



Fogo e magnetização de óxidos de Fe em solos do Pantanal Matogrossense ⁽¹⁾.

Raphael Moreira Beirigo⁽²⁾; Vidal Barrón⁽³⁾; José Torrent⁽³⁾; Eduardo Guimarães Couto⁽⁴⁾; Alexandre Ferreira do Nascimento⁽⁵⁾; Pablo Vidal Torrado⁽⁶⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo À Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

⁽²⁾ Professor Adjunto; Universidade Federal da Paraíba; Areia, Paraíba; rmbeirigo@yahoo.com.br; ⁽³⁾ Professor Catedrático; Universidad de Córdoba; ⁽⁴⁾ Professor Titular; Universidade Federal do Mato Grosso; ⁽⁵⁾ Pesquisador A; Embrapa Agrossilvipastoril; ⁽⁶⁾ Professor Titular; Universidade de São Paulo.

RESUMO: O Pantanal Matogrossense apresenta grande diversidade de solos, sendo que tal diversidade ocorre devido às mudanças dos fatores de formação do solo causadas pela dinâmica fluvial. Somado a isso os incêndios que ocorrem e ocorreram ao longo da história de formação destes solos, podem ter influenciado na magnitude dos processos pedogenéticos, principalmente os redoximórficos associados a transformação e remobilização do ferro (Fe) nesses solos. O fogo no Pantanal é um fenômeno comum, tendo como causas fatores naturais e, ou, antrópicos. O fogo atua como um agente de transformação da mineralogia dos solos, principalmente dos óxidos de ferro. Grande parte dos óxidos de Fe magnéticos, como a maghemita podem ter sido gerados pela ação do fogo sob os solos de alguns dos ecossistemas que ocorrem no Pantanal. O objetivo deste estudo foi avaliar a partir da susceptibilidade magnética e dissoluções seletivas a gênese de óxidos de Fe magnéticos devido ao efeito da temperatura *versus* tempo, por meio de um ensaio de aquecimento e comparar os resultados de dissoluções seletivas e susceptibilidade magnética obtidos com os de amostras de solos que passaram por incêndios naturais.

Termos de indexação: Susceptibilidade magnética, incêndios, maghemita.

INTRODUÇÃO

A Savana é um dos maiores biomas do mundo, ocorrendo em 20% da superfície dos continentes (Wilgen, 2009). Dentre os ecossistemas que compõe este bioma o Cerrado é um dos mais expressivos na América do Sul, de grande importância ambiental e produção agrícola. O Pantanal é uma importante zona de transição, que engloba ecossistemas dos Cerrados, Chaco, Nordeste semiárido e região periamazônica, com ocorrência de vários ambientes aquáticos e terrestres (Ab'Saber, 1988).

As constantes inundações que ocorrem nessa planície fazem que dentre os principais processos que ocorrem ou ocorreram nos solos, são os

redoximórficos. Devido às variações causadas pelas inundações sazonais ocorrem mudanças nos potenciais de oxidação- redução, sendo que o ferro (Fe) é um dos elementos mais móveis nestas condições. As Fitofisionomias do Pantanal evoluíram com os incêndios naturais, com isso os solos e os processos que formaram estes podem ter sido influenciados pela ação do fogo.

O fogo é um agente de transformação da mineralogia do solo, principalmente sobre os óxidos de Fe (óxidos, hidróxidos e óxi-hidróxidos). Vários autores sugerem que o simples aquecimento da superfície do solo, na presença de matéria orgânica e óxidos de Fe (lepidocrocita ou magnetita) causa a formação de maghemita (Fitzpatrick, 1985; Schwertmann & Cornell, 2000).

Os incêndios naturais e, ou, provocados por atividades antrópicas, podem gerar temperaturas > 250°C, causando a transformação de óxidos de Fe como a goethita em hematita e a lepidocrocita em maghemita, por desidroxilação (Taylor & Schwertmann, 1974; Stanjek, 1987).

Durante a pedogênese destes solos, ocorreram vários incêndios e grande parte dos óxidos magnéticos, como a maghemita podem ter sido gerados pelo aquecimento do solo.

Diante do exposto, objetivo deste trabalho foi avaliar a gênese de óxidos de Fe magnéticos devido ao efeito da temperatura *versus* tempo, por meio de um ensaio de aquecimento e comparar os resultados de dissoluções seletivas e susceptibilidade magnética obtidos com os de amostras de solos que passaram por incêndios naturais.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área

A Reserva Particular do Patrimônio Natural SESC Pantanal (RPPN SESC Pantanal) é uma área de 106.644 ha, entre os rios Cuiabá e São Lourenço, em Barão de Melgaço - MT, inserida na sub-região do Pantanal de Barão de Melgaço, entre os paralelos 16° a 17° S e meridianos 56° a 57° W.

Foram selecionadas três áreas ao longo de um transecto, desde a margem do rio Cuiabá até os



limites atingidos pela atual planície de inundação. As superfícies geomórficas e fitofisionomias são dique fluvial - Floresta Ripária, planície - formação pioneira com influência fluvial/lacustre vegetação Gramíneo-Arbustiva "Espinheiral" e lagoa intermitente - vegetação herbácea com influência fluvial e/ou lacustre (com ocorrência de *Andropogon bicornis* L., *Hibiscus striatus* Cav., *Cyperus giganteus* L., *Cissus spinosa* Camb. *Thalia geniculata* L. e *Discolobium* sp.). Com ocorrência de solos redoximórficos das classes Fluvisols área 1, Gleysols área 2 e Plinthosols área 3 (Nascimento et al., 2014) pelo *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps* (IUSS/WRB, 2014), formados a partir de sedimentos do rio Cuiabá ao longo do período Quaternário.

Experimento de aquecimento

Para avaliação do efeito do fogo na gênese e magnetização dos óxidos de Fe foi realizado um experimento de aquecimento de amostras de três solos, coletadas na profundidade de 0 - 10 cm, nas seguintes temperaturas: ambiente, 250, 550 e 650 graus Celsius (°C), durante 15, 30 e 60 minutos. Foram utilizados 10 gramas de TFSA, acondicionados em cadinhos de porcelana de 50 ml de volume e o aquecimento realizado em uma mufla.

Análises físico-químicas

Para avaliar o efeito do fogo sobre a magnetização dos óxidos de Fe, foram feitas medidas de susceptibilidade magnética (S.M) em um equipamento Bartington MS-2B de dupla frequência (Bartington Instruments Ltd., Oxford. Reino Unido). E dissoluções seletivas e determinação dos teores de Fe dos tratamentos. Os oxi-hidróxidos de Fe de alto grau de cristalinidade (Fed) das amostras de sedimento do rio Cuiabá, de terra fina seca ao ar (TFSA) do experimento de aquecimento e 03 amostras dos mesmos solos (Transpantaneira solo de 0-10 cm, área 2 cinzas de um tronco de Cambará (*Vochysia divergens* Pohl.) e do solo 0-10 cm, após os incêndios que ocorreram em algumas das áreas no ano de 2010, foram extraídos por ditionito/citrato/bicarbonato de sódio (DCB) pelo método de Mehra e Jackson (1960). Enquanto que as formas de baixo grau de cristalinidade (Feox) foram extraídas com solução de oxalato de amônio 0,2 M (Ox) segundo Schwertmann & Cornell (2000). Os teores de Fe foram determinados nos extratos por espectrofotometria de absorção atômica (AAS). Os teores de maghemita das amostras das áreas que ocorreram incêndios naturais e as do ensaio de

aquecimento foram estimados a partir da equação $\% \text{maghemita} = \text{Susceptibilidade magnética} \times 100/4400$ (Costa, 1996).

Análise estatística

As análises quantitativas do aumento da susceptibilidade magnética e dos teores de Fe das dissoluções seletivas entre os tratamentos (temperatura x tempo) das amostras foram realizadas utilizando teste de comparação de médias (teste de Tukey), considerando um nível de significância menor que 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras dos solos que foram atingidos por incêndios naturais em 2010, apresentaram maiores valores de susceptibilidade magnética (S.M), formas de Fe de alto grau de cristalinidade e formas de Fe de baixo grau de cristalinidade em relação às amostras do experimento (**Tabela 1**). Assim, como, maiores teores de maghemita estimados a partir da susceptibilidade magnética (**Tabela 1**).

Os maiores valores de S.M das amostras das áreas que ocorreram incêndios no ano de 2010 evidenciam que a ação do fogo sobre os óxidos de Fe, que o efeito deste sobre a gênese de óxidos de Fe magnéticos não ocorre apenas devido ao aumento de temperatura e ao tempo ao qual o solo fica exposto a essa temperaturas. Isso em relação às temperaturas e os tempos avaliados no ensaio de aquecimento realizado neste estudo.

A maior S.M das amostras das áreas que sofreram incêndios também pode ser devido as maiores temperaturas gerada pelos incêndios. Em materiais altamente inflamáveis como os da serapilheira, a temperatura da superfície do solo pode alcançar 500-700°C, mas temperaturas ocasionais acima de 1.500°C podem ocorrer (Neary et al., 1999; Couto et al., 2006).

Os maiores teores de Fed das amostras das áreas atingidas por incêndios, evidenciam que ocorrem um aumento na participação de óxidos de alto grau de cristalinidade como a hematita e a maghemita.

A maioria dos resultados das amostras dos tratamentos do ensaio de aquecimento apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade pelo teste de comparação de médias de Tukey, em relação aos tratamentos e aos solos utilizados (**Tabela 2**).

O tratamento com temperatura de 250 e tempo de 15 minutos, não apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade entre os solos e destes com os valores de S.M das amostras antes do aquecimento. Assim, como para o tratamento de 650°C por 15 minutos não apresentou diferença entre os solos. Com exceção dos tratamentos de 250°C a 60



minutos das amostras do Gleysol (área 2) e do Plinthosol (área 3) em relação aos tratamentos de 15 e 30 minutos a 250°C. Enquanto que a S.M do tratamento de 550°C por 15 minutos das amostras do Fluvisol (área 1) apresentou diferença em relação às do Gleysol e do Plinthosol. E a S.M apresentou diferença significativa nos tratamentos de 550°C e 650°C por 30 e 60 minutos para os três solos utilizados no estudo.

Em relação aos teores de óxidos de Fe de alto grau de cristalinidade (Fed) e da relação Feox/Fed, ocorreu o aumento dos teores de Fed das amostras de todos os tratamentos (**Tabela 3**). Ocorreu o aumento dos teores de Fed, apresentando correlação positiva entre este e o aumento da temperatura e do tempo de exposição no Fluvisol $r^2 = 0,86$, no Gleysol $r^2 = 0,93$ e no Plinthosol $r^2 = 0,33$.

Os valores dos teores de formas de Fe de baixo grau de cristalinidade Feox, ocorreram à redução dos teores nos três solos (Fluvisol $r^2 = 0,73$; Gleysol $r^2 = 0,87$ e no Plinthosol $r^2 = 0,52$), apresentando uma correlação negativa o aumento da temperatura e do tempo de exposição em aos teores de Feox.

O aumento do grau de cristalinidade dos óxidos de Fe pode influenciar nos processos redoximórficos que ocorrem nestes solos, à medida que óxidos de alto grau de cristalinidade são de mais difícil redução durante a inundação e formação de um ambiente redutor no solo. De acordo com Reddy & Delaune, (2008) a ferrihidrita precisa de um valor de potencial de oxidação-redução (E^0) de ≥ 1057 mV ($\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ + \text{e}^- = \text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$), a goethita e a lepidocrocita E^0 de ≥ 693 mV ($\text{FeOOH} + 3\text{H}^+ + \text{e}^- = \text{Fe}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O}$) para redução do Fe^{3+} a Fe^{2+} . A hematita necessita de condições mais redutoras no solo para redução do Fe^{3+} a Fe^{2+} , valores de E^0 1373 mV ($\text{Fe}_3(\text{OH})_8 + 8\text{H}^+ + 2\text{e}^- = 3\text{Fe}^{2+} + 8\text{H}_2\text{O}$).

Os teores de maghemita estimados pela equação %maghemita = Susceptibilidade magnética x 100/4400 (Costa, 1996), apresentaram aumento principalmente no tratamento de 650°C por 60 minutos (**Tabela 3**). Os teores de maghemita do Fluvisol para o tratamento de 650°C por 60 minutos foram de 3,12 %, do Gleysol 2,58% e do Plinthosol 1,32 % de maghemita.

Provavelmente os teores e as formas de Fe nesses solos influenciam no aumento da susceptibilidade magnética devido à formação de óxidos magnéticos como a maghemita. Assim, como, outros atributos do solo como os teores e formas de carbono e nitrogênio, na temperatura e tempo de exposição do solo ao aquecimento.

CONCLUSÕES

A susceptibilidade magnética é uma técnica eficiente na avaliação do efeito do fogo sobre a gênese de óxidos de Fe magnéticos nos solos estudados. O efeito do fogo não se dá apenas

devido o aumento da temperatura da superfície do solo, podendo ter outros fatores associados aos solos e aos incêndios naturais, que influenciam na gênese de óxidos de Fe magnéticos e consequente aumento da cristalinidade e da susceptibilidade magnética.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão das bolsas de doutorado no país, estágio no exterior e produtividade em pesquisa, à FAPESP pelo financiamento da pesquisa Proc. 2009/54372-0, ao SESC-Pantanal pelo apoio logístico, aos guardas-parques e a brigada de incêndio da RPPN SESC Pantanal pelo apoio nos trabalhos de campo e etnoconhecimento do Pantanal.

REFERÊNCIAS

Ab' Saber, A. N, O pantanal mato-grossense e a teoria dos refúgios, Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v,1, ed, esp., 9-57, 1988.

Costa, A.C.S. da. Iron oxide mineralogy of soils derived from volcanic rocks in the Paraná River Basin, Brazil. Ph.D. thesis, The Ohio State University, Columbus, Ohio, 1996, 243p.

Couto, E. G ; Chig, L. A.; Cunha, C.N. da ; Loureiro, M. de F. Estudo sobre o impacto do fogo na disponibilidade de nutrientes, no banco de sementes e na biota de soos da RPPN SESC Pantanal (Conhecendo o Pantanal 2). 01. ed. Rio de Janeiro: Serviço Social do Comércio, 2006. v. 500. 56p .

Fitzpatrick, R.W. Iron compounds as indicators of pedogenic processes: Examples from the southern hemisphere. In: Stucki, J.W.; Goodman, B.A.; Schwertmann, U. editors. Iron in Soils and Clay Minerals. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1985. pp. 351 - 396.

IUSS WORKING GROUP WRB. World Reference Base for Soil Resources: International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 3rd edition. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome. 2014, 181p.

Wilgen, B.W. van. The evolution of fire management practices in savanna protected areas in South Africa. South African Journal of Science, 105: 343-349, 2009.

Mehra, O.P. & Jackson, M.L. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate, Clays and Clays Minerals, New York, v.7, p. 317-327, 1960.

Nascimento, A. F.; Beirigo, R.M.; Couto, E.G.; Furquim, S.A.C.; Oliveira-Júnior, J.C.; Chiapini, M.; Stape, J.L.; Vidal-Torrado, P. et al. Legenda expandida dos mapas de Solos da RPPN SESC Pantanal. Piracicaba: IPEF, 2014. 55p.



Neary, G. D.; Klopatek, C. C.; Deban, L. F. & , P. F. Fire Effects on Belowground Sustainability: a Review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122 : 51 - 71, 1999.

Reddy, K.R.; Delaune, R. Biogeochemistry of wetlands: science and applications. CRC Press, Boca Raton, 2008. 757p.

Schwertmann, U.; Cornell, R.M. (2000) Iron Oxides in the Laboratory. Preparation and Characterization, 2nd edition, Wiley-VCH, Weinheim, Germany. 2000. 188p.

Stanjek, H. The formation of maghemite and hematite from lepidocrocite and goethite in a Cambisol from Corsica, France. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 150:314-318, 1987.

Tabela 1 - Teores Fed, Feox, Feox/Fed, susceptibilidade magnética e teor de maghemita das amostras das áreas atingidas por incêndios no ano de 2010 e das amostras das 3 áreas antes do ensaio.

Amostras	Fed	Feox	Feox/Fed	S.M	Maghemita
	g/kg			$\chi\text{m}^3/\text{kg} \times 10^{-7}$	g/kg
<i>Gleysol</i> Transpantaneira	30,2	22,3	0,7	586,3	133,3
Tronco Cambará área 2	15,7	7,5	0,5	214,3	48,7
<i>Gleysol</i> área 2	19,9	5,0	0,2	109,6	24,9
<i>Fluvisol</i>	14,6	9,8	0,7	0,1	0,0
<i>Gleysol</i>	9,7	9,4	1,0	2,4	0,5
<i>Plinthosol</i>	1,8	8,4	4,7	0,4	0,1

Fed = formas de Fe de alto grau de cristalinidade extraídas por DCB; Feox = formas de Fe de baixo grau de cristalinidade extraídas por Oxalato; Feox/Fed = grau de cristalinidade dos óxidos de Fe das amostras e S.M = susceptibilidade magnética.

Tabela 2 - Comparação entre a temperatura e o tempo de aquecimento das amostras dos solos do ensaio a partir da susceptibilidade magnética.

Temp. (°C)	Solo	Tempo (min.)		
		15	30	60
		* $\chi\text{m}^3/\text{kg} \times 10^{-7}$		
250	<i>Fluvisol</i>	0,3 ± 0,4 a	1,2 ± 0,7 a	10,8 ± 1,1 a
	<i>Gleysol</i>	2,6 ± 0,8 a	3,3 ± 0,9 a	4,5 ± 0,8 ab
	<i>Plinthosol</i>	0,4 ± 0,1 a	0,5 ± 0,1 a	0,5 ± 0,1b
550	<i>Fluvisol</i>	57,4 ± 10,8 a	98,4 ± 15,2 a	132,5 ± 11,9 a
	<i>Gleysol</i>	8,0 ± 1,7 b	73,2 ± 10,3 b	85,8 ± 10,6 b
	<i>Plinthosol</i>	4,7 ± 1,4 b	7,03 ± 0,8 c	14,9 ± 2,5 c
650	<i>Fluvisol</i>	15,0 ± 1,0 a	76,0 ± 5,7 b	137,5 ± 18,2 a
	<i>Gleysol</i>	15,0 ± 2,0 a	97,2 ± 2,6 a	113,3 ± 1,4 b
	<i>Plinthosol</i>	7,8 ± 1,4 a	9,6 ± 1,4 c	58,0 ± 9,3 c

Letras diferentes entre as linhas na mesma temperatura indica diferença significativa pelo teste Tukey (p<0,05). Média ± Desvio padrão. * = susceptibilidade magnética

Tabela 3 - Teores Fed, Feox e teor maghemita das amostras dos solos do ensaio.

Temp. (°C)	Solo	Tempo (minutos)								
		15			30			60		
		Feox	Fed	Mag	Feox	Fed	Mag	Feox	Fed	Mag
		g/kg								
250	<i>Fluvisol</i>	15,0	11,6	0,1	15,0	11,2	0,3	14,9	10,3	2,5
	<i>Gleysol</i>	10,0	9,2	0,6	10,2	9,1	0,7	10,1	8,1	1,0
	<i>Plinthosol</i>	2,4	3,3	0,1	2,9	3,0	0,1	2,9	3,2	0,1
550	<i>Fluvisol</i>	16,1	3,1	13,1	18,5	2,6	22,4	19,5	2,3	30,1
	<i>Gleysol</i>	10,4	5,6	1,8	10,5	5,1	16,6	11,2	3,8	19,5
	<i>Plinthosol</i>	3,0	2,8	1,1	3,2	2,7	1,6	2,9	2,2	3,4
650	<i>Fluvisol</i>	19,5	2,6	3,4	19,4	2,9	17,3	19,5	2,0	31,2
	<i>Gleysol</i>	11,2	5,7	3,4	11,7	4,1	22,1	12,1	2,4	25,8
	<i>Plinthosol</i>	3,6	2,5	1,8	3,2	2,5	2,2	2,6	1,3	13,2

Temp. (C°) = temperatura em graus Celsius; Fed = formas de Fe de alto grau de cristalinidade extraídas por DCB; Feox = formas de Fe de baixo grau de cristalinidade extraídas por Oxalato; Feox/Fed = grau de cristalinidade dos óxidos de Fe das amostras e Mag = maghemita.