



Relações entre gênese de solos halomórficos e dinâmica fluvial no Pantanal da Nhecolândia, MS.

Sheila Aparecida Correia Furquim⁽²⁾; Evaldo Luis Cardoso⁽³⁾; Marjory Araújo dos Santos⁽⁴⁾; Thiago Tavares Vidoca do Nascimento⁽⁴⁾; Marcelo de Almeida Balbino⁽⁵⁾

(1) Trabalho executado com recursos da FAPESP (Projeto 2011/22491-0).

(2) Docente, Universidade Federal de São Paulo-UNIFESP, Diadema-SP; sacfurquim@gmail.com; (3) Pesquisador, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, EMBRAPA, Corumbá-MS; (4) Estudante-Graduação, Universidade Federal de São Paulo-UNIFESP, Diadema-SP; (5) Estudante-Mestrado, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo-SP.

RESUMO: No Pantanal da Nhecolândia, lagoas salinas, e os solos Salino-Sódicos a elas associadas, estão sofrendo degradação provavelmente devido ao aporte de águas doces das inundações sazonais. Este trabalho teve como objetivo estudar os solos relacionados a lagoas em degradação, a partir de descrições morfológicas detalhadas e de análises químicas laboratoriais, a fim de estabelecer relações genéticas com os solos Salino-Sódicos das salinas. Observou-se que os solos de duas lagoas em degradação (uma salobra e uma já com água doce) apresentam, em profundidade, horizontes semelhantes ao Btnx presentes nos Solos Salino-Sódicos. Estes horizontes profundos são esverdeados, endurecidos e, geralmente, possuem os maiores valores de pH, porcentagem de sódio trocável (PST) e condutividade elétrica na pasta saturada (CEp), e os menores valores de $Al^{3+}+H^{+}$ trocáveis do perfil. Estes dados apontam para a ação do processo de solodização nos solos das lagoas salobra e doce, com origem de Solonetz Solodizados ou, ainda, de solos que apresentam resquícios de solo halomórfico, mas não atendem mais aos critérios para serem classificados como tal. A forte lixiviação dos íons devido ao estabelecimento de canais de água doce intermitentes (vazantes) nas áreas das lagoas salinas é a principal responsável pela degradação dos Solos Salino-Sódicos e pelo estabelecimento da solodização.

Termos de indexação: solos afetados por sais, solodização, Solonetz Solodizados

INTRODUÇÃO

No Brasil, os solos halomórficos concentram-se principalmente na região nordeste e no Pantanal Mato-Grossense, ocupando uma área de aproximadamente 160.000 Km² (Ribeiro et al., 2003). O desenvolvimento destes solos está atrelado tanto a elevados déficits hídricos anuais, os quais permitem um aumento da concentração das soluções (Bohn et al., 2001), quanto à ocorrência de topografia deprimida associada a altos níveis d'água subsuperficiais, os quais restringem os fluxos de água nos solos, diminuindo as taxas de lixiviação

(Westin, 1953; USSL Staff, 1954).

A região centro-sul do Pantanal, conhecida como Nhecolândia, concentra uma grande quantidade de solos halomórficos, localizados nos arredores de cerca de 1500 lagoas salinas. Estas lagoas localizam-se no interior das cordilheiras, denominação local para cordões arenosos alongados, correspondentes às áreas mais elevadas da paisagem. Assim, tanto as cordilheiras quanto as salinas não costumam ser atingidas pelas águas superficiais das inundações. Paralelo ao complexo cordilheira-salina, ocorrem as vazantes, que são amplas depressões alongadas que, na época de máxima cheia, adquirem um caráter de curso fluvial intermitente. No interior das vazantes ocorrem as baías, lagoas de água doce que permanecem cheias durante o período das chuvas e secas durante a estiagem (Fernandes, 2007; Furquim et al., 2008; 2010).

Apesar da proximidade espacial entre os complexos cordilheira-salina e vazante-baía (≥ 200 m), há uma grande variabilidade geoquímica entre suas águas. Enquanto as salinas apresentam pH entre 8 e 10 e condutividade elétrica (CE) entre 6 e 68 dS.m⁻¹, as águas doces das vazantes e baías possuem pH entre 4,5 e 8 e CE entre 0,01 e 0,3 dS.m⁻¹ (Barbiero et al., 2002; Parizotto, 2012).

Os solos associados às várias lagoas salinas da Nhecolândia parecem ser semelhantes entre si (Sakamoto, 1997; Furquim et al., 2008, 2010; Parizotto, 2012), apresentando majoritariamente horizontes claros, arenosos e com grãos soltos em pequenas profundidades (A ou E) e horizontes esverdeados, areno-argilosos, maciços e endurecidos em maiores profundidades (Bkg e Btnx). Em geral, todos os horizontes apresentam porcentagens de sódio trocável (PST) superiores a 50%, condutividade elétrica na pasta saturada (CEp) maior que 10 dS.m⁻¹ e pH superior a 9 (Furquim, 2007), características que os enquadram como Solos Salino-Sódicos (USSL Staff, 1954).

Entretanto, estudos apontam que as lagoas salinas, e os solos a elas associados, estão atualmente sendo degradadas devido ao aporte de águas superficiais das inundações, através do surgimento de novas baías e vazantes. Assim, as



salinas estariam transformando-se inicialmente em lagoas salobras e, posteriormente, em lagoas doces e vazantes, sendo este processo evidenciado pela presença de lagoas com pH e CE intermediários entre as salinas e as águas doces (Fernandes, 2007; Almeida et al. 2003).

O presente trabalho possui como objetivo estudar as propriedades morfológicas e químicas dos solos situados nos arredores de lagoas intermediárias entre as salinas e baías / vazantes, a fim de estabelecer relações genéticas entre eles e os Solos Salino-Sódicos das salinas. Adota-se como hipótese que os solos estudados estão se originando a partir da degradação dos solos Salino-Sódicos, dando origem a diferentes tipos de solos halomórficos.

MATERIAL E MÉTODOS

Os solos dos arredores de duas lagoas com pH e CE intermediários entre as salinas e as águas doces, Lagoa do Carandazal (pH: 6,54; CE 1,88 dS.m⁻¹) e Lagoa do Banhado (pH 6.17; CE 0,76 dS.m⁻¹), foram descritos ao longo de topossequências, de acordo com Boulet (1992) e Santos et al. (2013). Os dados relativos a duas trincheiras (pedons) representativas de cada topossequência serão aqui apresentados. Os Pedons 1 e 3 (P1 e P3) localizam-se em posição topográfica mais alta, nas bordas das lagoas Carandazal e Banhado, respectivamente. Já os Pedons 2 e 4 (P2 e P4) localizam-se em posição topográfica mais baixa, nas proximidades do fundo das lagoas Carandazal e Banhado, respectivamente.

Todas as amostras coletadas passaram por quarteamento, com o objetivo de diminuir a variabilidade dos dados. As análises laboratoriais foram feitas em triplicatas e refeitas se o coeficiente de variação entre os 3 dados foi superior a 12%.

O pH-H₂O foi medido em suspensão solo/água 1:1, de acordo com USDA (1996). Cálcio, Mg²⁺, Al³⁺ trocáveis foram extraídos com KCl 1 mol/l, sendo Ca²⁺ e Mg²⁺ quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) e o Al³⁺ por titulação com NaOH 0,025 mol/l (Cantarella et al., 2001). Potássio e Na⁺ trocáveis foram extraídos com Mehlich-1, sendo determinados por fotometria de chama (Silva et al., 2009). A acidez potencial (H⁺+Al³⁺) foi extraída com acetato de cálcio a pH 7 e quantificada por titulação com NaOH 0,025 mol/l (Quaggio e Raij, 2001). Condutividade elétrica (CE), K⁺, Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ foram também obtidos a partir do extrato da pasta saturada, sendo a CE determinada por condutivímetro de bancada, K⁺ e Na⁺ por fotometria de chama e Ca²⁺ e Mg²⁺ por EAA (USDA, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos arredores da lagoa do Carandazal, os solos

são compostos por um horizonte superficial bruno-acinzentado-escuro (10YR 4/2), arenoso e com blocos subangulares (hor. 1) no P1 e areno-silto-argiloso e laminar (hor. 2) no P2. Abaixo, em ambos os pedons, ocorre um horizonte cinzento-brunado-claro (10YR 6/2), arenoso e com grãos soltos (hor. 3). Apenas no P2, subjacente ao 3, há um horizonte cinzento – claro (10YR 7/1), areno-argilo-siltoso e maciço (hor. 7). Subjacente ao 3 no P1 e ao 7 no P2 há dois horizontes maciços, extremamente duros e esverdeados: um bruno-oliváceo (2.5Y4/4) e areno-argiloso (hor. 5) e outro oliva (5Y 4/4), areno-argiloso no P1 e argiloso no P2 (hor. 4). Na lagoa do Banhado, o P3 apresenta principalmente a sequência de horizontes 1, 3, 4 e 5 e o P4 a sequência 2, 7, 6, 5, 4. Os horizontes 2, 4, 5 e 7 apresentam as mesmas características já descritas para a lagoa do Carandazal. O horizonte 6, exclusivo do Banhado, é bruno-amarelado (10YR 5/6), areno-argiloso, maciço e duro.

Os horizontes 4, 5 e 6 apresentam similaridades em relação ao Btnx das salinas (Furquim et al., 2008, 2010), já que são profundos, com matriz esverdeada (4 e 5), enriquecidos em argila em relação aos horizontes sobrejacentes e de difícil escavação. Estas semelhanças embasam a hipótese de que tais horizontes teriam relações genéticas com o Btnx e representariam transformações decorrentes da mudança das características geoquímicas das águas das lagoas.

Os resultados laboratoriais dos solos aqui estudados, apresentados na **Figura 1**, apoiam esta interpretação. Os parâmetros químicos dos horizontes 4, 5 e 6 são os que guardam, em geral, as maiores semelhanças com os Solos Salino-Sódicos. Em maioria, estes horizontes apresentam os maiores valores de pH-H₂O, condutividade elétrica (CE), saturação em bases (V%) e porcentagem de sódio trocável (PST) em cada perfil, além dos menores valores de Al³⁺ e H⁺+Al³⁺ e saturação em Al³⁺ (m%).

Na lagoa do Carandazal, os horizontes mais profundos (4, 5) de ambos os pedons atendem aos critérios dos solos sódicos, com PST>15, CE<4 dS m⁻¹ e pH > 8 (USSS Staff, 1954), sendo Na⁺ ou Ca²⁺ os cátions trocáveis dominantes. Os horizontes menos profundos (1, 2, 3), entretanto, possuem PST<15, CE<4 dS m⁻¹ e pH<8, sendo o Ca²⁺ e o Mg²⁺ trocável dominantes, mas com maiores teores de H⁺+Al³⁺ que os horizontes mais profundos.

Na lagoa do Banhado, o pedon localizado na zona mais alta (P3) possui PST>15 e CE<4 dS m⁻¹, podendo ser classificados como solos sódicos (USSS, 1954), mas o pH é maior que 8 somente no horizonte mais profundo (4). Os horizontes do P4 apresentam, em maioria, valores abaixo dos critérios estabelecidos para a classificação dos solos



halomórficos. Em ambos os pedons, o $H^+ + Al^{3+}$ são os cátions trocáveis predominantes dos horizontes menos profundos e Ca^{2+} nos mais profundos.

As características químicas dos pedons estudados revelam que estes solos não estão mais sujeitos ao processo de solonização, como os solos Salino-Sódicos associados às salinas (Furquim, 2007), mas sim ao processo de solodização, caracterizado pela gradual lixiviação do Na^+ trocável e sua substituição principalmente pelo H^+ e Al^{3+} , com conseqüente diminuição do pH, especialmente nos horizontes pouco profundos (Kellog, 1934; Shaetzl & Anderson, 2005). Este processo conduz à degradação dos Solos Sódicos ou Salino-Sódicos previamente existentes, formando os chamados Solonetz Solodizados (Solodized Solonetz ou Solodi) (Whittig, 1959; Shaetzl & Anderson, 2005).

No P1 e P2 da lagoa do Carandazal e no P3 da lagoa do Banhado, o processo de solodização parece estar em um estágio de degradação anterior ao P4, da Lagoa do Banhado. O P1, P2 e P3 são tipicamente enquadrados como Solonetz Solodizados, uma vez possuem horizontes mais profundos com características sódicas e horizontes menos profundos já degradados. As características do P4, entretanto, já não os enquadra como solos halomórficos. Entretanto, a ocorrência de horizontes de transformação do Btnx (4, 5, 6) atesta que estes solos passaram pelo processo de degradação dos solos Salino-Sódicos.

O estabelecimento e a evolução da solodização geralmente estão associados ao aumento da lixiviação dos solos. No caso dos solos estudados, duas evidências apontam que as condições para a lixiviação ocorreram pelo avanço das vazantes no interior das cordilheiras, ou seja, pelo estabelecimento de canais intermitentes superficiais, por onde correm as águas doces das inundações. A primeira evidência relaciona-se ao fato das salinas preservadas estarem circundadas por vegetação de Cerradão (Almeida et al., 2003), indicando seu isolamento dentro da cordilheira, enquanto os arredores das lagoas estudadas encontram-se parcialmente ou totalmente desmatados e, portanto, conectados às inundações sazonais. A segunda evidência relaciona-se à uma nítida diminuição de pH e de PST dos pedons mais altos (P1 e P3) para os pedons mais rebaixados (P2 e P4), sugerindo um aumento da taxa de lixiviação no sentido do centro das lagoas. Estes centros, em visão aérea, situam-se justamente no talvegue dos canais das vazantes em instalação ou instalados, por onde a água doce está provavelmente fluindo com maior frequência.

De acordo com Assine et al. (2005) e Zani et al. (2006, 2009), a região da Nhecolândia abarca lobos deposicionais abandonados, onde não há ativa deposição de sedimentos atualmente. Nestes lobos,

atuam processos erosivos, imprimindo feições degradacionais sobre as feições agradacionais prévias. Segundo Assine (2003), as vazantes correspondem a canais tributários atuais, largos e rasos, que se superimpõem aos paleocanais distributários característicos dos lobos abandonados. O fluxo atual das inundações periódicas nas vazantes provavelmente tem provocado a erosão das cordilheiras arenosas, ampliando seus cursos ou formando novos canais e, conseqüentemente, dessalinizando a Nhecolândia. Essa dessalinização ocorreria através da transformação das lagoas salinas, e de seus solos Salino-Sódicos, em lagoas salobras e doces, dominadas por Solonetz – Solodizados e por solos não mais halomórficos, respectivamente.

CONCLUSÕES

A dinâmica erosiva fluvial da Nhecolândia é a principal responsável pela lixiviação dos solos Salino-Sódicos das lagoas salinas, provocando a substituição da solonização pela solodização e, conseqüentemente, a sua transformação em Solonetz Solodizados nas lagoas salobras e em Solonetz Solodizados ou solos não mais halomórficos nas lagoas dominadas pela água doce.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP pelo financiamento do Projeto 2011/22491-0 e pela bolsa de IC de TTVN, à CAPES pela bolsa de mestrado de MAB, ao CNPq pela bolsa PIBIC de MAS e a EMBRAPA-Pantanal, pelo apoio logístico nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, T.I.R.; SÍGOLO, J.; FERNANDES, E.; QUEIROZ NETO, J.; BARBIERO, L.; SAKAMOTO, A. Proposta de Classificação e Gênese das Lagoas da Baixa Nhecolândia-MS com base em sensoriamento remoto e dados de campo. *Rev. Bras. de Geoc.*, 33:88-90, 2003.
- ASSINE, M.L. Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil. *Livre-Docência*, IGCE, UNESP, Rio Claro, 106p, 2003.
- ASSINE, M., PADOVANI, C.R., ZACHARIAS, A.A.; ÂNGULO, R.J., SOUZA, M.C. Compartimentação geomorfológica, processos de avulsão fluvial e mudanças de curso do Rio taquari, Pantanal Mato-Grossense. *Rev. Bras. Geomorf.*, 6:97-108, 2005.
- BARBIERO, L., FURIAN, S., QUEIROZ NETO, J.P., CIORNEI, G., SAKAMOTO, A.Y., CAPELLARI, B., FERNANDES, E., VALLÈS, V. Geochemistry of water and ground water in the Nhecolândia, Pantanal of Mato Grosso, Brazil: variability and associated processes. *Wetlands* 22:528–540, 2002.
- BOHN, H.L.; MCNEAL, B.L.; O'CONNOR, G.A. *Soil Chemistry*, New York, John Wiley & Sons, 322p, 2001
- BOULET, R. Uma evolução recente da pedologia e suas



Implicações no Conhecimento da Gênese do Relevo. In: III Congr. ABEQUA-Anais. Belo Horizonte, 1992, p.43-51.

CANTARELLA, H.; VAN RAIJ, B.; COSCIONE, A.R.; ANDRADE, J.C. Determinação de Alumínio, Cálcio e Magnésio trocáveis em extrato de Cloreto de Potássio. In: Raij, B. Andrade J.C., Cantarella H.; Quaggio, J.A. (eds) Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. IAC, Campinas, 2001.

FERNANDES, E. Organização espacial dos componentes da paisagem da baixa Nhecolândia. Doutorado. Depto de Geografia, USP, 2007.

FURQUIM, S.A.C. Formação de Carbonatos e Argilominerais em Solos Sódicos no Pantanal Sul-Mato-Grossense. Doutorado, Depto de Geografia, USP, 2007.

FURQUIM, S.A.C., GRAHAM, R.C., BARBIERO, L., QUEIROZ NETO, J.P., VALLÈS, V. Mineralogy and genesis of smectites in an alkaline-saline environment of Pantanal wetland, Brazil. *Clays and Clay Minerals* 56:580-596, 2008.

FURQUIM, S.A.C.; GRAHAM, R.; BARBIERO, L.; QUEIROZ NETO, J.; VIDAL-TORRADO, P. Soil Mineral Genesis and Distribution in a Saline Lake Landscape of the Pantanal Wetland, Brazil. *Geoderma*, 154: 518-528, 2010

KELLOG, C.E. Morphology and genesis of the Solonetz soils of western South Dakota. *Soil Science*, 38:483-450, 1934.

PARIZOTTO, T.M. Estudo Morfológico e Hidroquímico de Pequenas Depressões na Nhecolândia, Pantanal, MS. Mestrado, Depto de Geografia, USP, 2012.

QUAGGIO, J.A. & RAIJ, B. Determinação do pH em Cloreto de Cálcio e da Acidez Total. In Raij, B., Andrade, J.C., Cantarella, H.; Quaggio, J.A. (eds) Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais. IAC, Campinas, 2001.

SAKAMOTO, A. Dinâmica hídrica em uma lagoa salina e seu entorno no Pantanal da Nhecolândia: contribuição ao estudo das relações entre o meio físico e a ocupação, Fazenda São Miguel Firme, MS. Doutorado. Depto de Geografia, USP, 1997

SCHAETZL, R., ANDERSON, S. *Soils, Genesis and Geomorphology*. Cambridge, University Press, 817p, 2005

SILVA, F.C., ABREU, M.F., PÉREZ, D.V, EIRA, P.A., ABREU, C.A., VAN RAIJ, B., GIANELLO, C., COELHO, A.M., QUAGGIO, J., TEDESCO, M., SILVA, C.A., CANTARELLA, H., BARRETO, W. Métodos de Análises químicas para fins de fertilidade do solo, Capítulo 1, In: Silva F.C. (ed) Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes, 2ª ed. p. 130-138, 2009.

USDA, Soil Survey Laboratory Methods Manual. Soil Survey Investigations Report, 1996

USSL Staff (1954) Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA, Handbook 60, 160p., 1954

WESTIN, F.C. Solonetz soils on eastern South Dakota: their properties and genesis. *Soil Science Society of America Proceedings*, 17: 287-293, 1953.

WHITTIG, L.D. Characteristics and genesis of a

Solodized-Solonetz of California. *Soil Science Society of America Proc.*, 23, 469-473, 1959.

ZANI, H.; ASSINE, M.L.; ARAÚJO, B.C.; MERINO, E.R.; SILVA, A.; FANCICANI, E.M. Lobos deposicionais na evolução do megaleque do rio Taquari, Pantanal mato-Grossense. In: 1º Simp. de Geotecnologias no Pantanal-Anais, Campo Grande, 2006, p.285-292.

ZANI, H.; ASSINE, M.; SILVA, A.; CORRADINI, F. Redes de drenagem distributária e formas deposicionais no megaleque do Taquari, Pantanal: uma análise baseada no MDE-SRTM. *Rev. Bras. Geomorf.*, 10:21-28, 2009.

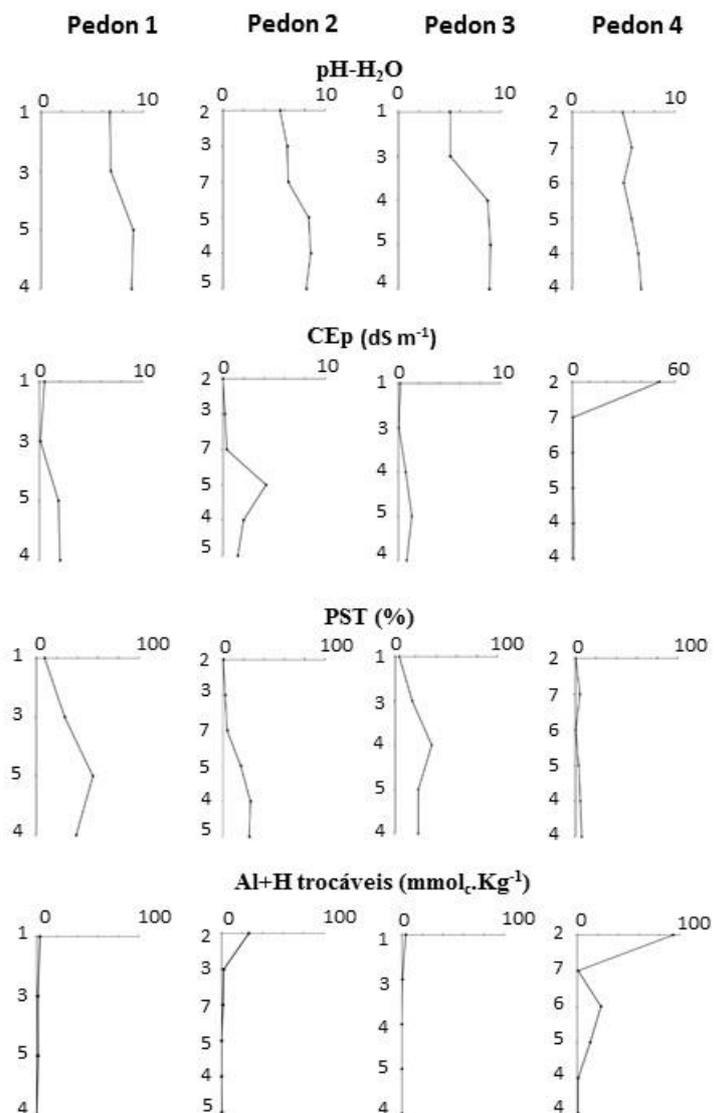


Figura 1: Parâmetros químicos nos pedons estudados

