivou apresentar exemplos de alguns estudos e a importância de ferramentas de geotecnologias, com ênfase na perspectiva de aplicabilidade nas atividades de perícia ambiental.

Palavras-Chave: Geotecnologia, Sensoriamento Remoto, Perícia Ambiental, Impactos Ambientais.

Abstract

Environmental impacts become common concerns nowadays. Among several means to produce forensic proofs, environmental expertise stands out and occupies an important place in environmental disputes and litigation. Because of the importance and great complexity of offenses against the environment, it is essential to develop technologies to support forensics exams. Thus, geotechnologies present advantages and become essential to deal with complex environmental matters and to assess large areas. The use of geotechnologies is widespread because the availability of facilities suitable for the processing information and to optimize costs and streamlining decision-making processes. Such figure can support experts in more efficiently forensics exams and allows technological resources accessibility at lower costs for better instruction of environmental reports. This review aimed to present some researches and the importance of geotechnology tools for forensic exams, emphasizing the perspective of applicability in environmental forensics activities.

Keywords: Geotechnology, Remote Sensing, Environmental Expertise, Environmental Impacts.

1. INTRODUÇÃO

A ocupação desordenada e desenfreada do espaço, a expansão de áreas agrícolas e urbanas, as diversas alterações no meio natural e a exacerbada exploração dos recursos naturais pelas atividades antrópicas culminam em perturbações dos ecossistemas, significativo declínio da biodiversidade e degradação ambiental, desencadeando uma crescente preocupação com a recuperação e proteção do meio ambiente [1]. Destarte, surge a necessidade de

elucidar questões complexas com o auxílio de conhecimentos técnico-científicos e obter informações multidisciplinares, ágeis e precisas para subsidiar os processos de tomada de decisão para racionalizar custos e atenuar os impactos causados ao sistema natural [2,3].

Nesse contexto, a integração de geotecnologias, um conjunto de tecnologias para realização de coleta, processamento, análise e disponibilização de informações geográficas, como o sensoriamento remoto (SR) e sistemas de informações geográficas (SIG), oferece

técnicas que se vêm destacando nos procedimentos de levantamentos e mapeamento de áreas [2-4], envolvendo a utilização espacial de informações obtidas em trabalho de campo e laboratório [5]. São instrumentos amplamente utilizados em estudos aplicados à pedologia e modelos digitais de terreno, imprescindíveis para o planejamento do uso racional dos solos a fim de diminuir os impactos ambientais [4,6]. O SIG permite ao profissional armazenar, manipular e analisar dados espaciais, auxiliando o gerenciamento de informações ambientais [7].

O SR estuda a interação entre as características do objeto alvo e a energia eletromagnética por ele refletida ou emitida (comportamento espectral), permitindo detectar informações qualitativas e quantitativas do solo, da água e da vegetação [8]. Os sistemas de sensores remotos orbitais consistem no conjunto de sensores remotos que estão a bordo dos satélites de recursos naturais e que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético [9]. Seu uso é amplo e se dá principalmente pela disponibilidade de equipamentos computacionais adequados ao processamento de informações e à obtenção e ao acesso de dados dos sensores remotos disponíveis, minimizando e diminuindo custos operacionais de metodologias tradicionais de análises. O SR agiliza processos de tomadas de decisão para planejamentos e fornece informações confiáveis em menor escala temporal, comparáveis às análises geradas pelas técnicas tradicionalmente utilizadas [10].

Geotecnologias são ferramentas muito utilizadas em estudos e pesquisas na área agrícola e florestal, desde o estudo dos solos e suas características até estudo das próprias culturas, com finalidade de promoção de manejo sustentável, otimização e levantamento de dados sobre a estimativa de áreas plantadas, parâmetros vegetacionais, estresse hídrico, salinidade, deficiências nutricionais de solo e de plantas, presença de pragas e doenças, estimativa da produção, vigor vegetativo de culturas, mapeamento temático, distribuição espacial e monitoramento de áreas agrícolas [9, 11-20].

Referidas ferramentas ampliaram sua aplicabilidade e vêm contribuindo de forma bastante eficaz na realização de perícias ambientais, com a finalidade de auxiliar a constituição de meios de prova que venham a ser utilizadas para esclarecimento de questões ambientais [21-23]. Apresentam vantagens, como acessibilidade e baixos custos e se tornam primordiais para lidar com a complexidade da avaliação ambiental e áreas de grande extensão [24], oferecendo suporte ao perito na realização dos exames.

Objetiva-se neste trabalho apresentar exemplos de estudos e a importância de ferramentas de geotecnologias, com ênfase na perspectiva de aplicabilidade nas atividades de perícia ambiental.

2. PERÍCIA AMBIENTAL

A tutela do meio ambiente por parte do Estado é formalizada em um rigoroso conjunto de normas, e as questões ambientais ganharam destaque nas demandas judiciais, principalmente após a regulamentação da Lei nº 9.605¹ e a conscientização da sociedade sobre a preservação do meio ambiente.

Dentre os vários meios produtores de prova na esfera judicial, a perícia se destaca e ocupa um espaço importante no esclarecimento de questões de providências policiais, na tipificação, qualificação e na cominação das penas ao final da fase processual, a fim de trazer à luz a veracidade de fatos ou circunstâncias.

A perícia ambiental tem como objeto de estudo o meio ambiente, nos seus aspectos abióticos, bióticos e socioeconômicos, de caráter complexo e multidisciplinar, concernente a exame realizado por profissionais especialistas, legalmente habilitados, destinada a verificar, apurar ou esclarecer determinado fato relacionado a litígios ambientais [21]. Referido exame pericial se faz necessário para analisar casos de demandas judiciais específicas advindas das questões ambientais, quando o principal objeto de estudo é o dano ambiental ocorrido ou risco de sua ocorrência [23].

Em virtude da importância e da grande complexidade de ilícitos contra o meio ambiente, é fundamental que se desenvolvam tecnologias para auxiliar as atividades periciais a desempenhar suas funções.

3. USO DE GEOTECNOLOGIAS EM TRABALHOS AMBIENTAIS

Hodiernamente, os dados obtidos por meio de sensoriamento remoto (SR) podem ser gerados por meio de veículos aéreos não tripulados (VANT's), espectrorradiômetro (sensores terrestres) e orbitais (imagens de alta resolução espacial) que possuem instrumentos de sensores ópticos, como câmeras fotográficas aéreas e imageadores multiespectrais e hiperespectrais para obtenção de dados [25]. Utilizando fotos aéreas de VANT, d'Oleire-Oltmanns e colaboradores [26] estudaram a erosão do solo em um local de difícil acesso, ressaltando a especificidade dos aeromodelos em reduzir a perda de informação entre a escala dos satélites e da escala do campo.

O solo é um recurso natural não renovável, sendo imprescindível adquirir medidas mitigadoras, compensatórias e adequadas de manejo, visando a sua conservação e planejamento do uso racional da terra para promover o manejo sustentável dos recursos naturais [27].

¹ Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas, de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília-DF.

Nesse contexto, as geotecnologias podem ser utilizadas para apoiar o mapeamento digital de solos [3,4] por meio de dados obtidos a partir do comportamento espectral decorrente das propriedades físicas, químicas, mineralógicas e biológicas que caracterizam os diferentes tipos de solos, possibilitando levantamento de dados para estudos e perícias [28-30]. A avaliação do solo por imagens espectrais permite a quantificação de alguns de seus atributos, constituindo um método mais rápido e pouco oneroso, além de gerar menos impactos ao meio ambiente, quando comparado a métodos tradicionais, que podem gerar efluentes tóxicos durante as análises físico-químicas de amostras [31,32].

Com auxílio do geoprocessamento, Machado e cooperadores [33] demonstraram ser possível analisar os elementos do meio físico que participam do processo erosivo, como a declividade do terreno, as redes de drenagem, uso e ocupação das terras, a intensidade das chuvas e a cobertura vegetal natural [34,35]. Com essa técnica, é possível observar áreas mais propícias à erosão e propor ações de prevenção ou contenção, a fim de evitar o assoreamento de cursos d'água e contaminação das águas por agrotóxicos e produtos químicos que são carregados juntamente com as partículas de solo.

O uso contínuo do solo decorrente da intensa atividade humana, de maneira geral, reduz o seu estoque de carbono e nitrogênio, bem como aumenta a emissão de gases do efeito estufa [36]. A diminuição da matéria orgânica dos solos resulta em maior reflectância e alteração no padrão a ser exibido pela curva espectral [37], tornando possível realizar o diagnóstico ambiental de possíveis solos degradados.

Regiões de solo exposto possuem altas reflectâncias em todas as regiões do espectro eletromagnético [38]. Na região do infravermelho-próximo (0,75-3 μm) e médio (3-5 μm), esses solos apresentam elevado albedo e, na banda termal (10,4-12,4 μm), também possuem alta reflectância por apresentarem sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos e propriedades termais das rochas e de elementos que os constituem. Isso os diferencia do albedo observado na vegetação, que tende a diminuir nessa banda em comento.

Com a finalidade de monitoramento da umidade do solo, um estudo foi realizado em Alberta, no Canadá, em que os dados foram obtidos pelo sensor AMSR-E (*Advanced Microwave Scanning Radiometer - Earth Observing System Sensor*), a bordo do satélite Aqua da agência NASA (*National Aeronautics and Space Administration - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço*) [39]. Comprimentos de ondas do tipo micro-ondas são capazes de detectar a umidade de solo pela grande diferença das propriedades dielétricas da água comparada às dos outros componentes do solo [16]. Os dados obtidos também foram usados para comparação com períodos de seca, com finalidade de analisar se havia

correlação entre eles. Medidas da umidade do solo *in situ* também foram feitas para avaliar a confiabilidade do método de medida pelo sensor do satélite, demonstrando que o uso de agregação espacial pode fornecer informações sobre a umidade do solo, porque os registros de satélite de dados são temporalmente deficientes [39].

A umidade do solo é importante para o trabalho pericial, uma vez que também está relacionado ao tipo de cobertura vegetal da área. Um exemplo de aplicação de monitoramento de umidade de solos no Brasil é o programa PROCLIMA, que utiliza dados de estações de superfície de plataformas de coletas de dados (PCDs) meteorológicas automáticas e telemétricas e de satélites, como das séries GOES e METEOSAT, para monitoramento meteorológico [40].

Existem diversos satélites que podem ser utilizados em estudos ambientais. Entre eles destaca-se o Landsat, de origem estadunidense. O sistema Landsat, do qual fazem parte os sensores MSS (*Multispectral Scanner*), TM (*Thematic Mapper*) e ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), é um dos mais utilizados em estudos de SR devido à oferta contínua de dados de boa qualidade, bem como a facilidade de acesso às bases de dados disponíveis [41] como mostram diversos exemplos de estudos de monitoramento de desmatamento, análises multitemporais e incêndios florestais, que podem ser aplicados em trabalhos periciais [42].

As características espectrais de alvos como vegetação, solo e água possuem padrões próprios de respostas às interações, propiciando a obtenção de informações por meio de utilização de sensores adequados, específicos para os interesses periciais ou do estudo. No trabalho realizado por Franco e colaboradores [43], a banda 3 do TM/LANDSAT 5 apresentou bom contraste entre o solo, vegetação e as áreas urbanas; a banda 4 apresentou melhor contraste entre os alvos aquáticos, vegetação e solo, uma vez que a água absorve mais energia e a vegetação e o solo exposto apresentam maior reflectância. Já a composição colorida RGB/543, por exemplo, permite a identificação de diferenças no uso do solo, com apresentação da vegetação na coloração verde [25].

O uso de Índices de Vegetação, como por exemplo, o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) e o *Normalized Difference Water Index* (NDWI), utilizados para identificar a presença de vegetação verde na superfície, permite caracterizar a evolução temporal da vegetação, sua distribuição espacial e quantificar determinado parâmetro biofísico, tais como vigor da vegetação, biomassa vegetal, estresse hídrico das plantas, dentre outros, a fim de diagnosticar alterações antrópicas na paisagem. Esses índices se baseiam em combinações das reflectâncias do visível ($\sim 0,4\text{-}0,75 \mu\text{m}$) e do infravermelho próximo, realçando as feições da vegetação, correlacionando aos parâmetros biofísicos, e minimizando efeitos espúrios, atmosféricos ou efeitos

angulares [44]. Essas características permitem reduzir a dimensão das informações multiespectrais e fornecer dados altamente correlacionados aos parâmetros de interesse para levantamento de dados [45], podendo ser utilizado em exames periciais de crimes contra a flora.

O método da remoção de contínuo é um meio de normalizar espectros de reflectância para que seja possível a comparação de feições de absorção individuais a partir de um valor de base comum, isolando as características espectrais em comprimentos de ondas específicos e observando a presença de feições, intensidade, forma e inclinação das curvas para avaliar as características da amostra de solo, que pode ser feito com uso de espectrorradiômetros [46]. Por exemplo, o equipamento FieldSpec Pro (Analytical Spectral Devices, Boulder, Colo) para obtenção de dados espectrais em laboratório, é um sensor de resolução espectral de 1nm nos comprimentos de onda de 350 a 1100 nm e de 2 nm nos comprimentos que vão de 1100 a 2500 nm.

As geotecnologias podem ser empregadas para a identificação de substâncias contaminantes presentes nos solos, variando nos valores do albedo encontrados nas curvas espectrais. Segundo Scafutto e Souza Filho [47], as misturas contaminadas com hidrocarbonetos e etanol apresentaram um aumento progressivo da profundidade das feições de absorção, principalmente na região de 1.700 nm, de tal modo que o grau de contaminação em solos pode ser correlacionado à profundidade dos picos de absorção quantificados pelos programas de processamento de dados. Allen e Krekeler [48] analisaram as assinaturas espectrais de misturas de óleos de diferentes densidades e combustíveis com substratos minerais variados, concluindo que elas apresentam suas próprias feições de absorção espectral, mas que algumas podem ser mascaradas pela opacidade do óleo em determinadas regiões do espectro.

Cloutis [49] utilizou-se de espectrorradiômetro para analisar solos contaminados em Athabasca, Canadá, identificando as fases presentes nas amostras a partir de distintas bandas de absorção observáveis em curvas de reflectância espectral, que apresentaram picos de máxima absorção nos comprimentos de onda de 1.730 nm e 2.310 nm. Dessa forma, podem-se identificar vazamentos em dutos que transportam hidrocarbonetos, que podem gerar gases explosivos, dando origem a situações potencialmente perigosas [50].

Outros contaminantes altamente tóxicos, os metais, não são biodegradáveis, são bioacumuláveis e apresentam sua toxicidade dependente de suas propriedades físicas e químicas [51]. Atividades mineradoras e a utilização excessiva de agroquímicos, fertilizantes e insumos orgânicos podem levar a concentrações relativamente altas de metais em solos [52]. Esses elementos apresentam comportamento espectral diferente da composição mineralógica natural dos solos. Malley e

Williams [53] determinaram por meio de *Near-infrared spectroscopy* (NIRS) a contaminação de sedimentos de lagos por metais, utilizando métodos multivariados.

A assinatura espectral altera significativamente em solos contaminados e, em função do seu grau de contaminação [54]. A alteração mais evidente é uma forte diminuição do albedo total e uma estabilização em maiores comprimentos de onda. Podem-se notar aumento nas características de absorção entre 700 e 1.400 nm e diminuição em 1.400, 1.900, e 2.200 nm para As, Fe, Hg, Pb, S, Sb [54].

Wu e colaboradores [55] concluíram que é necessária alta concentração de metais presentes na amostra de solo para que seja visualizado seu padrão na curva espectral e que a correlação com o total de Fe é o principal componente detectado no estudo.

Em casuística no território brasileiro, Trauczynski [56] demonstrou perspectivas da atividade de perícia criminal no estado de Santa Catarina, em levantamento de dados e diagnósticos de crimes ambientais contra a flora, analisados por meio de utilização de ferramentas de geotecnologia por peritos criminais, citando exemplo de caso de detecção de desflorestamento de forma remota. A obtenção de imagens de SR em diferentes intervalos temporais, com resolução espacial e espectral adequadas, pode fornecer subsídios para qualificação, quantificação e constatação do dano em um contexto temporal.

Tancredi e colaboradores [57] elucidaram com o uso de geotecnologias degradações em Áreas de Preservação Permanente (APP) e um pouco mais de 3.000 ha de floresta com indícios de exploração seletiva de madeira.

O Guia de Serviços da Perícia Criminal Federal, da Polícia Federal (PF) do Brasil [58] indica que os principais tipos de exames periciais na esfera federal relacionados à temática ambiental estão divididos em cinco grupos: 1) extração e comercialização ilegal de bens da União, 2) crimes contra a fauna e flora, 3) ocupações e usos do solo em áreas protegidas, 4) análise de procedimentos administrativos ambientais e 5) poluição.

O emprego de ferramentas de geoprocessamento e SIG, tais como o INTELIGEO, permite a detecção e o combate contra diversos tipos de crimes ambientais, sobretudo na Amazônia; na detecção de padrões associados a cultivos ilícitos, como o caso da maconha; na avaliação das propriedades físicas tanto em superfície quanto abaixo do nível do solo, por meio de ferramentas de Geofísica Forense, com a vantagem de preservação de possíveis vestígios no local do crime [58], além de possibilitar maior produtividade, dinâmica do processo de geração de informações e versatilidade e no manuseio dos dados obtidos [59].

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme disposto no corpo deste artigo, as análises ambientais realizadas com auxílio da utilização de

geotecnologias apresentam aplicabilidades diversas, dependendo do objetivo do trabalho a ser desenvolvido e dos quesitos ofertados. Geotecnologias auxiliam levantamentos de locais, fornecendo informações valiosas e poder ilustrativo sobre vários aspectos do meio físico, em escala compatível com o objetivo, buscando otimizar tempo e custos operacionais.

Apesar das vantagens das geotecnologias elencadas anteriormente, cumpre destacar que as ferramentas necessitam de calibrações e validações oriundas das técnicas tradicionalmente utilizadas, além das limitações tecnológicas para cada técnica de levantamento de dados, como resoluções espectrais, espaciais e temporais. Pode-se citar como outro exemplo de limitação a presença de agentes interferentes para obtenção de imagens de satélites, como nuvens, que podem impedir a obtenção de imagens livres. Dessa forma, é interessante integrar diferentes ferramentas para suprir as limitações de cada técnica e contribuir com os resultados de levantamento, processamento e posterior interpretação dos dados.

Os crimes ambientais são objetos de relevante interesse social e a importância das ferramentas geotecnológicas para a atividade pericial é relevante, uma vez que pode ser empregada para coleta de dados em áreas extensas e para a realização de complexas análises para constatação de danos e materialização de delitos. Para tanto, é fundamental a integração e aperfeiçoamento das diversas técnicas e metodologias para caracterizar a atividade lesiva, qualificar o delito e mensurar a real extensão dos danos.

A perícia ambiental é recente no Brasil, assinalando a importância do desenvolvimento e divulgação de pesquisas científicas na área para a aplicação em exames de casos concretos. Essa prática forense é multidisciplinar, apresenta natureza complexa e exige profissionais qualificados em geoprocessamento que sejam capazes de interpretar dados e utilizar de forma adequada os artifícios tecnológicos disponíveis. Dessa forma, a estruturação e o fortalecimento dos órgãos periciais e ambientais responsáveis são necessários para possibilitar a devida utilização de geotecnologias na coleta de dados nos trabalhos de levantamentos de locais, subsidiar planejamentos e tomadas de decisões, além de fornecer informações técnicas e imparciais para o esclarecimento de litígios ambientais.

Portanto, é admitido concluir que as geotecnologias possuem extrema relevância para desbravar o campo de atuação das atividades periciais e potencial de aplicabilidade em litígios ambientais.

AGRADECIMENTOS

Grato ao Grupo de Pesquisa “Geotecnologia em Ciência do Solo” (GeoCis), coordenado pelo Prof. Dr.

José Alexandre Melo Demattê do Departamento de Ciência do Solo (LSO) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) pelos conhecimentos adquiridos na área (Website: <http://esalqgeocis.wix.com/geocis>). Grato aos dois revisores anônimos pelos seus comentários, que contribuíram com o trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Pimentel; U. Stachow; D.A. Takacs; H.W. Brubaker; A.R. Dumas; J.J. Meaney; J.A.S. O’neil; D.E. Onsi; D.B. Corzilius. Conserving biological diversity in agricultural / forestry systems. *Biosci. J.* **42(5)**, 354-362, 1992.
- [2] E. Ben-Dor. Quantitative remote sensing of soil properties. *Adv. Agron.* **75**, 174-243, 2002.
- [3] E. Ben-Dor; S. Chabrilat; J.A.M. Demattê; G.R. Taylor; J. Hill; M.L. Whiting; S. Sommer. Using imaging spectroscopy to study soil properties. *Remote Sens. Environ.* **113**, 38-55, 2009.
- [4] J.A.M. Demattê; R. Rizzo; V.W. Botteon. Pedological mapping through integration of digital terrain models spectral sensing and photopedology. *Rev. Ciênc. Agron.* **46**, 669-678, 2015.
- [5] P. Lagacherie; A.B. McBratney; M. Voltz. *Digital Soil Mapping: An Introductory Perspective – Developments in Soil Science. Elsevier.* **31**, 2007.
- [6] J.A.M. Demattê. O pedólogo e agricultura de precisão. *Boletim Informativo SBCS* **26**, 17-19, 2001.
- [7] K.C. Clarke. Advances in geographic information systems. *Comput. Environ. Urban Syst.* **10(3/4)**, 175-184, 1986.
- [8] J.R. Jensen. Remote sensing of the environment: an Earth Resources Perspective. 2a ed. Upper Saddle River: PrenticeHall, 592p, 2007.
- [9] Y.E. Shimabukur; E.E. Maeda; A.R. Formaggio. Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais. *Ceres.* **56(4)**, 399-409, 2015.
- [10] T.L. Coleman; P.A. Agbu; O.L. Montgomery. Spectral differentiation of soils and soil properties: is it possible from space platforms? *Soil Sci.* **155**, 283-293, 1993.
- [11] S.C. Chen. *Contribuição de dados de satélite no sistema de previsão de safras.* São José dos Campos: INPE, 9p, 1990.
- [12] A.M.P. Medeiros; B.F.T. Rudorff; Y.E. Shimabukuro. Imagens Landsat na Estimativa de Áreas de Cana-de-Açúcar, Milho e Soja. *Anais VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.* 33-37, 1996.
- [13] N. Zhang; M. Wang; N. Wang. Precision agriculture: a worldwide overview. *Comput. Electron. Agr.* **36**, 113 – 132, 2002.
- [14] S.K. Seelan; S. Laguette; G.M. Cassady; G.A.

- Seielstad. Remote sensing applications for precision agriculture: a learning community approach. *Remote Sens. Environ.* **88**, 157-169, 2003.
- [15] B.F.T. Rudorff; L.M. Sugawara; M.A. Moreira; V. Duarte; V.C.G. Rosa. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2004/2005. *INPE*. 54p, 2004.
- [16] J.L. Hatfield; A.A. Gitelson; J.S. Schepers; C.L. Walthall. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. *Agron. J.* **100**, 117-131, 2008.
- [17] E.M. Abdel-Rahman; F.B. Ahmed. The application of remote sensing techniques to sugarcane, *Saccharum* spp. hybrid production: a review of the literature. *J. Remote Sens.* **29**, 3753-3767, 2008.
- [18] M. Govender; P.J. Dy; I.M. Weiersbye; E.T.F. Witkowski; F. Ahmed. Review of commonly used remote sensing and ground-based technologies to measure plant water stress. *Water SA.* **35**, 741-752, 2009.
- [19] M.P. Grisham; R.M. Johnson; P.V. Zimba. Detecting Sugarcane yellow leaf virus infection in asymptomatic leaves with hyperspectral remote sensing and associated leaf pigment changes. *J. Virol. Methods.* **167**, 140-145, 2010.
- [20] J.C. Mendonça; R.M. Freitas; D.A. Aguiar; E.F. Sousa; R.A. Muniz; B.S. Esteves. Mapeamento das Áreas de Cana-De-Açúcar na Região Norte Fluminense - RJ por uso de técnicas de Sensoriamento Remoto. *Eng. Agríc.* **31**, 561-571, 2011.
- [21] J.R. Almeida; S.G. Oliveira; M. Panno. Perícia Ambiental. *Thex Ed.* Rio de Janeiro, 41p, 2000.
- [22] C.H.B. Rocha. *Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar.* Autor, Ed. Juiz de Fora, 2002.
- [23] P.A.S. Correia. *Perícias Ambientais.* João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 8p, 2003.
- [24] M. Cohen; R.S. Mylavarapu; I. Bogrekcı; W.S. Lee; M.W. Clark. Reflectance Spectroscopy For Routine Agronomic Soil Analyses. *Soil Sci.* **172**, 469-485, 2007.
- [25] J.R. Jensen. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. *Parêntese* **87**, 515, 2009.
- [26] S. d'Oleire-Oltmanns; I. Marzloff; D.P. Klaus; J.B. Ries. Unmanned aerial vehicle, UAV for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sens.* **4**, 3390-3416, 2012.
- [27] A.E. Hartemink; A.B. McBratney. A soil science renaissance. *Geoderma* **148**, 123-129, 2008.
- [28] R.S.D. Dalmolin; C.N. Gonçalves; E. Klamt; D.P. Dick. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. *Ciênc. Rural* **35**, 481-489, 2005.
- [29] R.A. Viscarra-Rossel; D.J.J. Walworth; A.B. McBratney; L.J. Janik; J.O. Skjesmstad. Visible near infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. *Geoderma*, Amsterdam **131**, 59-75, 2006.
- [30] R.M. Nanni; J.A.M. Demattê; M.L. Chicati; P.R. Fiori; E. Cézar; R.B. Oliveira. Soil surface spectral data from Landsat imagery for soil class discrimination. *Acta Scientiarum* **34**, 103-112, 2012.
- [31] K.D. Shepherd; M.G. Walsh. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **66**, 988-998, 2002.
- [32] A.B. McBratney; M.L. Mendonça Santos; B. Minasny. On digital soil mapping. *Geoderma* **117**, 3-52, 2003.
- [33] A.M. Machado; S. Ferreira; F. Lombardi Neto. Caracterização de indicadores da erosão do solo em bacias hidrográficas com o suporte de geotecnologias e modelo predictivo. *Estudos Geográficos* **5**, 63-86, 2007.
- [34] M.J. Kirkby; R.P.C. Morgan. *Soil Erosion.* John Wiley & Sons, Ltd. Norwich, Great Britain, 1980.
- [35] J. Berton; F. Lombardi Neto. *Conservação do Solo.* Ed. Ícone. São Paulo, 1985.
- [36] V.P. Obade; R. Lal. Assessing land cover and soil quality by remote sensing and geographical information systems, GIS. *Catena* **104**, 77-92, 2013.
- [37] J.A.M. Demattê; M.R. Nanni; A.R. Formaggio; J.C.N. Epiphânio. Spectral reflectance for the mineralogical evaluation of Brazilian low clay activity soils. *J. Remote Sens.* **28**, 4537-4559, 2007.
- [38] P.R. Fiorio. Dados radiométricos obtidos nos níveis terrestre e orbital na avaliação de solos. *Tese de Doutorado.* Departamento de Ciências dos Solos, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2002.
- [39] C. Champagne; H. McNairn; A.A. Berg. Monitoring agricultural soil moisture extremes in Canada using passive microwave remote sensing. *Remote Sens. Environ.* **115**, 2434-2444, 2011.
- [40] J. Ceballos. Cap.6: Satélites na Agricultura. In: *Apostila do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais: Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas*, 2005.
- [41] J.C.N. Epiphânio. Cap.2: Satélites de Sensoriamento Remoto. In: *Apostila do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.* **2**, 2-37, 2002.
- [42] M.K. Steininger; F. Godoy; G. Harper. Effects of systematic sampling on satellite estimates of deforestation rates. *Environ. Res. Lett.* **4**, 034015, 2009.
- [43] E.S. Franco; V.M. de Lira; M.S.S. de Farias; R.V. Pordeus; V.L.A. de Lima. Uso de imagens TM/Landsat-5 na identificação da degradação ambiental na microbacia hidrográfica em Boqueirão-PB. *Rev. Geo. Agrár.* **2(3)**, 79-88, 2007.
- [44] A.R. Huete; C. Justice; H. Liu. Development of vegetation indices for MODIS_EOS. *Remote Sens. Environ.* **69**, 224-234, 1994.
- [45] C.J. Tucker. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* **8**, 127-150, 1979.

- [46] R.N. Clark. *Manual of Remote Sensing. Geological Survey*. United States, 1999.
- [47] R.D.P.M. Scafutto; C.R. Souza Filho. Espectroscopia de Reflectância, VNIR-SWIR Aplicada à Detecção e Identificação de Hidrocarbonetos em Substratos Contaminados: Uma Referência para a Caracterização de Exsudações e Vazamentos in situ a partir de Imagens de Sensoriamento Remoto Multiespectrais e Hiperespectrais. *In: Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 15, 2011.
- [48] C.S. Allen; M.P.S. Krekeler. Reflectance spectra of crude oils and refined petroleum products on a variety of common substrates. *Spie Defense Security & Sensing. Paper*. **22**, 7684, 2010.
- [49] E.A. Cloutis. Spectral reflectance properties of hydrocarbons: remote-sensing implications. *Science* **245**, 165-168, 1989.
- [50] J. Almeida Andrade; F.E. Augusto; I.C.F. Jardim. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclét. Quím.* **35(3)**, 17-43, 2010.
- [51] C.N. Costa; E.J. Meurer; C.A. Bissani; P.A. Selbach. Contaminantes e poluentes do solo e do ambiente. *In: E.J. Meurer. Fundamentos de química do solo. 2ª ed.* Porto Alegre, p209, 2004.
- [52] J.F.G.P. Ramalho; N.M.B. do A. Sobrinho; A.C.X. Velloso. *Pesq. Agropecu. Bras.* **35**, 1289-1303, 2000.
- [53] D.F. Malley; P. C. Williams. Use of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy in Prediction of Heavy Metals in Freshwater Sediment by Their Association with Organic Matter. *Environ. Sci. Technol.* **31**, 3461-3467, 1997.
- [54] T. Kemper; S. Sommer. Estimate of heavy metal contamination in soils after a mining accident using reflectance spectroscopy. *Environ. Sci. Technol.* **36**, 2742-2747, 2002.
- [55] Y. Wu; J.C.J Ji; P. Gong; Q. Liao; Q. Tian; H. Ma. A mechanism study of reflectance spectroscopy for investigating heavy metals in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* **71**, 918-926, 2007.
- [56] R.A. Trauczynski. Perícias criminais em delitos contra a flora no estado de Santa Catarina: diagnóstico, metodologia e perspectivas. *Tese de Doutorado*. Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.
- [57] N.S.H. Tancredi; J.R. de Almeida; G.A. Lins; A.J.T. Guerra; M.D.C.O. Jorge. Uso de geotecnologias em laudos periciais ambientais: estudo de caso no município de Jacundá, Pará. *Revista Geografar.* **7**, 1-19, 2012.
- [58] Guia de serviços da Perícia Criminal Federal. *Perícias de meio ambiente*. Departamento de Polícia Federal, Brasília, 2011.
- [59] J.M.de Moraes Neto. Avaliação da degradação das terras nas regiões oeste e norte da cidade de Campina Grande, PB: um estudo de caso. *Rev. Bras. Eng. Amb.* **6**, 180-187, 2002.