

Resposta espectral de sedimentos de reservatórios do semiárido brasileiro

Eurileny Lucas de Almeida ¹
Aldênia Mendes Mascena de Almeida ¹
Adunias dos Santos Teixeira ¹
Fernando Bezerra Lopes ¹
Lênio Soares Galvão ²
Eunice Maia de Andrade¹

¹ Universidade Federal do Ceará - UFC
Caixa Postal 12.168 - 60450-760 - Fortaleza - CE, Brasil
eurileny@yahoo.com.br; ald_m_m@hotmail.com; adunias@ufc.br; lopesfb@ufc.br;
eandrade.ufc@gmail.com

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
lenio@ltid.inpe.br

Abstract. Assuming that physico-chemical attributes affect the spectral curve of sediments, the objective of this work is to study the relationships of organic matter, phosphorus, nitrogen and granulometry with the laboratory spectral reflectance (350 to 2500 nm) of Brazilian semiarid sediments from the bottom of reservoirs. The study was carried out in the reservoirs Pereira de Miranda and General Sampaio, belonging to the watershed of the Curu river, in the state of Ceará. The results showed that sand and silt produced positive and negative correlation with reflectance, respectively. The best correlation for them was obtained in the band positioned at 662 nm. The clay had negative correlation with reflectance, especially at 2290 nm. The mostly correlated chemical attribute with reflectance was organic matter with negative coefficients from 567 to 761 nm, and a correlation peak at 662 nm. For phosphorus, the correlations were positive and from 0.37 to 0.63 with a maximum value at 511 nm. On the other hand, nitrogen behaved differently, with much lower correlation coefficients (0.19 to -0.17). We concluded that the spectral reflectance of sediments from the bottom of reservoirs can be used to estimate their physical and chemical attributes, confirming that the reflectance spectroscopy is a valuable tool for this purpose.

Palavras-chave: hyperspectral remote sensing, watersheds, organic matter, granulometry

1. Introdução

As práticas agrícolas, aliadas ao uso inadequado do solo e da água, estão entre os principais fatores que degradam os ecossistemas, pois expõem o solo à ação dos processos erosivos, aumentando significativamente as taxas de transferência de sedimentos aos corpos d'água (TIECHER et al., 2014; LOPES et al., 2015).

Os sedimentos de fundo, além de desempenharem papel importante na avaliação da poluição dos reservatórios, refletem o histórico, o impacto e a qualidade atual em relação às práticas do manejo do solo e da vegetação presente entorno dos reservatórios. Eles são usados para detectar a presença de contaminantes, principalmente os que não permanecem solúveis após o seu lançamento em águas superficiais (LEITE et al., 2013). Com isso, os estudos de sedimentos de fundo são de fundamental importância para a avaliação ambiental, servindo de base para análise do grau de conservação dos ecossistemas.

Um dos inconvenientes apresentados na inspeção dos reservatórios é a descrição dos sedimentos, pois está relacionado ao grande número de amostras, ou seja, a densidade de amostragem é geralmente elevada e, portanto, o custo é consideravelmente alto. Além disso, muitos dos resíduos das análises laboratoriais desses sedimentos provocam contaminação ambiental, seja por despejos gasosos, sólidos ou líquidos, como, por exemplo, a digestão sulfúrica para determinação de nitrogênio e a sulfocrômica produzida na determinação da matéria orgânica do solo (ESCOSTEGUY et al., 2007).

É nesse aspecto que a espectroscopia de reflectância, técnica de sensoriamento remoto na qual as informações são adquiridas sem o contato físico com o objeto, vem se tornando uma ferramenta poderosa na obtenção de atributos físicos e químicos do solo e sedimentos. Diversos pesquisadores vêm utilizando o sensoriamento remoto para auxiliar na caracterização, classificação e quantificação desses atributos (CRUZ et al., 2013; GENUÍ e DEMATTÊ, 2011; DEMATTÊ e GARCIA, 1999; CHAKRABORTY et al., 2012).

Cruz et al.(2013), utilizando a espectroscopia de reflectância para determinar a composição granulométrica e mineralógica de sedimentos nas nascentes da Bacia do rio Subaé, concluíram que a lagoa Salgada apresenta maior vulnerabilidade à contaminação por metais pesados pelo fato de apresentar sedimentos com maior quantidade de matéria orgânica e de material de granulometria fina. Além disso, salientaram que as curvas espectrais podem fazer parte da biblioteca espectral e possivelmente ser utilizadas para comparações com outros sedimentos lacustres.

Partindo-se da hipótese de que atributos químicos e físicos podem ser estudados utilizando a reflectância espectral de sedimentos de fundo dos reservatórios, o objetivo deste trabalho é estudar as relações da matéria orgânica, fósforo, nitrogênio e granulometria com a reflectância espectral (350 a 2500 nm) de laboratório de sedimentos de mananciais do semiárido brasileiro.

2. Metodologia de Trabalho

2. 1. Descrição e caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no Açude Pereira de Miranda, construído nos anos de 1950-1957 sobre o leito do rio Canindé, localizado no município de Pentecoste - Ceará, e no Açude General Sampaio, pertencente ao sistema hidráulico do rio Curu. A sua construção teve início no ano de 1932, sendo concluída em 1935, localizada na sua maioria no município de General Sampaio.

Os reservatórios Pereira de Miranda e General Sampaio apresentam capacidade de armazenamento de 360,0 hm³ e 322,2 hm³, respectivamente (SRH, 2015), estando inseridos na bacia hidrográfica do Curu localizada entre as coordenadas geográficas 3° 20' e 4° 36' de latitude Sul e 38° 55' e 39°50' de longitude Oeste (Figura 1).

Na Figura 1 estão apresentadas as delimitações das áreas cobertas pelos reservatórios em suas cotas de vertedouro na imagem Landsat 8 OLI de setembro de 2016. A rede de drenagem do Pereira de Miranda é composta principalmente pelos rios tributários Canindé e Capitão Mor principais responsáveis pelo aporte de água e sedimentos ao reservatório no período chuvoso (GORAYEB et al., 2005).

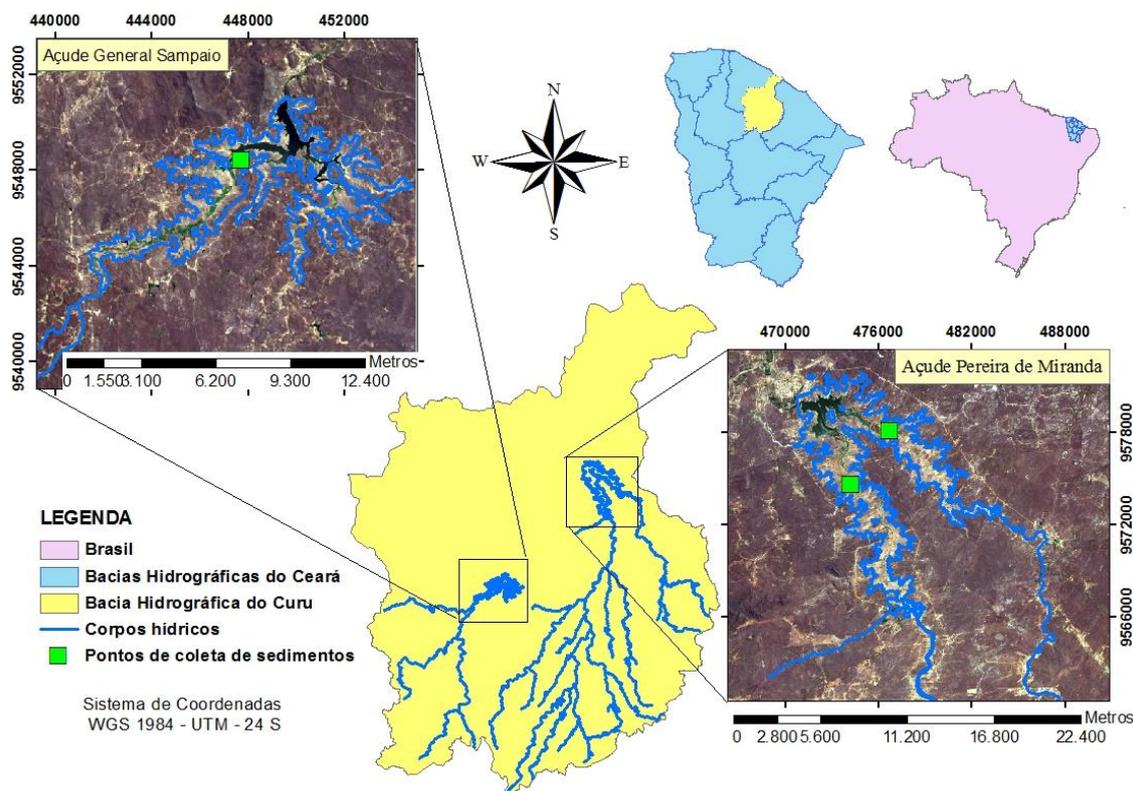


Figura 1 - Localização dos reservatórios estudados.

2.2. Coleta das amostras de sedimento

Os sedimentos foram coletados em junho de 2014, na entrada do rio Curu no Açude General Sampaio e nas entradas dos rios Canindé e Capitão Mor situados da bacia do Açude Pereira de Miranda, também conhecido como açude Pentecoste (Figura 1). Foram abertas duas trincheiras a uma distância de 500 m à montante da linha do espelho d'água em cada localidade. Os critérios de amostragem dos sedimentos seguiram a metodologia adotada por Lima et al. (2011), em que as aberturas das trincheiras foram no caminho preferencial dos rios ao entrar nos reservatórios, que é facilmente observado devido à topografia do terreno.

Para a retirada das amostras de sedimentos, foram utilizados: régua milimétrica, faca, pá quadrada e martelo pedológico. As coletas foram realizadas em camadas distintas, delimitadas de acordo com as características morfológicas externas, como cor e textura, até atingir a camada do leito do rio, identificada pela camada arenosa.

2.3 Análises de laboratório

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos hermeticamente fechados e identificadas. Em seguida, foram conduzidas ao Laboratório de Manejo de Solo da Universidade Federal do Ceará para realização das análises de carbono orgânico total (COT), matéria orgânica total (MO) e granulometria. Para as análises químicas e físicas foram utilizadas a Terra Fina Seca ao Ar - TFSA, que consiste em secar as amostras ao ar, destorroar e passar em peneira com malha de 2 mm.

O COT foi quantificado pela metodologia de Walkley-Blac modificado por Yeomans e Bremner (1988). O método consiste na oxidação do carbono orgânico do solo por dicromato (Cr^{6+}) na presença de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, levado a uma fonte externa de calor na qual o excesso de Cr^{6+} é titulado com (ferro) Fe^{2+} . A MO nos sedimentos foi obtida por meio da multiplicação do valor de COT pelo fator de 1,724 (EMBRAPA, 2011).

Para a estimativa das frações granulométricas e dos teores de fosforo e nitrogênio foi utilizada metodologia descrita por EMBRAPA (2011).

2.4 Espectroscopia de reflectância

Para a obtenção dos dados espectrorradiométricos de cada amostra de sedimento em laboratório, foi utilizada TFSA, acondicionada em placa de petri de 9 cm de diâmetro, em ambiente devidamente controlado, utilizando o espectrorradiômetro FieldSpec Pro FR 3 (350 – 2500 nm).

Na aquisição de dados espectrais, foi utilizado o espectrômetro FieldSpec3 em sala escura. Para calibração do sensor, foi realizada pré-leitura em placa padrão branca com 100% de reflectância (Spectralon). A distância do sensor ao alvo foi de aproximadamente 7 cm, a distância da fonte luminosa (lâmpada de 250 Watts) ao alvo foi 70,7 cm, com um ângulo zenital de 45° e a distância de 50 cm da superfície do piso a fonte luminosa, conforme Figura 2. Foram realizadas, para cada amostra, três leituras espectrais girando-se a placa de petri 120 graus entre cada leitura. Foi utilizada a média das três leituras.

Os valores espectrais (Número Digital-ND) das amostras de sedimento foram transformados em reflectância utilizando o software ViewSpecPro 6.2.

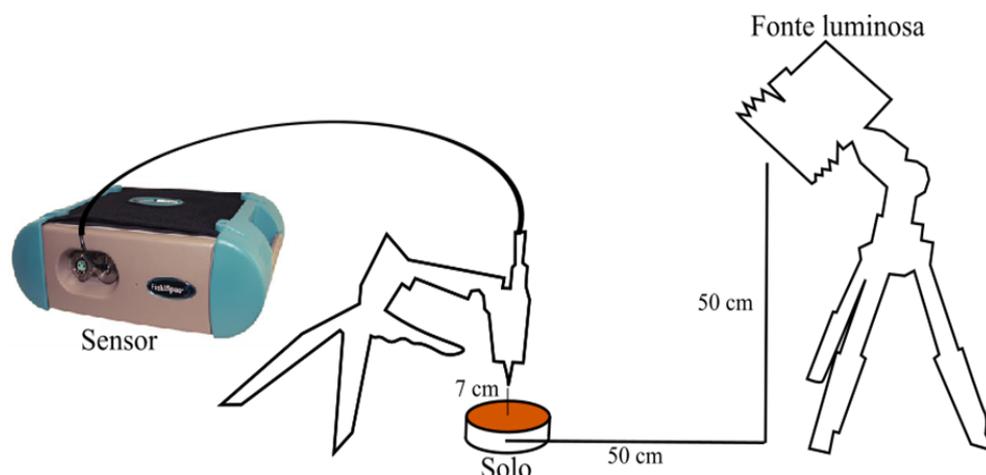


Figura 2 – Geometria de aquisição de dados

2.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de correlação de Pearson – r (1), entre os atributos testados e cada banda espectral de sedimentos dos açudes Pereira de Miranda e General Sampaio. Como ferramenta de auxílio às análises estatísticas e confecção dos gráficos, foi utilizado os softwares MATLAB e Excel.

$$r = \frac{N \times \sum_{i=1}^N (Y_{C_i} - Y_{O_i})^2 - \sum_{i=1}^N Y_{O_1} \times \sum_{i=1}^N Y_{C_1}}{\sqrt{[N \times \sum_{i=1}^N Y_{O_i}^2 - (\sum_{i=1}^N Y_{O_1})^2] \times [N \times \sum_{i=1}^N Y_{C_i}^2 - (\sum_{i=1}^N Y_{C_1})^2]}} \quad (1)$$

3. Resultados e Discussão

Na Figura 3, pode-se observar a reflectância de três amostras de sedimentos com diferentes texturas. É fácil constatar, como verificado também por Genú e Demattê (2012), que a textura afeta a intensidade da resposta espectral, sendo que solos mais arenosos absorvem menos energia e refletem mais ao contrário dos solos argilosos que refletem menos

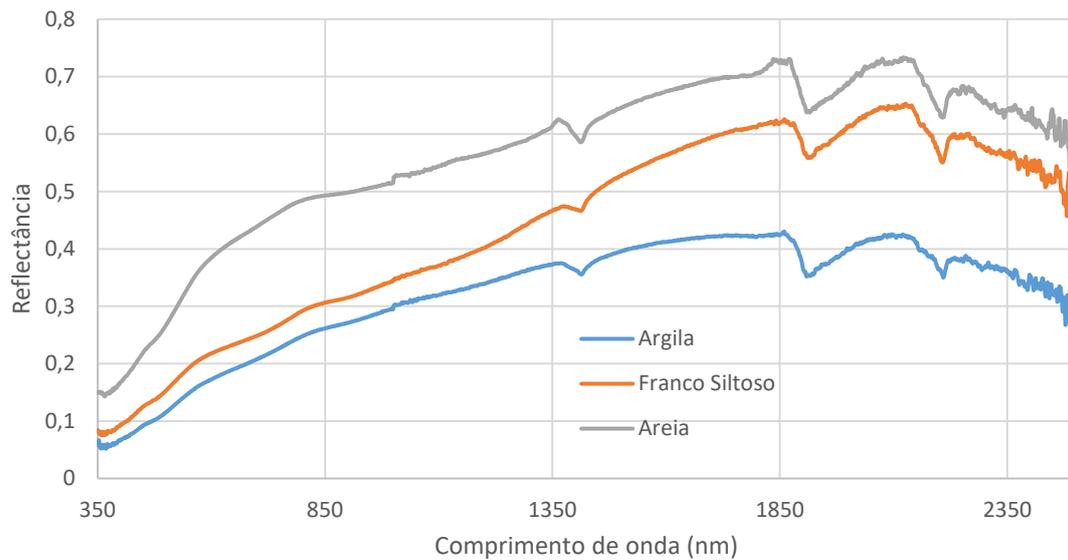


Figura 3 – Resposta espectral de sedimento arenoso, siltoso e argiloso.

De acordo com a Figura 4, onde é apresentado o coeficiente de correlação de Pearson entre as frações de areia, silte e argila e cada banda espectral, a correlação é positiva para os teores de areia e negativa para argila e silte.

Os coeficientes de correlação de Pearson para areia, variaram de 0,43 a 0,72, onde os melhores resultados foram do visível –VIS, principalmente nos comprimentos de onda referente ao vermelho, ao infravermelho próximo - NIR, com o maior valor no comprimento de onda 662 nm, sendo nessa faixa que a presença de óxidos de ferro influencia o comportamento da curva espectral, pois em amostras com baixo teor de matéria orgânica e alto teor de areia, o efeito dos óxidos de ferro é acentuado, como relatam Palacios-Orueta e Ustin (1998).

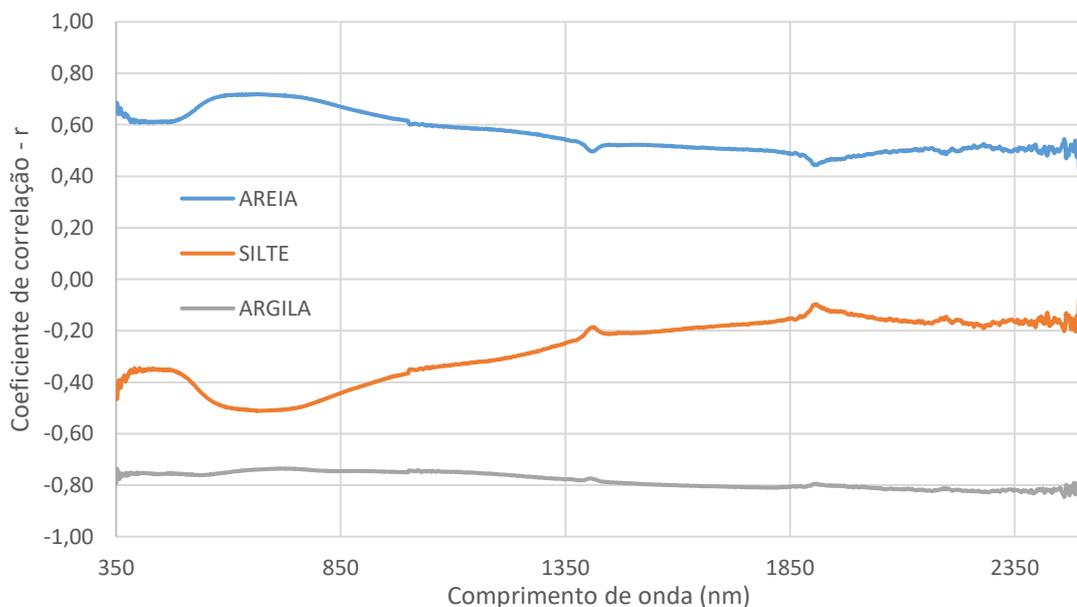


Figura 4 – Coeficiente de correlação de Pearson entre cada banda espectral e os teores de areia, silte e argila.

O silte obteve uma correlação bastante inferior (Figura 4), quando comparado com as outras frações granulométricas, que variaram de -0,08 a -0,51, com melhor correlação também na banda 662. Já a argila obteve os melhores resultados de correlação de Pearson, variando de -0,74 a -0,85, e foi a partir da banda 1428 que alcançou os melhores valores, com a melhor reposta em 2290 nm. Esse comportamento é devido as várias feições de absorção influenciadas pelos argilominerais (DALMOLIN et al., 2005) presentes nos solos tropicais.

Na Figura 5, pode-se notar o coeficiente de correlação de Pearson entre cada banda espectral e os teores de fósforo, nitrogênio e matéria orgânica. Para o fósforo os valores variaram de 0,37 a 0,63, sendo correlação positiva em todas as bandas, com maior correlação na banda 511 nm. Já o nitrogênio comportou-se de forma diferente, apresentado resultados bem inferiores, na qual variaram de 0,19 a -0,17.

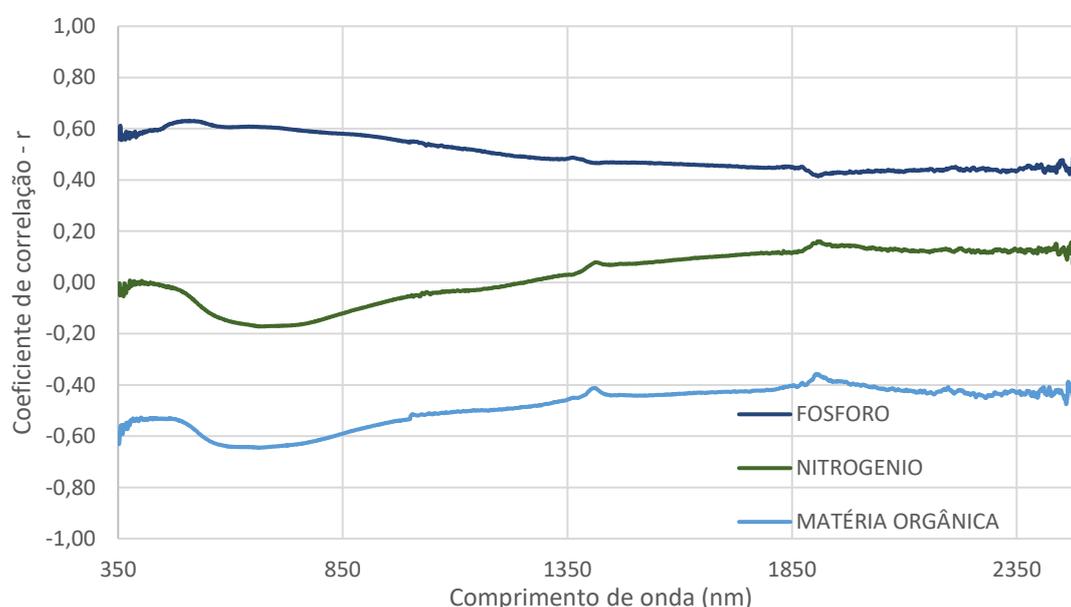


Figura 5 - Coeficiente de correlação de Pearson entre cada banda espectral e os teores de fósforo, nitrogênio e matéria orgânica.

Dos atributos químicos estudados a Matéria Orgânica - M.O (Figura 5) alcançou o melhor resultado, cujo os valores variaram de -0,33 a -0,65. A correlação negativa é explicada pela resposta espectral dos solos que é afetada, a medida que aumenta o teor de M.O, diminuindo sua intensidade de reflectância, na faixa de 400 a 2500 nm, conforme citado por Genú e Demattê (2012). As bandas que mais se correlacionaram com a M.O foi de 567 a 761 nm, sendo o melhor resultado na banda 662 nm. Demattê et al. (2003) observaram que bandas referentes ao verde (520-600 nm), ao vermelho (630-690 nm) e ao infravermelho médio (1.550 nm⁻¹.750 nm) são as mais sensíveis às diferenças do tratamento de remoção da matéria orgânica.

Observa-se na reflectância na banda 662 nm em função da M.O (Figura 6) a formação de grupos de acordo com a classe textural, em que sedimentos com altos teores de areia obtiveram as maiores reflectâncias e as menores concentrações de M.O, devido à grande presença do mineral quartzo. Já os sedimentos ricos em silte, mesmo com os maiores teores de M.O, não obtiveram as menores reflectâncias.

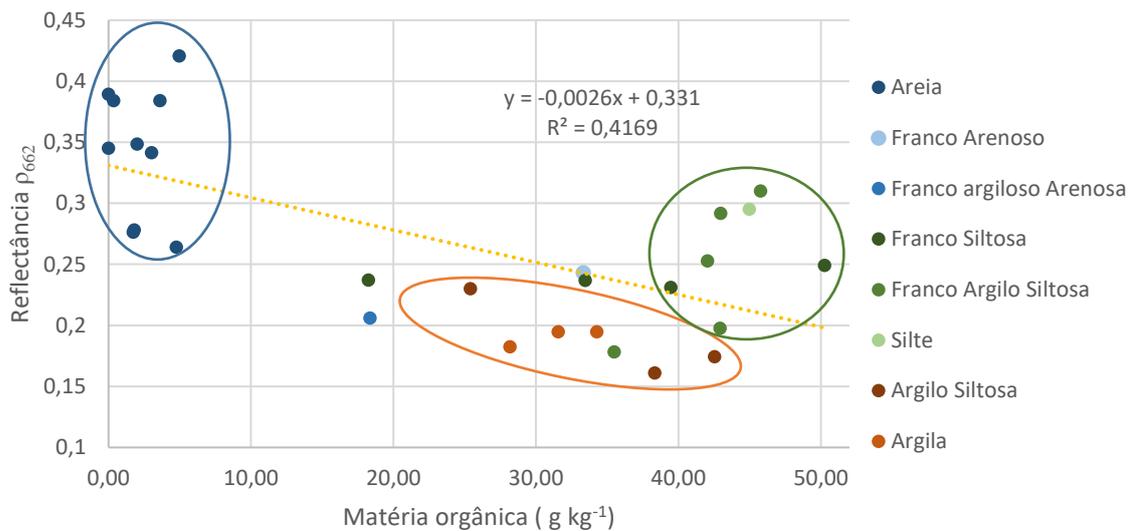


Figura 6 – Reflectância na banda 662 nm em função da matéria orgânica e classificação textural

No caso dos solos argilosos, mesmo com considerável variação no teor de M.O não houve alterações expressivas na reflectância. Podemos observar, com estes resultados, que no estudo da M.O, utilizando espectrorradiometria de reflectância, deve ser considerada, também, o tamanho das partículas dos sedimentos.

4. Conclusões

Os resultados mostraram que as frações de areia e silte foram correlacionadas com a reflectância, apresentando coeficientes de correlação positivos e negativos, respectivamente. As melhores correlações foram observadas na faixa espectral do vermelho, especialmente em 662 nm. Por sua vez, a argila apresentou correlações negativas com a reflectância, especialmente em 2290 nm. Dentre os atributos químicos, a matéria orgânica apresentou melhores resultados na faixa do visível e início do infravermelho próximo (567-761 nm). Por outro lado, o nitrogênio não apresentou valores estatisticamente significantes de correlação com a reflectância.

Os resultados mostraram que o emprego da espectroscopia de reflectância de sedimentos de fundo de reservatórios é promissor na caracterização de seus atributos físicos e químicos, indicando que essa ferramenta é valiosa para esse propósito.

Referências Bibliográficas

CHAKRABORTY, S. et al. Spectral reflectance variability from soil physicochemical properties in oil contaminated soils. **Geoderma**, v. 177-178, p. 80 -89, 2012.

CRUZ, M. A. S. et al. Caracterização granulométrica e mineralógica dos sedimentos como suporte para análise de contaminação ambiental em nascentes do rio Subaé, Feira de Santana (BA). **Geochimica Brasiliensis**, v. 27, n. 1, p. 49-62, 2013.

DALMOLIN, S. D. et al. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 481 - 489, 2005.

DEMATTÊ, A. M.; EIPHANIO, J. C. ; FORMAGGIO,. INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA E DE FORMAS DE FERRO NA REFLECTÂNCIA DE SOLOS TROPICAIS. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 451-464, 2003.

DEMATTÊ, J. A. M.; GARCIA, G. J. Alteration of soil properties through a weathering sequence as evaluated by spectral reflectance. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 63, n. 2, p. 327-342, 1999.

EMBRAPA. **Manual de métodos e análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2011. 212 p.

ESCOSTEGUY, P. A. V.; GALLIASSI, ; CERETTA, C. A. DETERMINAÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO PELA PERDA DE MASSA POR IGNIÇÃO, EM AMOSTRAS DO RIO GRANDE DO SUL. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 247-255, 2007.

GENÚ, A. M.; DEMATTÊ, J. A. M. Prediction of soil chemical attributes using optical remote sensing. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 723-727, 2011.

GENÚ, A. M.; DEMATTÊ, J. A. M. Espectrorradiometria de solos e comparação com sensores orbitais. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 82-89, 2012.

GORAYEB, et al. ASPECTOS GEOAMBIENTAIS, CONDIÇÕES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E NÍVEIS DE DESMATAMENTO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CURU, CEARÁ – BRASIL. **GEOGRAFIA**, Londrina, v. 14, n. 2, p. 85-106, jul/dez 2005.

LEITE, T. M. S. et al. Caracterização de sedimentos de corrente influenciados pelas águas do Parque Ecológico Municipal Rego dos Carrapatos em Nova Lima-MG. **Revista de Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 8, n. 8, p. 71-83, 2013.

LIMA, P. C. Y.; LIMA NETO, E. I.; ARAÚJO, J. C. Análise do assoreamento e da eficiência de retenção de pequeno reservatório no semiárido brasileiro. In: LIMA, J. E. F. W.; LOPES, W. T. A. **Engenharia de sedimentos na busca de soluções para problemas de erosão e assoreamento**. Brasília: ABRH, 2011. p. 283-307.

LOPES, J. W. B.; ARAÚJO NETO, J. R.; PINHEIRO, E. A. R. PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS E ASSOREAMENTO EM RESERVATÓRIO NO SEMIÁRIDO: O CASO DO AÇUDE MARENGO, CEARÁ. **Geoambiente On-line**, Jataí-GO, v. 24, p. 16-31, 2015.

PALACIOS-ORUETA, A.; USTIN, S. L. Remote Sensing of Soils in the Santa Monica Mountains: I. Spectral analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 65, n. 2, p. 170–183, 1998.

SRH. Atlas Eletrônico dos Recursos Hídricos do Ceará. **Secretaria dos Recursos Hídricos**, 2015. Disponível em: <<http://atlas.srh.ce.gov.br/>>. Acesso em: 28 Outubro 2016.

TIECHER, et al. CONTRIBUIÇÃO DAS FONTES DE SEDIMENTOS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA AGRÍCOLA SOB PLANTIO DIRETO. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, p. 639-649, 2014.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. **Communications in soil science and plant analysis**, New York, v. 19, n. 13, p. 1467-1476, 1988.