



## Medidas de cores e determinação da hematita e goethita por difração de raio-x e espectroscopia de reflectância difusa em perfis de Terra Preta Arqueológica

Renato Eleoterio de Aquino<sup>(2)</sup>; José Marques Júnior<sup>(3)</sup>; Milton Cesar Costa Campos<sup>(4)</sup>; Ivanildo Amorim de Oliveira<sup>(2)</sup>; Angélica Santos Rabelo de Souza Bahia<sup>(2)</sup> & Laércio Santos Silva<sup>(5)</sup>

<sup>(1)</sup> Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor; <sup>(2)</sup> Doutorandos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP-Jaboticabal, SP, E-mail: [aquino.rea@gmail.com](mailto:aquino.rea@gmail.com); [ivanildoufam@gmail.com](mailto:ivanildoufam@gmail.com); [angelicasantorsabelo@yahoo.com.br](mailto:angelicasantorsabelo@yahoo.com.br); <sup>(3)</sup> Prof. do Dep. de Solos e Adubos, FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, E-mail: [marques@fcav.unesp.br](mailto:marques@fcav.unesp.br); <sup>(4)</sup> Prof. Adjunto II, Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, UFAM, Humaitá –AM, E-mail: [mcesarsolos@gmail.com](mailto:mcesarsolos@gmail.com); <sup>(5)</sup> Mestrando da FCAV/UNESP, Jaboticabal, SP, E-mail: [laerciosantos18@gmail.com](mailto:laerciosantos18@gmail.com)

**RESUMO:** A busca por técnicas alternativas para estimar os atributos do solo visando diminuir custo, tempo e impactos ao meio são muito importante para a evolução da ciência do solo. Neste sentido, propôs-se determinar a cor, hematita e goethita através da espectroscopia de reflectância difusa e difração de raio-x em perfis de Terra Preta Arqueológica, na região de Apuí, no sul do Amazonas. Nesses locais foram abertas trincheiras e os perfis foram caracterizados morfológicamente e coletados por horizonte. A difração de raio-x e a espectroscopia de reflectância difusa foi utilizada para a obtenção de cores, hematita e goethita. Concluiu-se que a cor medida por espectroscopia de reflectância difusa mostrou-se eficiente para indicar variações entre as TPAs estudadas, provando ser uma técnica inovadora, eficiente e promissora para a quantificação indireta dos atributos do solo de forma simples e de baixo custo.

**Termos de indexação:** cor do solo, solo antrópico, sul do Amazonas

### INTRODUÇÃO

A cor do solo é uma propriedade que constitui um indicativo de presença ou ausência dos óxidos de ferro, que varia conforme o tipo de óxido de ferro presente ou proporções entre eles, bem como a distribuição destes minerais no solo, tendo importância destacada no sistema de classificação de solos no Brasil (Resende et al., 2007). Porém, essa determinação, mundialmente utilizada pelos pedólogos, é baseada na percepção visual, ou seja, subjetiva, ocorrendo divergências na percepção das cores podendo resultar em erros na classificação dos solos (Campos & Demattê, 2004).

A obtenção da cor com instrumentos de medida, como a espectroscopia de reflectância

difusa (ERD) resulta em maior precisão por se dar em condições controladas e não subjetivas. O potencial de utilização desta técnica tem sido demonstrado por vários autores (Torrent & Barrón, 1993; Barrón & Mello, 2000; Viscarra Rossel & Webster, 2011). Portanto, a caracterização detalhada das TPAs pode contribuir para entender sua gênese e seu comportamento em ambientes específicos da Amazônia, permitindo estabelecer hipóteses na reprodução em artefatos de suas principais qualidades. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar a cor, hematita e goethita através da espectroscopia de reflectância difusa e difração de raio-x em perfis de Terra Preta Arqueológica, na região de Apuí, no sul do Amazonas.

### MATERIAL E MÉTODOS

#### Localização e caracterização da área

A área de estudo localiza-se na região Sul do Amazonas distribuída no município de Apuí, sob as coordenadas 7° 11' S e 59° 53' W. O clima na região é quente e úmido com estação seca pouco pronunciada, do tipo "Am" pela classificação de Köppen. A temperatura média anual varia entre 25 °C e 27 °C, sendo que a umidade relativa do ar fica estabelecida em 85 %, com precipitações pluviais acima de 2.200 mm por ano. O período mais chuvoso na região de Apuí corresponde ao trimestre janeiro a março e a época menos chuvosa ocorre de junho a agosto. As menores temperaturas verificam-se nos meses de junho e julho, com mínimas absolutas de 10 °C a 16 °C (CPRM, 2001).

Os locais representativos das TPAs se encontram com uma média de 10 anos de exploração e uso pelos produtores de maneira não intensiva. Nesses locais foram abertas trincheiras e



os perfis foram caracterizados morfológicamente e coletados por horizonte. Nas amostras coletadas foram realizadas análises físicas, químicas e mineralógicas. Em seguida os solos foram classificados segundo critérios estabelecidos pela sociedade brasileira de ciência do solo (Embrapa, 2013).

### Análises laboratoriais

Para a obtenção dos espectros de reflectância difusa (ERD), as avaliações foram feitas com o sensor de laboratório Lambda 950 UV/Vis/NIR (PerkinElmer, United Kingdom), equipado com esfera integradora de 80 mm. Foi moído aproximadamente 0,5 g de terra fina seca ao ar (TFSA) em almofariz ágata até obtenção de coloração constante. O conteúdo foi colocado em um porta-amostra com um espaço cilíndrico de 16 mm de diâmetro. Os valores de reflectância foram determinados a cada 0,5 nm, com um tempo de integração de 0,2 s, fazendo uma varredura no intervalo de 380 a 780 nm. Após a obtenção dos espectros de reflectância difusa das amostras de solo, foram determinados os valores de triestímulo XYZ definidos pela Comisión Internacional de L'Eclairage. A partir das coordenadas XYZ foram deduzidos os valores Munsell (matiz, valor e croma) e RGB (utilizado para representação digital da cor), utilizando o programa Munsell Conversion versão 6.4, conforme Barrón et al. (2000) e Viscarra Rossel, (2011).

Para a análise de difratometria de raios-X (DRX) a argila foi separada da amostra de solo pelo método de centrifugação. Os minerais da fração argila hematita (Hm) e goethita (Gt) foram caracterizados por DRX em lâminas confeccionadas com material em pó. A caracterização da Hm e da Gt ocorreu após o tratamento da fração argila com NaOH 5 mol L<sup>-1</sup> (1 g argila 100 ml<sup>-1</sup> solução), para a concentração dos mesmos, segundo Kämpf & Schwertmann (1982).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As cores identificadas pela carta de Munsell e comparadas com aquelas determinadas por espectroscopia de reflectância difusa (ERD), em que se determinaram o matiz (comprimento de onda da luz), o valor (brilho ou tonalidade) e o croma (intensidade ou pureza da cor em relação ao cinza) apresentaram diferenças significativas (Tabela 1). Isso acontece porque a identificação da cor pela carta de Munsell está baseada na percepção visual do pedólogo, sendo, portanto, um método subjetivo, em que os fatores de maior efeito são subjetivos (Post et al., 1993). Já a determinação da cor por

ERD é qualitativa, ou seja, possui maior precisão por apresentar condições controladas (Botelho et al., 2006).

O matiz identificado pela carta de Munsell apresentou notação 10 YR em todos os perfis estudados, enquanto pela ERD o matiz apresentou valores próximos ao indicado pela carta de Munsell nos perfis P1, P2, P3 e P6, e no P4 e P5 o matiz apresentou medidas variando de 9,64 YR a 0,02 Y (Tabela 1). A matéria orgânica confere cores escuras aos horizontes superficiais e em alguns horizontes subsuperficiais (iluviação). Cores vermelhas, amarelas e brunadas são atribuídas à presença de óxidos de ferro, enquanto a presença de cores acinzentadas está relacionada aos ambientes de redução e remoção dos óxidos de ferro, em condições hidromórficas (Azevedo & Dalmolin, 2004).

O valor medido tanto pela tabela de Munsell quanto por ERD apresentou menores valores nas camadas superficiais onde se encontram os horizontes antrópicos, e aumentando conforme a profundidade. Esta tendência está relacionada com o elevado teor de matéria orgânica nos horizontes antrópicos (Botelho et al., 2006).

O croma apresentou a maior variação na identificação de Munsell e ERD (Tabela 1), podendo estar relacionado à dificuldade do observador em avaliar o croma devido à menor sensibilidade visual em identificar as diferentes tonalidades de cinza. Campos et al. (2011), estudando TPAs na região do médio Rio Madeira, no sul do Amazonas, verificaram que os horizontes superficiais tinham cores úmidas, variando de bruno-acinzentado muito escuro a preto, com matiz de 10YR, valores entre 2 e 3, e cromas entre 1 e 2, enquanto os horizontes subsuperficiais, tinham cores amareladas ou avermelhadas. A coloração escura das TPAs deve-se principalmente ao acúmulo de material orgânico decomposto (Kern et al., 2003).

É evidente a diferença apresentada pela interpretação de cores pela carta de Munsell aos resultados vindos da ERD, no matiz, no valor e no croma. Estes resultados evidenciam a importância do uso de técnicas quantitativas mais precisas, como a ERD, na interpretação de medidas de cores no solo, tendo em vista sua importância na ciência do solo no Brasil. Barron & Torrent (1986) relatam que a utilização da ERD é útil não só para os estudos da cor, mas também para a quantificação dos teores dos óxidos de ferro, principalmente Hm e (Gt), pois são altamente correlacionados com a coloração do solo.

Com o intuito de avaliar a precisão da técnica ERD em quantificar indiretamente os óxidos de ferro, os teores de Hm e Gt, estimados por esta metodologia, foram relacionados aos teores destes



minerais, determinados por difração de raios-X (DRX) (Figura 1). Os resultados mostram que houve relação positiva entre os métodos para Hm ( $r = 0,78$ ;  $p < 0,01$ ) e Gt ( $r = 0,98$ ;  $p < 0,01$ ), indicando que a ERD pode ser utilizada na quantificação indireta destes óxidos de ferro. O elevado  $R^2$  na Gt pode estar relacionado à maior presença deste mineral nos perfis estudados de TPAs que podem ser evidenciados no Quadro 6.

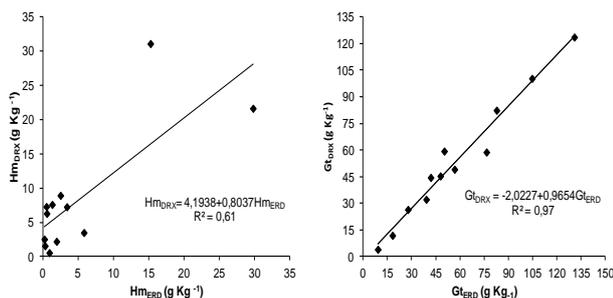


Figura 2. Modelos de regressão linear da Hematita (Hm) e Goethita (Gt) pelo método de difração de raio-x (DRX) e espectroscopia de reflectância difusa (ERD) em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.

Os resultados acima indicam que a técnica de DRX é uma alternativa promissora para ser usada na determinação indireta de atributos do solo. Isto pode ser afirmado, uma vez que a Hm e a Gt são minerais covariativos dos processos do solo, sendo, portanto, uma ferramenta auxiliar na caracterização dos diferentes ambientes da região Amazônica.

## CONCLUSÕES

A cor medida por espectroscopia de reflectância difusa mostrou-se eficiente para indicar variações entre as TPAs estudadas, provando ser uma técnica inovadora, eficiente e promissora para a quantificação indireta dos atributos do solo de forma simples e de baixo custo.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEAM e ao SECT-AM pelo financiamento da bolsa de mestrado pelo programa RH-Interiorização.

## REFERÊNCIAS

AZEVEDO, A. C. & DALMOLIN, R. S. D. Solos e ambiente: uma introdução. Santa Maria: Palotti, 2004. 100p.  
BARRÓN, V. & TORRENT, J. Use of the Kubelka-Munk theory to study the influence of iron oxides on soil colour. *J. Soil Sci.*, 37:499-510, 1986.  
BARRÓN, V.; MELLO, J. W. V. & TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R. F.;

ALVAREZ V.; V. H. & SCHAEFER, C. E. G. R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. v.1, p.139-162.  
BARRÓN, V.; MELLO, J. W. V. & TORRENT, J. Caracterização de óxidos de ferro em solos por espectroscopia de reflectância difusa. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H. & SCHAEFER, C. E. G. R., eds. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2000. v.1, p.139-162.  
BOTELHO, M. R.; DALMOLIN, R. S. D.; PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; RODRIGUES, R. B. & MIGUEL, P. Medida da cor em solos do Rio Grande do Sul com a carta de Munsell e por colorimetria. *Ci. Rural*, 36:1179-1185, 2006.  
CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S.; RIBEIRO FILHO, M. R.; SOUZA, R. V. C. C. & ALMEIDA, M. C. Caracterização e Classificação de Terras Pretas Arqueológicas na região do Médio Rio Madeira. *Bragantia*, 70:18-27, 2011.  
CAMPOS, R. C. & DEMATTÊ, J. A. M. Cor do solo: uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição a automatização do método para fins de classificação de solos. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:853-863, 2004.  
CENTRO DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens. Manaus, 2001. 93p. (Relatório Técnico).  
KÄMPF, N. & SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequence in Southern Brazil and their application in classification of kaolinitic soils. *Geoderma*, 29:27-39, 1982.  
KERN, D. C.; D'AQUINO, G.; RODRIGUES, T. E.; FRAZÃO, F. J. L.; SOMBROEK, W.; NEVES, E. G. & MYERS, T. P. Distribution of antropogenic dark earths. In: LEHMANN, J.; KERN, D. C.; WOODS, W.; GLASER, B. (Org.). *Amazonian dark earths: origin, properties, management*. Norwell: KLUWER ACADEMIC PUBLISHERS, 2003. v. 1, p. 51-76.  
POST, D. F.; BRYANT, R. B.; BATCHILY, A. K.; HUETE, A. R.; LEVINE, S. J.; MAYS, M. D. & ESCADAFAL, R. Correlations between field and laboratory measurements of soil color. In: BIGHAM, J.M. & CIOLKOSZ, E. J., eds. *Soil color*. Madison: S. Sci. Soc. Am., 1993. p.35-49. (Special Publication, 31)  
RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B. & CORREA, G. F. *Pedologia: Base para distinção de ambientes*. 5. ed. rev. Lavras-MG, Editora UFLA, 2007. 322 p.il.  
TORRENT, J. & BARRON, V. Laboratory measurements of soil color: theory and practice. In: BIGHAM, J. M. & CIOLKOSZ, E. J., eds. *Soil Color*. Soil Science Society of America, Special Publication, 1993. p. 21-33.  
VISCARRA ROSSEL, R. A. & WEBSTER, R. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible-near infrared spectra. *Eur. J. Soil Sci.*, 62:637-647, 2011.  
VISCARRA ROSSEL, R. A. & WEBSTER, R. Discrimination of Australian soil horizons and classes from their visible-near infrared spectra. *Eur. J. Soil Sci.*, 62:637-647, 2011.



**Tabela 6.** Medidas de cor por carta de Munsell e Espectroscopia de Reflectância Difusa (ERD) em perfis de sítios de Terras Pretas Arqueológicas na região de Apuí no Amazonas.

Horiz.	Prof. (cm)	Munsell				ERD			
		Matiz	Valor	Croma	Cores	Matiz	Valor	Croma	Cores
<b>P1- LATOSSOLO AMARELO distrófico antrópico, textura argilosa</b>									
Ap <sub>1</sub>	0-15	10YR	2,00	1,00		9,99YR	4,47	3,33	
Ap <sub>2</sub>	15-34	10YR	2,00	2,00		0,24Y	4,72	3,58	
AB	34-63	10YR	3,00	2,00		9,92YR	5,65	4,53	
BA	63-91	10YR	3,00	2,00		9,88YR	6,29	4,99	
Bw <sub>1</sub>	91-117	10YR	5,00	6,00		0,01Y	6,75	5,88	
Bw <sub>2</sub>	117-152	10YR	5,00	6,00		0,05Y	7,01	6,00	
<b>P2- ARGISSOLO AMARELO eutrófico típico, textura argilosa, A antrópico</b>									
Ap <sub>1</sub>	0-15	10YR	2,00	1,00		9,82YR	4,09	3,69	
Ap <sub>2</sub>	19-30	10YR	2,00	2,00		9,82YR	4,66	4,06	
AB	30-48	10YR	3,00	3,00		9,79YR	5,4	5,03	
Bt <sub>1</sub>	48-66	10YR	4,00	4,00		9,28YR	5,67	6,01	
Bt <sub>2</sub>	66-100	10YR	5,00	6,00		9,09YR	5,88	6,33	
Bt <sub>3</sub>	100-130	10YR	5,00	8,00		9,24YR	5,88	6,52	
<b>P3- ARGISSOLO AMARELO distrófico típico, textura siltosa, A antrópico</b>									
Ap <sub>1</sub>	0-21	10YR	2,00	1,00		9,54YR	3,46	3,66	
Ap <sub>2</sub>	21-36	10YR	2,00	2,00		9,78YR	3,94	3,80	
AB	36-58	10YR	3,00	3,00		9,85YR	4,47	4,27	
Bt <sub>1</sub>	58-91	10YR	4,00	4,00		9,95YR	5,73	5,54	
BCr	91-120+	10YR	5,00	8,00		0,03Y	6,08	6,02	
<b>P4- ARGISSOLO AMARELO distrófico típico, textura argilosa, A antrópico</b>									
Ap	0-21	10YR	2,00	2,00		0,77Y	4,70	3,54	
AB	21-36	10YR	4,00	3,00		0,75Y	6,18	5,05	
Bt <sub>1</sub>	36-58	10YR	5,00	6,00		0,41Y	6,60	5,86	
Bt <sub>2</sub>	58-91	10YR	5,00	8,00		0,18Y	6,77	6,38	
Bt <sub>3</sub>	91-120+	10YR	5,00	8,00		0,05Y	6,73	6,45	
<b>P5- NEOSSOLO QUARTZARÊNICO órticos típico, textura média arenosa, A antrópico</b>									
Ap <sub>1</sub>	0-18	10YR	2,00	1,00		0,17Y	3,73	3,13	
Ap <sub>2</sub>	18-31	10YR	2,00	2,00		0,28Y	3,89	3,07	
AC	31-49	10YR	4,00	3,00		0,27Y	4,17	3,66	
C <sub>1</sub>	49-70	10YR	5,00	4,00		0,02Y	5,60	4,99	
C <sub>2</sub>	70-90	10YR	5,00	6,00		9,64YR	5,70	6,03	
C <sub>3</sub>	90-116	10YR	5,00	8,00		9,53YR	5,77	6,24	
C <sub>4</sub>	116-135	10YR	5,00	8,00		9,33YR	5,83	6,62	
<b>P6- ARGISSOLO AMARELO distrófico típico, textura argilosa, A antrópico</b>									
Ap <sub>1</sub>	0-5	10YR	2,00	2,00		0,06Y	4,60	4,15	
AB	19-30	10YR	3,00	4,00		9,95YR	5,19	4,96	
Bt <sub>1</sub>	30-48	10YR	4,00	4,00		9,59YR	6,12	6,17	
Bt <sub>2</sub>	48-66	10YR	5,00	6,00		9,39YR	6,28	6,74	
Bt <sub>3</sub>	66-100	10YR	6,00	6,00		9,76YR	6,75	6,49	
Bt <sub>4</sub>	100-130	10YR	6,00	8,00		9,01YR	6,05	5,50	