

## Caracterização de hematita e goethita em solos do bioma Cerrado<sup>(1)</sup>.

**Adriana Aparecida Ribon<sup>(2)</sup>; Kathleen Lourenço Fernandes<sup>(3)</sup>; José Marques Junior<sup>(4)</sup>; Angélica Santos Rabelo de Souza Bahia<sup>(5)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recursos do Programa e Pós Graduação em Agronomia da UNESP.

<sup>(2)</sup> Professor, Universidade Estadual de Goiás; Palmeiras de Goiás, GO; aaribon@yahoo.com.br ail.com; <sup>(3)</sup> Estudante de mestrado; Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; Jaboticabal, SP; <sup>(4)</sup> Professor, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; Jaboticabal, SP; <sup>(5)</sup> Estudante de doutorado, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"; Jaboticabal, SP.

**RESUMO:** A mineralogia dos solos do Cerrado é ainda pouco discutida na literatura, ocasionado grande lacuna no conhecimento destes solos. Neste sentido o presente estudo tem como objetivo quantificar e caracterizar os minerais de hematita (Hm) e goethita (Gt) em solos do bioma Cerrado. O estudo foi realizado no estado de Goiás. Foram classificados sete perfis de solo: seis Latossolos e um Cambissolo. Foram obtidos os valores de ferro extraído por ditionito-bicarbonato-citrato ( $Fe_d$ ), e o ferro extraído por oxalato de amônio ( $Fe_o$ ). Para análise de difração de raios-x (DRX), procedeu-se a remoção da fração argila das amostras, com posterior concentração de óxidos para varredura no equipamento de raios-x. Posteriormente, os dados de  $Fe_d$  e  $Fe_o$ , juntamente com os difratômetros de raios-x, foram transformados em valores quantitativos de Gt e Hm. Com os reflexos de Hm e Gt foram calculados os dados cristalográficos dos minerais: diâmetro médio do cristal, área e largura a meia altura. Foram observadas diferentes quantidades de óxidos de ferro para os diferentes solos.

**Termos de indexação:** óxidos de ferro, Latossolos, Cambissolos.

### INTRODUÇÃO

Os Latossolos e Cambissolos representam juntos aproximadamente 53% dos solos do Cerrado (Reatto et al., 2008). Os Latossolos são homogêneos, em avançado estágio de intemperismo, já os Cambissolos são solos com caráter transicional, podendo apresentar diferentes características de acordo com a região que se encontram (Embrapa, 2013).

Os Latossolos e Cambissolos são solos minerais apresentando em sua fração mineralógica óxidos de ferro e alumínio, com maior expressão nos Latossolos, e Cambissolos com caráter latossólico. Os óxidos de ferro, hematita (Hm) e goethita (Gt) podem influenciar em diversas propriedades do solo como na aeração, drenagem, porosidade, cor do solo entre outros. De acordo com Camargo et al. (2008) os atributos cristalográficos da Gt mais

cristalina são altamente correlacionado com os agregados mais estáveis do solo.

Tais informações podem auxiliar na escolha do melhor sistema de manejo. Solos com menos quantidade de Gt, deve-se optar por manejos que favoreçam a deposição de matéria orgânica, afim de melhorar a agregação, por exemplo. Entretanto os solos do Cerrado são pobremente estudados, há poucos relatos na literatura acerca da mineralogia e cristalografia dos minerais destes solos. Neste sentido o presente estudo tem como objetivo quantificar e caracterizar os minerais de Hm e Gt em solos do bioma Cerrado.

### MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no município de Campestre – GO, clima Aw, segundo Koppen. Foram selecionados 7 perfis da formação Jurubatuba, de origem metamórfica. Os perfis foram classificados seguindo as especificações do SIBCS (Embrapa, 2013), sendo S1: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; S2: Cambissolo Háplico Tb eutrófico latossólico; S3: Latossolo Amarelo eutrófico típico; S4: Latossolo Vermelho eutrófico chernossólico; S5: Latossolo Amarelo distrocoeso típico; S6: Latossolo Vermelho Amarelo eutrófico típico; e S7: Latossolo Amarelo eutrófico típico.

O  $Fe_d$  foi extraído por ditionito-bicarbonato-citrato, em agitação por 16 horas em temperatura ambiente (Mehra & Jackson, 1960). E a fração referente ao  $Fe_o$  seguiu a metodologia citada por Camargo et al. (1986). No cálculo do teor de substituição isomórfica do ferro pelo alumínio na Gt, foram utilizados os procedimentos sugeridos por Schulze (1984).

Para análise de difração de raios-x (DRX), as amostras foram tratadas com NaOH mol L<sup>-1</sup>, para remoção de argila (Jackson, 1985). Posteriormente, na fração argila de cada amostra, foi realizada a concentração de óxidos, com NaOH 5 mol L<sup>-1</sup>, seguida de agitação em HCl 0,5 mol L<sup>-1</sup>, para evitar formação de sodalita (Norrish & Taylor, 1961; Kämpf & Schwertmann, 1982). Em seguida, procedeu-se a varredura das amostras no difratômetro de raios-x, Mini-Flex II, 1°2θ/minuto com amplitude de 23 a 49°2θ. As quantificações de Hm e Gt foram

realizadas segundo Dick (1986).

Foram utilizados para avaliação os reflexos da Hm (012 e 110), Gt (110 e 111). O DMC da Hm e Gt foram calculados a partir da LMA e da posição dos reflexos dos minerais Hm (012 e 110) e Gt (110 e 111). Foi utilizada a equação de Scherer (Schulze, 1984) para o cálculo do DMC. A razão goethita/(goethita+hematita) –  $[Gt/(Gt+Hm)]$  foi calculada empregando-se as áreas dos reflexos Hm (012) e Gt (110). Para o cálculo da razão  $Gt/(Gt+Hm)$ , a área do reflexo Gt (110) foi multiplicada por 0,35 devido à intensidade de 35% da Hm (012) (Kämpf & Schwertmann, 1998). A razão caulinita/(caulinita+gibbsita) –  $[Ct/(Ct+Gb)]$  foi calculada empregando-se as áreas dos reflexos Ct (001) e Gb (002). O  $Fe_d$  foi transformado em teor de goethita e hematita (Dick, 1986).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Tabela 1** apresenta os dados de Gt e Hm para os solos estudados. Observa-se predomínio do óxido de Fe Gt sobre a Hm, para o solo S1 tanto pelos teores do mineral, como pela relação  $Gt/(Gt+Hm)$ . Apenas no horizonte  $Bw_2$ , o teor de Hm foi maior que o teor de Gt. Neste horizonte, provavelmente ocorreu menor extração no teor de  $Fe_d$ , justificando os menores teores de Gt, visto que o perfil do solo apresentou coloração amarelada.

No S2 para os horizontes A, A/B e  $Bi_1$ , houve predomínio do mineral Hm sobre a Gt e no último horizonte,  $Bi_2$  houve predomínio da Gt. Para o S3 houve predomínio da Gt nos horizontes A e  $Bw_2$  e da Hm nos horizontes A/B e  $Bw_2$ . No S4 houve predomínio da Gt em todos os horizontes.

O S5 apresentou maiores quantidades de Gt que de Hm, os valores tenderam a aumentar em profundidade, a variação dos minerais foi de 5,00 a 52,00 g  $kg^{-1}$  de Gt e 4,00 a 42,00 g  $kg^{-1}$  de Hm. O S6 apresentou predomínio de Hm ao longo de todo perfil chegando a 61,76 g  $kg^{-1}$  de Hm no horizonte  $Bw_2$ , as quantidades de Hm e Gt do solo aumentaram em profundidade. O S7 apresentou resultados semelhantes ao S5, com predomínio de Gt.

Estes resultados justificam as cores observadas nos solos, coloração amarelada nos solos S2, S5 e S7 e vermelho amarelado, com tom alaranjado no S6. A relação  $Gt/(Gt+Hm)$  indica os mesmos resultados, maior quantidade de Gt nos solos S5 e S6, com resultados próximos de 0,60. E predomínio de Hm no S6 com baixos valores para a relação  $Gt/(Gt+Hm)$ , resultados próximos de 0,20.

Conforme Inda Junior e Kämpf (2003), os procedimentos utilizados neste para extração de  $Fe_d$ , DBC20 (Agitação por 16 h sob temperatura ambiente) é tão eficiente quanto à extração a 80°C,

DBC80 (Temperatura controlada em banho Maria por 4 horas). Todavia quando há maiores teores de Gt e alta substituição isomórfica de  $Fe^{3+}$  e  $Al^{3+}$  no mineral, os autores observaram que a extração de  $Fe_d$  em DBC20 é diminuída.

No momento da interpretação dos difratogramas de raios-x houve certa dificuldade da identificação dos picos dada suas proximidades e alta substituição isomórfica. Ghidin et al. (2006) também fizeram as mesmas considerações ao estudarem os óxidos de Latossolos do Estado do Paraná.

Para o S1 a área superficial dos picos da Gt (110 e 111) são maiores que a área superficial da Hm (012 e 110). A área superficial da Gt (110) decresceu em profundidade, enquanto da Gt (111) aumentou. Nos picos da Hm foram feitas as mesmas observações para o S2. Já para o S3 observou-se diminuição da área superficial da Gt (110) em profundidade, enquanto da Gt (111) houve aumento. Não houve comportamento semelhante nos outros perfis.

A área superficial das Gt (110 e 111) não apresentou comportamento crescente no S5, os resultados foram bem variáveis, chegando a 0,01  $m^2 g^{-1}$  no horizonte B/A para a Gt (111) e a 96,64  $m^2 g^{-1}$  no horizonte A/B para a Gt (110). Para o perfil 6 observou-se tendência a diminuição da área para os dois reflexos da Gt, com extremos de 49,58  $m^2 g^{-1}$  no horizonte  $Bw_2$  e 230,01  $m^2 g^{-1}$  no horizonte A/B ambos para a Gt (111). O S7 também não apresentou comportamento crescente. A área superficial das Hm (012 e 110) apresentaram os maiores resultados no reflexo da Hm (012) para o S6.

De acordo com Inda et al. (2013), incrementos nos teores de matéria orgânica (MOS), umidade e atividade microbiana, favorecem mecanismos de dissolução e remobilização dos óxidos de Fe em ambientes pedogênicos. Desta forma, a cobertura vegetal e a densidade desta, influência nas alterações dos atributos pedológicos do solo e na dinâmica dos minerais pedogênicos, sendo de extrema importância dar atenção as alterações na vegetação (Inda et al., 2013).

Inda et al. (2013), estudando a área superficial de óxidos de ferro, observaram que esta aumenta ao longo da camada superficial do solo, apresentando relação positiva com o teor de carbono orgânico total, devido à influência da MOS na área superficial específica, que pode mascarar os efeitos dos óxidos de ferro, explicando possivelmente os resultados encontrados no presente trabalho.

A grande amplitude entre os dados de área da Gt observado em alguns solos corrobora o trabalho de Inda Junior e Kämpf (2005). Os autores também observaram amplo intervalo de variação para a Gt.

A LMA da Gt (111) do S1 foi maior que da Gt

(110), estando entre 0,49-0,79 °2 $\theta$ . Para a Hm, a LMA do reflexo (012) foi maior que da Hm (110) entre 0,10-0,50 °2 $\theta$ . Estes resultados evidenciam o maior grau de cristalinidade da Hm. A LMA da Gt (110) foi maior que a da Gt (111) e a LMA da Hm foi menor que da Gt para o S2. O S3 apresentou o mesmo comportamento, todavia o intervalo de valores foi maior, chegando a LMA em torno de 1,000 para os picos da Gt e da HM (110). O S4 também apresentou resultados semelhantes, com intervalos menores. A LMA menor da Hm evidencia a maior cristalinidade do mineral.

Para os solos S5, S6 e S7 a LMA da Hm apresentou menores resultados, indicando ser o mineral mais intemperizado dos solos. O reflexo da Hm (110) apresentou resultados ainda menores que do reflexo da Hm (012). O grau de cristalinidade dos minerais observado pela LMA pode ser fortemente influenciado pela idade, e pela substituição isomórfica, como a presença de Al que favorece a diminuição do grau de cristalinidade dos minerais (Ghidin et al., 2006).

O DMC do S1 foi alto em todos os reflexos de Hm e Gt, não apresentando comportamento crescente ao longo dos horizontes. Para os demais solos o DMC também não apresentou comportamento crescente. Observou-se, porém, que o DMC da Hm é maior da Gt em ambos os reflexos. A maior variação nos resultados encontrados discorda dos resultados de Inda Junior e Kampf (2005). Os autores ao estudarem horizontes B latossólicos e plintossólicos observaram um intervalo entre 13,00 – 30,00 nm para o DMC da Hm.

O DMC é a expressão do hábito de crescimento do mineral. Para a Gt, os resultados encontrados neste estudo foram bem próximos, indicando formato isodimensional do mineral, que são formatos comuns para minerais de solos tropicais (Schwertman & Kampf, 1985). Este conhecimento pode auxiliar no entendimento das propriedades físicas dos solos, pois minerais esféricos podem proporcionar melhores condições.

## CONCLUSÕES

Foram observadas diferentes quantidades de óxidos de ferro para os diferentes solos.

Pelo DMC dos mineiras de Gt pode-se inferir que estes apresentam formato isodimensional.

## REFERÊNCIAS

CAMARGO, L. A.; MARQUES JUNIOR, J.; PEREIRA, G. T. et al. Variabilidade espacial de atributos mineralógicos de um Latossolo sob diferentes formas do relevo. I – Mineralogia da fração argila. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:2269-2277, 2008.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; JORGE, J. A.; et al. Métodos de análise química, mineralógica e física dos solos do Instituto Agronômico de Campinas. Campinas: Instituto Agronômico, 1986. 96 p. (Boletim Técnico, 106).

DICK, D. P. Caracterização de óxidos de ferro e adsorção de fósforo na fração argila de horizontes B Latossólicos. 1986. 196 f. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1986.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3ed. Brasília: EMBRAPA, 2013. 353p.

GHIDIN, A. A.; MELO, V. F.; LIMA, V. C. et al. Topossequências de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná: I - mineralogia da fração argila. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 30:293-306, 2006.

INDA JUNIOR, A. V.; KAMPF, N. Avaliação de procedimentos de extração dos óxidos de ferro pedogênicos com ditionito-citrato-bicarbonato. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 27:1139-1147, 2003.

INDA JUNIOR, A.V.; KÄMPF, N. Variabilidade de goethita e hematita via dissolução reductiva em solos de região tropical e subtropical. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29:851-866, 2005.

INDA, A. V.; TOMASI, C. A.; OLIVEIRA, J. S. et al. Óxidos de ferro e área superficial de Latossolo subtropical sob campo e floresta nativa. Ciência Rural, 44:289-292, 2013.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Avaliação da estimativa de substituição de Fe por Al em hematitas de solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22: 209-213, 1998.

KÄMPF, N.; SCHWERTMANN, U. Goethite and hematite in a climosequência in Southern Brazil and their application in classification of kaolinite Soils. Geoderma, Amsterdam, 29:27-39,1982.

MEHRA, O. P.; JACKSON, M. L. Iron oxide removed from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. Clays and Clay Minerals, New York, 7:1317-327, 1960.

NORRISH, K.; TAYLOR, R. M. The isomorphous replacement of iron by aluminum in soil goethite. Journal of soil science, Oxford, 12:294-306, 1961.

REATTO, A.; CORREA, J. R.; SPERA, S. T. et al. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. Cerrado, Ecologia e Flora. 2 v. Brasília, DF: Embrapa Informações Tecnológicas, 2008.

SCHULZE, D. G. The influence of aluminum on iron oxides: VIII. Unit-cell dimensions of Al-substituted goethite and estimation of Al from them. Clays and Clay Minerals, New York, 32:36-44, 1984.

SCHWERTMANN, U. & KÄMPF, N. Properties of goethite and hematite in kaolinite soils of Southern and Central Brazil. Soil Science, 139:344-350, 1985.

**Tabela 1.** Análise mineralógica da Hematita e Goethita e dados cristalográficos dos perfis estudados sob diferentes sistemas de uso e manejo de pastagens e mata nativa.

Prof.*	Hor.	Gt <sub>DFR</sub>	Hm <sub>DFR</sub>	Gt/ (Gt+H)	ÁREA Gt110	ÁREA Gt111	ÁREA Hm012	ÁREA Hm110	LMA Gt110	LMA Gt111	LMA Hm012	LMA Hm110	DMC Gt110	DMC Gt111	DMC Hm012	DMC Hm110
m		---- g kg <sup>-1</sup> ----			-----m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup> -----				-----2°θ-----				-----nm-----			
<b>PERFIL 1 – GERAL</b>																
0-0,28	A	44,85	30,55	0,57	119,05	98,05	31,56	118,37	0,371	0,491	0,208	0,214	161,03	142,24	242,17	256,36
-0,63	A/B	59,96	22,70	0,70	217,72	194,39	32,07	25,34	0,764	0,721	0,132	0,454	92,03	103,59	306,94	150,53
-1,21	Bw <sub>1</sub>	57,23	26,91	0,66	58,47	114,73	10,70	32,60	0,138	0,640	0,139	0,427	298,62	115,38	610,52	158,09
-1,60+	Bw <sub>2</sub>	27,81	46,47	0,35	54,10	145,54	35,18	6,92	0,578	0,796	0,571	0,013	115,77	95,20	118,27	632,28
<b>PERFIL 2 – MATA NATIVA</b>																
0-0,25	A	1,25	2,12	0,35	40,63	24,03	26,78	85,90	0,376	0,768	0,310	0,435	22,47	12,84	59,26	20,11
-0,65	A/B	5,65	6,73	0,43	21,65	87,72	10,04	10,29	0,189	1,039	0,391	0,160	44,67	8,35	34,10	54,89
-1,50	Bw <sub>1</sub>	10,90	14,30	0,41	53,85	144,99	27,48	9,99	0,593	0,911	0,764	0,110	14,24	11,22	32,34	79,55
-2,00+	Bw <sub>2</sub>	18,88	16,47	0,51	43,59	95,02	14,80	32,19	0,349	0,605	0,230	0,248	24,22	17,20	108,06	35,28
<b>PERFIL 3 – PASTAGEM DEGRADADA</b>																
0-0,29	A	24,28	14,25	0,61	115,64	126,80	26,41	62,89	0,364	0,752	0,174	0,926	23,20	11,98	220,22	9,45
-0,37	A/B	13,48	22,03	0,35	115,37	91,09	73,41	51,67	0,462	0,579	0,398	1,229	18,28	14,81	51,11	7,13
-0,66	Bw <sub>1</sub>	11,31	24,77	0,29	27,38	120,66	23,33	86,08	0,430	0,416	0,232	0,607	19,66	22,57	149,65	14,40
-1,10+	Bw <sub>2</sub>	34,69	28,84	0,52	128,08	117,85	41,44	100,41	1,013	1,207	0,276	0,866	8,34	7,07	101,86	10,11
<b>PERFIL 4 – PASTAGEM ROTACIONADA</b>																
0-0,36	A	25,18	7,38	0,75	80,26	57,08	9,16	15,53	0,269	0,514	0,047	0,173	31,42	16,33	399,13	50,71
-0,58	A/B	38,42	18,18	0,66	81,23	91,27	14,96	82,90	0,688	0,804	0,261	0,598	12,28	10,82	72,53	14,66
-1,30+	Bw <sub>1</sub>	31,18	21,00	0,57	49,36	46,26	12,94	37,95	0,306	0,616	0,255	0,187	27,61	13,86	67,90	46,94
<b>PERFIL 5 – INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA FLORESTA (ILPF)</b>																
0-0,13	A	5,87	4,06	0,57	76,74	59,08	20,67	20,10	0,610	0,461	0,314	0,154	13,85	18,78	88,36	56,85
-0,24	A/B	18,46	11,23	0,60	96,64	91,68	22,88	49,56	0,422	0,853	0,277	0,368	20,03	10,62	132,91	23,79
-0,38	B/A	11,16	11,63	0,46	73,95	0,01	30,00	0,00	0,394	0,646	0,267	0,022	21,43	15,39	229,37	403,07
-1,50+	Bw	52,04	42,34	0,52	74,43	85,67	23,57	7,37	0,365	0,481	0,475	0,175	23,13	23,29	84,47	50,07
<b>PERFIL 6 – INTEGRAÇÃO PECUÁRIA FLORESTA (IPF)</b>																
0-0,23	A	10,80	30,33	0,24	133,49	135,15	145,86	7,92	0,729	0,280	0,258	0,018	11,59	14,44	78,85	494,62
-0,42	A/B	11,56	33,82	0,24	126,59	230,01	144,16	6,64	0,607	1,164	0,383	0,065	13,92	7,77	54,09	134,93
-0,92	Bw <sub>1</sub>	5,56	25,19	0,17	95,34	114,09	167,96	18,04	0,466	0,615	0,219	0,059	18,11	15,09	166,41	148,53
-1,56+	Bw <sub>2</sub>	15,02	61,76	0,18	71,31	49,58	15,97	12,39	0,441	0,606	0,155	0,153	19,18	14,37	107,31	57,38
<b>PERFIL 7 – INTEGRAÇÃO LAVOURA PECUÁRIA (ILP)</b>																
0-0,19	A	3,86	4,44	0,44	92,72	93,11	41,42	4,58	0,426	0,688	0,181	0,028	19,81	12,93	89,27	315,11
-0,59	Bw <sub>1</sub>	7,00	7,43	0,46	96,61	116,78	39,88	29,48	0,378	0,950	0,138	0,281	22,35	9,27	146,46	31,18
-1,08	Bw <sub>2</sub>	46,40	18,04	0,70	85,33	91,08	12,91	20,86	0,378	0,520	0,216	0,250	22,32	18,66	105,52	35,05
-1,50+	Bw <sub>3</sub>	60,46	31,04	0,64	125,27	175,17	25,03	97,13	0,341	0,453	0,233	0,324	24,81	20,66	352,98	27,01

\*Prof.: Profundidade; Hor.: Horizonte; Hm: Hematita; Gt: Goethita; LMA: Largura a meia altura; DMC: Diâmetro médio do cristal.