

GÊNESE DUMA SEQUÊNCIA DE SOLOS DA REGIÃO DO PLANALTO MÉDIO RIOGRANDENSE¹

ECON KLAMT² e MARVIN T. BEATTY³

SINOPSE.— Foi estudada uma topossequência de importantes solos da região do Planalto Médio Rio-grandense, quanto às suas características morfológicas, geomorfológicas, químicas e mineralógicas, objetivando obter informações quanto à gênese, classificação e utilização dos solos para fins agrícolas.

Os solos dos planos elevados foram desenvolvidos a partir de rochas eruptivas básicas e com adição de material arenoso, enquanto que os solos das encostas e declividades inferiores foram originados do basalto subjacente, recebendo contribuição de material erodido dos solos profundamente intemperizados dos planos elevados.

Os solos das encostas, apesar de seus fortes declives e pedregosidade, são preferidos pelos agricultores, por apresentarem argilo-minerais menos transformados e elevada fertilidade natural, enquanto que os solos das superfícies mais velhas apresentam relevo ondulado, mas são fortemente intemperizados, com baixas reservas em elementos nutritivos para as plantas e são francamente ácidos.

INTRODUÇÃO

Nos países em que a agricultura é desenvolvida tecnicamente, a pesquisa fornece informações mais atualizadas e detalhadas que as exigidas e utilizadas pelo homem do campo. Estas novas informações passam, então, a atuar como forças impulsionadoras da evolução dos processos de cultivo.

É necessário que sigamos este exemplo e olhemos com maior atenção para a pesquisa básica, para possibilitar a obtenção dos alimentos que o crescente índice populacional está a exigir.

Como país agrícola que somos, é imprescindível desenvolver novos processos de cultivo, apoiados em dados de pesquisas, para economizar as grandes divisas que são gastas anualmente com a importação de produtos primários.

Na caracterização dos solos do Rio Grande do Sul já se deu o primeiro passo, com a efetivação do levantamento de reconhecimento dos solos, ora em andamento. Este trabalho está fornecendo os primeiros conhecimentos objetivos das características e propriedades dos solos e sua distribuição geográfica.

As informações que estão sendo obtidas são gerais e podem ser usadas para estimar a potencialidade dos solos, permitindo a execução de projetos de planejamento para o desenvolvimento agrícola de grandes áreas.

Porém, é necessário que os trabalhos não se limitem a um nível de reconhecimento, mas sim, prossigam para um detalhamento cada vez maior das características e propriedades dos solos, para atender às necessidades de uma agricultura tecnicamente conduzida.

Detalhamentos devem ser feitos na caracterização e no levantamento dos solos. Caracterizações mais detalhadas permitirão uma melhor compreensão das propriedades dos solos, das deficiências dos mesmos bem como da sua capacidade de reação a diferentes tratamentos. Fornecerão, também, subsídios para a determinação dos processos atuantes na intemperização dos materiais formadores dos solos e no estabelecimento do estágio de evolução dos mesmos. Enfim, detalhadas caracterizações das propriedades dos solos são básicas para uma boa classificação, levantamento e utilização dos mesmos.

No presente trabalho caracterizaram-se Unidades de solo que já haviam sido estudadas duma maneira geral pela DPFS (1967), mas encontradas em regiões diferentes. Desenvolveram-se também algumas relações novas como a determinação da capacidade de troca de cátions saturando as amostras com CaCl_2 1,0 N e análises mineralógicas quantitativas. A partir destas relações foi possível desenvolver novos conhecimentos dos processos genéticos dos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

A área estudada em detalhe consiste em cadeias de elevações convexas, separadas pelos rios que atravessam o município e se estendem de noroeste a sudoeste e são dissecadas em ambos os lados pelos cursos d'água, imprimindo aspecto ondulado aos longos declives.

Os principais solos que ocorrem no município de Ibirubá, segundo o Levantamento de Reconhecimento dos Solos (DPFS 1967), estão incluídos nas Unidades de mapeamento Ciriaco, Charrua, Erexim, Cruz Alta e Passo Fundo.

¹ Recebido 21 set. 1970, aceito 20 mai. 1971.

Pesquisa realizada para obtenção do grau de M.Sc. em Solos, no Curso de Pós-Graduação de Solos da Faculdade de Agronomia e Veterinária (FAV) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

² Eng.º Agrônomo, Professor de Morfologia e Gênese dos Solos no Curso de Pós-Graduação de Solos da FAV da UFRGS, Pelotas, Rio Grande do Sul. Pesquisador do Serviço de Levantamento, Identificação e Mapeamento de Solos (SLIMS) do Departamento de Recursos Naturais Renováveis (DRNR) da Secretaria da Agricultura do Estado do Rio Grande do Sul e bolsista da CAPES.

³ Professor de Solos da Universidade de Wisconsin, USA, e Prof. de Solos no Convênio UFRGS/Wisconsin-USAID, 1966 a 1969.

Para o presente estudo descreveram-se e amostraram-se (Sociedade Brasileira de Ciência do Solo 1964) três solos encontrados numa topossequência, representada na Fig. 1.

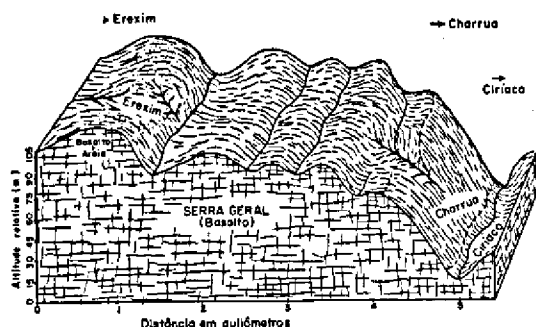


Fig. 1. Corte na topossequência Erexim - Charrua - Ciriaco, no município de Ibirubá, mostrando a relação entre o relevo, material de origem e solos.

Na crista da topossequência, descreveu-se e amostrou-se um perfil de solo profundo, com transição difusa entre horizontes, desenvolvido a partir de basalto e de material arenoso, apresentando relevo ondulado e cobertura vegetal original de mata latifoliada, conforme é mostrado na Fig. 2, pertencente à Unidade Erexim (Adendo, perfil 1).



Fig. 2. Paisagem em que ocorre o solo da Unidade Erexim.

Os rios encontrados na região dissecaram a paisagem, formando vales em "V". Na escarpa destes vales encontram-se solos pouco desenvolvidos e nas declividades inferiores, solos de profundidade média, com horizonte B desenvolvido e nítido contraste entre os horizontes. Ambos são desenvolvidos a partir de rochas eruptivas básicas misturadas com materiais transportados das áreas situadas acima, e redepositados, e sua cobertura vegetal original foi de mata latifoliada mista, que, em parte, cedeu lugar para cultivos diversos, conforme é mostrado na Fig. 3.

O solo da escarpa pertence à Unidade Charrua (Adendo, perfil 2) e o da declividade inferior, à Ciriaco (Adendo, perfil 3), constituindo a "Associação Ciriaco-Charrua", para fins de levantamento de reconhecimento.



Fig. 3. Aspecto da paisagem em que ocorrem os solos das Unidades de solo Ciriaco e Charrua.

Métodos

As amostras de solos coletadas foram secadas ao ar, fracionadas na máquina preparadora e peneiradas em peneira n.º 10, com abertura de 2 mm. A fração menor que 2 mm foi utilizada para as seguintes determinações:

Análise granulométrica

Para a determinação da granulometria foi usado o método de Day (1965), com destruição da matéria orgânica pelo peróxido de hidrogênio 30%, antes da dispersão.

Análises químicas

O pH em água e em CaCl_2 1,0 N foi determinado com uso de potenciômetro elétrico e na proporção solo:líquido, respectivamente, de 1:1 e 1:20, e com contato superior a meia hora e agitação da mistura imediatamente antes da leitura, conforme método de Peech (1965).

Os cátions trocáveis, Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ e K^+ , foram determinados tratando as amostras com NH_4OAc 1,0 N a pH 7,0, com auxílio de fotômetro de chamas, segundo método básico de Jackson (1958a), modificado na Universidade de Wisconsin, para trabalhos de rotina.

O potássio extraível foi determinado pelo método de Pratt (1965), com HNO_3 1,0 N e analisado por fotômetro de chamas.

O manganês trocável foi obtido tratando as amostras com $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 1,0 N; H_3PO_4 85% e $\text{Na}_2\text{H}_2\text{IO}_6$, e determinado colorimetricamente pelo método de Jackson (1958a), modificado na Universidade de Wisconsin para trabalhos de rotina.

O alumínio trocável foi obtido com KCl 1,0 N e o extraível com NH_4OAc 1,0 N a pH 4,8 e determinado colorimetricamente com aluminon, pelo método de McLean (1965).

A capacidade de troca de cátions a pH 7,0 foi determinada pelo método descrito por Chapman (1965),

* Modificação sugerida pelo Professor Wayne Kussow, do Convênio UFRGS/Wisconsin-USAID, 1967 a 1968.

* De acordo com Coleman e Thomas (1967), Bhumbra e McLean (1965) e Helling et al. (1964), a capacidade de troca de cátions dependente do pH é a capacidade de troca de cátions adicional obtida quando o pH do solo ácido é corrigido pela calagem ou a solução saturadora é tamponada a pH 7,0 ou 8,2, em relação à capacidade de troca de cátions determinada nas condições de pH natural do solo.

porém, as amostras foram saturadas com CaOAc 1,0 N a pH 7,0 em vez de saturar com NaOAc 1,0 N a pH 8,2, conforme descrito no método original⁴. Foi determinada também a capacidade de troca⁵ saturando as amostras com CaCl_2 1,0 N. Em ambos os casos, o Ca^{++} foi substituído pelo Mg^{++} pela saturação das amostras com MgCl_2 1,0 N em lugar de usar o NH_4OAc 1,0 N e determinou-se o Ca^{++} com fotômetro de chamas.

O fósforo disponível foi determinado pelo método de Bray-1 (Olsen & Dean 1965).

A determinação do carbono orgânico foi efetuada pela oxidação por combustão seca em fornos de indução (Allison *et al.* 1965).

Análises mineralógicas

A preparação das amostras foi feita segundo o método de Kunze (1965) e a separação das frações menores que 2 micra, fração analisada, pelo método de Jackson (1965). Os óxidos livres de ferro foram determinados pelo método colorimétrico com ortofenantrolina (Krishna *et al.* 1966).

As percentagens de vermiculita e montmorilonita foram determinadas pelos métodos químicos descritos por Alexiades e Jackson (1966).

As percentagens de caulinita + haloisita e material amorfo foram determinadas pelo método de dissolução seletiva com NaOH 0,5% N, descrito por Alexiades e Jackson (1966), sendo o alumínio determinado colorimetricamente com aluminon, preparado segundo método de Jackson (1958b), e o silício, pelo molibdato de amônio, também colorimetricamente, pelo método de Jackson (1958b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises granulométricas

Os dados das análises granulométricas encontram-se no Quadro 1 e as curvas de distribuição granulométrica nos horizontes dos solos Ciriaco e Erexim, respectivamente, nas Fig. 4 e 5.

Analisando as curvas de distribuição granulométrica dos horizontes do solo Ciriaco (Fig. 4), nota-se que elas têm aproximadamente a mesma forma e são logaritmicamente lineares. A percentagem de partículas finas aumenta proporcionalmente do horizonte superficial para os subsuperficiais e a sequência é normal. Há uma grande diferenciação textural entre o horizonte superficial, com 25% de argila, para o B_{22} com 48% (Quadro 1). Em análise mais detalhada, pode-se notar uma descontinuidade aparente do horizonte A_2 para o A_3 e do B_{21} para o B_{22} . Kellogg (1962) considera que diferenças abruptas na distribuição granulométrica dos horizontes de um perfil podem indicar descontinuidade litológica ou mudanças nos processos de formação do solo.

A relação silte:argila mostra uma acumulação de silte nos horizontes superficiais e de argila no subsolo, pois, enquanto no horizonte A_2 se observa uma vez e meia de silte, no B_{22} , uma vez e meia mais argila.

O solo Erexim não apresenta curvas de distribuição granulométrica dos horizontes logaritmicamente lineares (Fig. 5), devido aos altos valores de argila e baixos de silte e areia. Os horizontes B_1 , B_{21} e B_{22} mostram curvas aproximadamente horizontais. A forma das curvas se mantém, no entanto, dentro das normais para solos latossólicos. Outrossim, observa-se neste solo uma diferenciação textural entre os horizontes A_1 e B_1 e presença de grãos de quartzo na fração arenosa.

Bennema *et al.* (1962) fazem referência ao desenvolvimento dos Latossolos do Brasil Central, como tendo sofrido intensa erosão e redeposição do material solo. Esta referência concorda com os resultados obtidos, porém, a deposição e redistribuição de material arenoso sobre a Formação Serra Geral (Menegotto *et al.* 1968, Escola de Geologia da UFRGS 1966) no Planalto Rio-grandense pode ser causa da presença de areia quartzosa no solo Erexim. Observações microscópicas mostraram que a areia consiste principalmente de grãos de quartzo, que não provieram das rochas básicas.

A erosão e redeposição mencionadas por Bennema *et al.* (1962) tiveram também papel importante na formação do solo Ciriaco e, especialmente, do Charrua, nesta região.

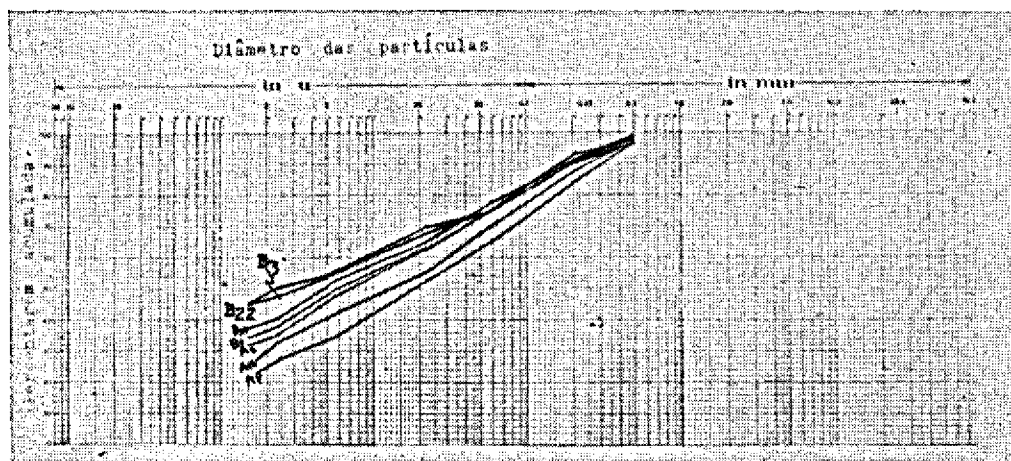


FIG. 4. Curvas de distribuição granulométrica dos diversos horizontes do solo Ciriaco.

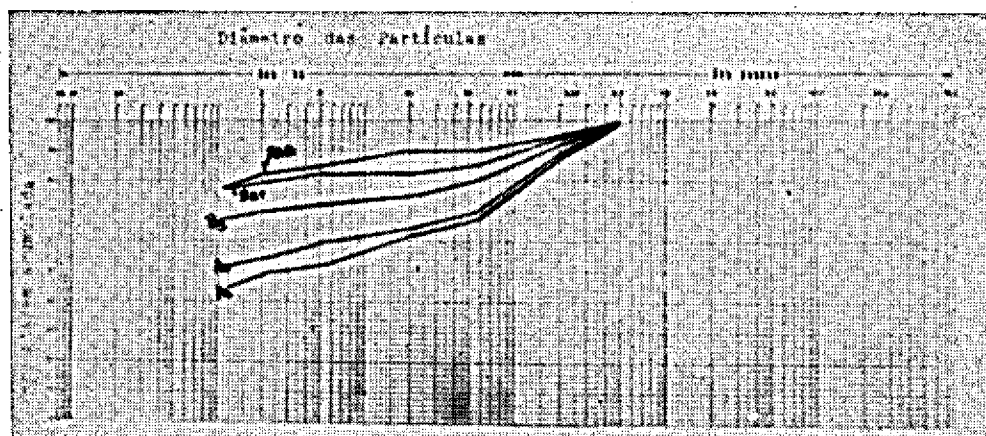


FIG. 5. Curvas de distribuição granulométrica dos horizontes do solo Erexim.

Análises químicas

Os valores de pH variam de 5,4 a 5,9 nos horizontes dos solos Ciriaco e Charrua e de 4,3 a 4,9 no solo Erexim, como se pode ver no Quadro 2.

No solo Ciriaco o valor mais alto para pH verifica-se no horizonte A_p , tendendo a diminuir com a profundidade. Já no solo Erexim ocorre o inverso, aumentando o pH com a profundidade. Pratt e Alvahydo (1966), caracterizando Latossolos do Estado de São Paulo, também observaram um aumento do pH com a profundidade.

Quanto ao suprimento de cátions trocáveis e extraíveis observam-se duas populações distintas, sendo uma formada pelos valores relativamente altos dos solos Ciriaco e Charrua e a outra pelos valores baixos do solo Erexim. Estes resultados estão de acordo com os obtidos pela DPFS (1967) para as mesmas Unidades de solo. Pratt e Alvahydo (1966), para o Litossolo do Estado de São Paulo, obtiveram 11,2 me/100 g de Ca^{++} mais Mg^{++} trocáveis e, para os Latossolos, 0,2 a 4,2 me/100 g, concordando, respectivamente, com o Charrua e o Erexim caracterizados.

Os teores de alumínio trocável e extraível são baixos nos solos Ciriaco e Charrua e altos no solo Erexim. A relação alumínio trocável:soma de cátions trocáveis, mostrada no Quadro 3, é muito baixa para os primeiros solos, porém, o alumínio constitui entre 40 e 71% dos cátions trocáveis no solo Erexim. Em geral se considera que os solos nos quais o alumínio constitui mais de 50% dos cátions trocáveis podem apresentar problemas de nutrição vegetal (Kamprath 1967).

A concentração de manganês trocável também é baixa nos solos Ciriaco e Charrua e relativamente alta nos horizontes superficiais do solo Erexim. Apenas os teores encontrados nos horizontes A_p e A_1 do solo Erexim parecem estar na faixa de toxidez para as plantas, pois valores acima de 0,08 me/100 g já podem ser tóxicos (trabalho de pesquisa da FAV-UFRGS, ainda não publicado).

A maior concentração de manganês trocável no solo Erexim deve estar ligada ao seu pH ácido.

A saturação de bases a pH 7,0, mostrada no Quadro 3, varia de 36 a 61% nos solos Ciriaco e Charrua para 21 a 39% no Erexim, e a $CaCl_2$ 1,0 N, de 46 a 69% nos

QUADRO 1. Distribuição granulométrica, em percentagens

Solos	Horizontes	Distribuição granulométrica percentual								
		Cascalho (2 mm)	Areia grossa (> 0,21 mm)	Areia fina (0,21—0,05 mm)	Silte grosso (0,05—0,02 mm)	Silte fino (0,02—0,002 mm)	Argila ($<0,002$)	Relação silte: argila	Argila natural	Classe textural
Ciriaco	A _D	1	15	21	12	26	25	1,5	10,3	Franco
	A ₁₂	x*	12	20	14	24	30	1,3	14,5	Franco-argiloso
	A ₃	x	9	18	12	27	34	1,2	14,5	Franco-argiloso
	B ₁	x	8	17	13	25	37	1,0	14,5	Franco-argiloso
	B ₂₁	x	9	15	12	24	40	0,9	20,5	Franco-argiloso
	B ₂₂	x	9	17	6	20	48	0,5	24,5	Argila
	B ₃	x	7	19	7	21	46	0,6	12,5	Argila
Charrua	A _D	x	14	15	9	20	42	0,7	18,5	Argila
Erexim	A _D	0	10	21	5	10	54	0,28	10,5	Argila
	A ₁	0	12	21	5	13	49	0,37	12,5	Argila
	B ₁	0	8	13	4	5	70	0,13	10,5	Argila pesada
	B ₂₁	0	6	9	3	2	80	0,08	3,5	Argila pesada
	B ₂₂	0	5	5	0	8	82	0,10	3,5	Argila pesada

* x = presença do tipo de partícula, mas em valor inferior a 1%.

QUADRO 2. pH e cátions trocáveis (Tr) e extraíveis (Ext) nos horizontes dos solos Ciriaco, Charrua e Erexim, do município de Ibirubá

Solos	Horizontes	pH		Cátions trocáveis (Tr) ou extraíveis (Ext) em me/100 g							
		Água (1:1)	CaCl ₂ 1,0 N (1:20)	Ca++ Tr	Mg++ Tr	Na+ Tr	Mn++ Tr*	K+		Al+++	
								Ext	Tr	Ext	Tr
Ciriaco	A _p	5,8	5,6	10,0	3,0	0,04	0,01	2,10	0,76	0,33	0,05
	A ₁₂	5,4	5,0	7,2	2,4	0,05	0,03	0,49	0,08	0,83	0,05
	A ₃	5,4	5,0	6,2	1,8	0,05	0,03	0,41	0,08	0,50	0,05
	B ₁	5,5	5,2	6,0	2,3	0,04	0,01	0,39	0,06	0,50	0,03
	B ₂₁	5,6	5,6	6,9	3,7	0,05	0,01	0,33	0,08	0,44	0,03
	B ₂₂	5,4	5,7	9,4	4,8	0,07	0,01	0,41	0,10	0,66	0,05
	B ₃	5,4	5,7	9,5	5,1	0,07	0,01	0,41	0,10	0,66	0,05
Charrua	A _p	5,9	5,6	7,8	2,6	0,03	0,00	1,21	0,65	0,44	0,02
Erexim	A _p	4,3	4,3	0,5	1,2	0,02	0,19	0,20	0,11	4,60	4,30
	A ₁	4,5	4,4	1,1	1,3	0,01	0,17	0,14	0,03	3,50	3,22
	B ₁	4,7	4,4	2,0	1,2	0,02	0,02	0,09	0,03	3,94	2,50
	B ₂₁	4,9	4,5	1,7	1,6	0,01	0,01	0,14	0,02	4,28	2,22
	B ₂₂	4,9	4,5	0,9	1,4	0,01	0,01	0,19	0,03	5,17	2,72

* 0,1 me/100 g de Mn representam 21 ppm.

QUADRO 3. Relações catiónicas nos horizontes dos solos Ciriaco, Charrua e Erexim do município de Ibirubá

Solos	Horizontes	Soma de cátions trocáveis (S)	Capacidade (T) troca de cátions (me/100 g)		CTC pH 7		Saturação com cátions (V)		100 Al		Fósforo disponível	
			pH 7,0	CaCl ₂ N	CTC	CaCl ₂ N	pH 7,0	CaCl ₂ N	Al + S		(ppm)	% C*
Ciriaco	A _p	13,8	27,2	25,2	1,1	51	55	1	64,0	1,92		
	A ₁₂	9,6	22,5	19,0	1,1	43	51	1	17,0	1,40		
	A ₃	8,1	22,5	17,6	1,3	38	46	1	6,5	1,65		
	B ₁	8,4	19,0	15,6	1,2	44	54	1	1,5	1,47		
	B ₂₁	10,7	24,1	18,8	1,3	45	57	1	0,0	0,71		
	B ₂₂	14,4	26,4	24,6	1,1	55	59	1	0,0	0,71		
	B ₃	14,7	25,8	24,6	1,1	57	60	1	0,0	0,79		
Charrua	A _p	11,1	18,2	16,2	1,1	61	69	1	41,0	2,25		
Erexim	A _p	1,8	8,5	4,8	1,8	21	33	71	1,5	1,26		
	A ₁	2,4	8,4	5,5	1,5	29	43	57	0,5	1,03		
	B ₁	3,3	8,8	3,5	2,5	38	95	43	0,0	0,98		
	B ₂₁	3,3	8,5	3,8	2,2	39	90	40	0,0	0,78		
	B ₂₂	2,3	10,2	3,3	3,1	22	72	55	0,0	0,55		

* A determinação do carbono orgânico por combustão seca foi gentileza do Laboratório de Solos do Instituto Rio Grandense do Arroz.

primeiros e de 38 a 90% no segundo. Estes valores a diferentes pH são próximos nos solos Ciriaco e Charrua e muito mais elevados a CaCl₂ 1,0 N que a pH 7,0, no solo Erexim.

Os dados de capacidade de troca de cátions a pH 7,0 e CaCl₂ 1,0 N e a relação entre os mesmos são mostrados no Quadro 3, em que se observam duas populações distintas, sendo a primeira constituída pelos valores dos solos Ciriaco e Charrua, e a segunda, pelos do solo Erexim. Nos horizontes dos solos Ciriaco e Charrua a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 varia de 18,2 a 27,2 me/100 g e, a CaCl₂ 1,0 N, de 15,6 a 25,2 me/100 g, enquanto no solo Erexim a pH 7,0 observa-se uma variação de 8,4 a 10,2 me/100 g e de 3,3 a 5,5 me/100 g a CaCl₂ 1,0 N.

Os dados do solo Ciriaco, a pH 7,0, se enquadram nos 16 a 39 me/100 g obtidos pela DPFS (1967) para esta Unidade, mas para o Charrua estes autores obtiveram uma variação entre 20,4 a 45,8 me/100 g, que são valores mais altos que os de 18,2 a 27,2 me/100 g obtidos neste estudo. Quanto ao solo Erexim, a DPFS (1967)

obteve valores mas altos nos horizontes superficiais, ao contrário dos que se obteve neste trabalho. Esta diferença deve estar ligada à maior diferenciação textural no perfil em estudo, que tem mais baixa percentagem de argila e de matéria orgânica que as Unidades de mapeamento Erexim caracterizadas pela DPFS (1967).

No solo Erexim nota-se uma grande variação entre a capacidade de troca a pH 7,0 e a CaCl₂ 1,0 N, ficando a última entre a metade e a terça parte da primeira. Esta diferença deve estar relacionada aos tipos de argilas, pois, segundo Coleman e Thomas (1967), as argilas 1:1 têm grande capacidade de troca dependente de pH.

A relação entre o pH do solo à diluição 1:1 com água e a capacidade de troca de cátions a pH 7,0 é mostrada na Fig. 6. Esta figura mostra duas populações distintas, sendo uma relacionada aos altos valores de capacidade de troca de cátions dos solos Ciriaco e Charrua aos seus pH também relativamente altos e a segunda à capacidade de troca baixa do solo Erexim a seus pH baixos.

Segundo Coleman e Thomas (1967), os revestimentos de óxidos hidratados de alumínio e ferro, chamados "coatings", sobre as camadas de silicatos, são responsáveis pela maior parte das trocas dependentes do pH. Estes óxidos acompanham os argilo-minerais 1:1, que estão presentes em maior percentagem no solo Erexim.

Os horizontes superficiais dos solos Ciriaco e Charrua têm, respectivamente, 64,0 e 41,0 ppm de fósforo disponível, como é mostrado no Quadro 3. Estes valores podem ser considerados como um bom suprimento de fósforo, uma vez que as pesquisas do Laboratório de Solos da Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS revelaram uma percentagem de produção máxima para estes solos quando há um suprimento de 24 ppm de fósforo disponível, mas estes valores são mais elevados do que a média para estas Unidades.

O solo Erexim apresenta 1,5 ppm de fósforo disponível no horizonte superficial, deficiente para uma boa produção.

A percentagem de carbono orgânico, como era de se esperar, é mais elevada nos horizontes superficiais e diminui gradativamente para o subsolo (Quadro 3).

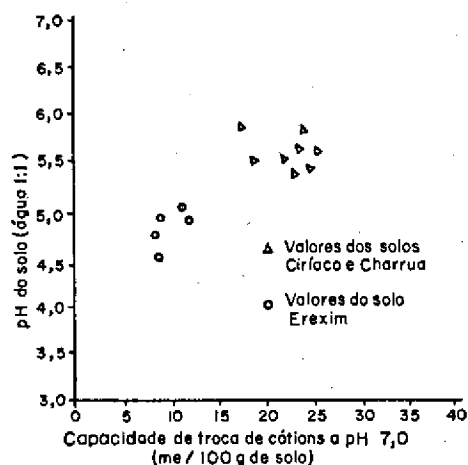


FIG. 6. Relação entre pH do solo e capacidade de troca de cátions a pH 7,0.

Análises mineralógicas

A concentração em óxidos livres de ferro nos horizontes dos solos Ciriaco e Charrua varia de 8 a 9% (Quadro 4), enquanto no Erexim o conteúdo cresce de 8% no horizonte A₁ para 11% no B_m.

Moniz e Jackson (1967) determinaram uma variação de 12 para 19% de Fe₂O₃ para a terra roxa estruturada e 14 a 24% para a terra roxa legítima e que esta percentagem tende a aumentar com a maior intemperização. O solo Erexim, com maior percentagem de Fe₂O₃, deve ter sofrido transformações mais intensas que o Ciriaco e Charrua.

Os argilo-minerais determinados da fração menor que 2 micra do solo Ciriaco mostram que esta fração consiste em aproximadamente 40% de argilas 2:1, 35% de argilas 1:1 e 20% de materiais amorfos (Quadro 4).

QUADRO 4. Concentração percentual de óxidos livres de ferro, vermiculita, montmorilonita, caulinita ± haloisita e materiais amorfos na fração menor que 2 micra de alguns horizontes dos solos Ciriaco, Charrua e Erexim

Solos	Horizontes	Fe ₂ O ₃ (%)	Vermiculita (%)	Montmorilonita (%)	Caulinita + haloisita (%)	Materiais amorfos (%)
Ciriaco	A _p	8	10	33	28	15
	B ₂₃	8	8	33	36	29
	B ₃	9	7	31	37	21
Charrua	A _p	8	6	17	49	19
Erexim	A ₁	8	4	13	53	24
	B ₂₂	11	4	10	57	24

Goedert (1967) utilizando análise térmico-diferencial, difração dos raios X e capacidade de troca de cátions, concluiu que ocorrem misturas de minerais de argila neste solo, com predominância de argilas do tipo 2:1, concordando com os dados obtidos.

No solo Charrua determinaram-se 49% de caulinita mais haloisita, 23% de vermiculita e montmorilonita e 19% de materiais amorfos. Estes valores não estão de acordo com os obtidos por Goedert (1967), que estudou outros pedons deste solo e concluiu ocorrerem nele misturas de argilo-minerais, mas com predominância de argilas do tipo 2:1. No solo em estudo, houve deposição de material erodido do solo Erexim, que se encontra em posição mais elevada na topossequência, explicando a diferença verificada.

A concentração de argilo-minerais na fração argila do solo Erexim mostra uma ampla predominância do tipo 1:1 e materiais amorfos sobre as argilas 2:1. Os resultados obtidos concordam com os de Goedert (1967) para esta Unidade de solo.

No solo Ciriaco, nota-se uma maior transformação de vermiculita e montmorilonita em caulinita + haloisita e materiais amorfos nos horizontes subsuperficiais do que nos superficiais, conforme é mostrado na Fig. 7. Como os fatores de intemperização geralmente atuam mais intensamente nos horizontes superficiais, estes deveriam apresentar-se mais intemperizados.

O solo Ciriaco, encontrando-se na declividade inferior duma elevação, pode ter sofrido erosão de material superficial e redeposição. A aparente descontinuidade textural referida na granulometria reforça esta suposição. Bennema *et al.* (1962) concluíram que nos Latossolos do Brasil Central é comum verificar-se a erosão e/ou redeposição das camadas superficiais dos solos. Isto pode ter ocorrido neste solo.

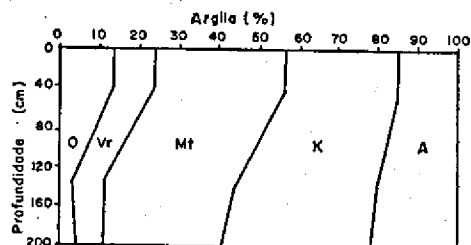


FIG. 7. Composição mineralógica da fração argila do solo Ciriaco; A = materiais amorfos; K = caulinita + haloisita; Mt = montmorilonita; Vr = vermiculita; O = outros, como feldspatos, micas, etc.

A alta percentagem de argilo-minerais do tipo 2:1 explica a alta capacidade de troca de cátions do solo Ciriaco, assim como a predominância de argilas 1:1 e materiais amorfos explicam a baixa capacidade de troca do solo Erexim e sua alta concentração de alumínio, como ainda a maior relação entre capacidade de troca total e efetiva.

O solo Charrua, tanto no comportamento físico como químico e mineralógico, apresenta dados intermediários ao Ciriaco e o Erexim.

Gênese dos solos

Com base nos dados das análises físicas, químicas e mineralógicas e nas observações a campo, tornou-se possível estabelecer as principais alterações ocorridas nos solos em estudo, como sendo:

- o solo Charrua e provavelmente o Ciriaco receberam adição de material erodido de solos situados acima, na topossequência;
- os perfis dos solos Ciriaco e Erexim mostram transferência de partículas argilosas dos horizontes eluviais e acumulação nos iluviais;
- alteração dos minerais primários (feldspatos, micas...) em argilas do tipo 2:1 (Vermiculita e Montmorilonita) e destas para argilas do tipo 1:1 (Caulinita e Haloisita) e finalmente para materiais amorfos.

Segundo Jackson (1964), as transformações mineralógicas dos silicatos são regidas por seqüências gerais já bem conhecidas. Como os solos em estudo encontram-se em fase muito adiantada de transformação, utilizaram-se na Fig. 8 apenas as etapas finais da seqüência de intemperização de Jackson e, utilizando a média dos dados das argilas de cada solo, construiu-se a curva de distribuição de freqüência das argilas, nas várias etapas de intemperização.

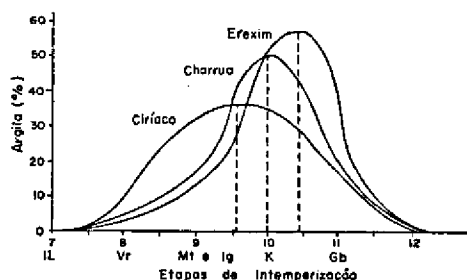


FIG. 8. Curvas de distribuição de freqüência das argilas nas várias etapas de intemperização: IL = illita; Mt = montmorilonita; K = caulinita e haloisita; Vr = vermiculita; Gb = gibbrite e materiais amorfos; Ig = minerais inter-estratificados. 2:1 e 2:2.

Como se pode ver, os três solos mostram curvas normais de distribuição de argilas, representando a evolução genética dos mesmos. O solo Ciriaco encontra-se entre as etapas 9 e 10, o Charrua na etapa 10 e o Erexim entre as etapas 10 e 11, de intemperismo. A seqüência de intemperização destes solos parece ser: Ciriaco < Charrua < Erexim.

Os solos Ciriaco e Charrua encontram-se em novo ciclo de desenvolvimento da paisagem, oriundo do trabalho de dissecação da mesma pela erosão geológica. Nas condições de relevo fortemente ondulado em que se encontram, a erosão do material solo formado é grandemente facilitada, não permitindo o seu acúmulo em grandes espessuras. O ambiente, por isso, não foi próprio para uma maior intemperização destes solos.

O solo Charrua estudado apresenta uma etapa de intemperização provavelmente mais adiantada que o geral desta Unidade, devido à mistura de material mais intemperizado situado acima na topossequência.

No solo Erexim, encontrado em paisagem mais estável e devido a ter sido mais longo o tempo geomorfológico de atuação das forças de intemperização, o material sofreu fortes alterações, com uma elevada concentração em caulinita, óxidos hidratados e material amorfo.

Classificação dos solos

Pelas características morfológicas, físicas, químicas e mineralógicas, e utilizando o Sistema Compreensivo Americano-Sétima Aproximação (Soil Survey Staff 1960), classificaram-se os solos em estudo, conforme é mostrado no Quadro 5.

O solo Ciriaco apresenta aumento apenas gradual de argila em seus horizontes, mas satisfaz aos requisitos exigidos para ser classificado como horizonte diagnóstico "argílico".

O solo Erexim cumpre os requisitos para horizonte diagnóstico "óxic", mas a presença de manchas de ceroidade fraca, aumento da percentagem de argila do horizonte A para o B e a pequena concentração de argilas do tipo 2:1 colocam este solo numa situação de transição para "Ultisol". Esta situação de transição foi causa de classificá-lo provisoriamente no subgrupo "Ultic", embora este subgrupo não seja mencionado na última publicação do Sistema Compreensivo Americano de Classificação dos solos. Como existe uma tendência por parte dos cientistas de solo do Brasil em sugerir o subgrupo "Allic" onde ocorre elevada concentração de Al^{+++} trocável, este solo também poderia ser situado neste sub-

QUADRO 5. Classificação dos solos Ciriaco, Charrua e Erexim, de acordo com o Sistema Compreensivo Americano *

N.º da descrição	Nome do solo	Epipedon	Horizonte diagnóstico	Ordem	Subordem	Grande grupo	Subgrupo
1	Ciriaco	"Mollic"	"Argílico"	"Mollisol"	"Udoll"	"Argiudoll"	"Typic"
2	Charrua	"Mollic"	(Não tem)	"Mollisol"	"Udoll"	"Hapludoll"	"Lithic ou Typic"
3	Erexim	"Ochric"	"Óxic"	"Oxisol"	"Orthox"	"Haploorthox"	"Ultic ou Allic"

* Foram empregadas as denominações originais por não haver tradução oficial.

grupo. Faltaria especificar os limites de Al^{+++} trocável para um solo ser classificado no subgrupo "Allic". O nível a partir do qual este elemento passa a ser tóxico à maioria das plantas seria o mais indicado.

Segundo o Sistema de Thorp e Smith (1949), os solos Ciriaco, Charrua e Erexim são classificados, respectivamente, como "Reddish Prairie", "Lithosol" e "Latosol".

CONCLUSÕES

As propriedades e distribuição dos solos no município de Ibirubá estão estreitamente ligadas aos processos de formação, que modificaram e estão modificando a paisagem.

Esta relação solo - paisagem parece ocorrer em diferentes áreas do Planalto Riograndense e é semelhante às descritas para outras regiões do Brasil.

Pelos processos que atuaram na formação dos solos Ciriaco e Charrua, é possível que algumas de suas propriedades sejam variáveis de local para local numa região e certamente entre regiões.

O solo Erexim estudado recebeu, em sua formação, influência de material arenoso oriundo de outro material e não da intemperização das rochas eruptivas básicas subjacentes, apresentando algumas características diversas das Unidades caracterizadas na região do Alto Uruguai e Nordeste do Estado, parecendo ser menos intemperizado.

O solo Erexim cumpre todos os requisitos da Ordem "Oxisol", mas apresenta características secundárias de "Ultisol", principalmente quanto ao aumento da concentração em argila do horizonte A para o B.

Estudos mais completos da mineralogia dos solos Ciriaco, Charrua e Erexim, e em pedons de outras situações geomórficas, poderão permitir melhor entendimento das variações destes solos e explicar melhor as aparentes descontinuidades litológicas observadas.

Levantamentos mais detalhados permitirão melhor entendimento das variações da Unidade de solo Erexim e, se fôr o caso, separá-las em Unidades diversas.

A mineralogia dos solos estudados está relacionada à experiência dos agricultores, pois devido à elevada concentração em argilas do tipo 1:1 e materiais amorfo, o solo Erexim apresenta baixas reservas em elementos nutritivos para as plantas e baixa capacidade de produção em processos empíricos de cultivo. Porém, pelo seu relevo favorável e sua alta capacidade de troca de cátions dependente do pH, em processos de cultivo avançado com uso de corretivos, fertilizantes e adequadas práticas de manejo, deverá apresentar alta capacidade de produzir.

REFERÊNCIAS

- Alexiades, C.A. & Jackson, M.L. 1966. Quantitative clay mineralogical analysis of soil sediments. Clays and clay minerals. Pergamon Press, New York, p. 35-52.
- Allison, L.E., Bollen, W.B. & Moodie, C. 1965. Total carbon, p. 1353-1361. In Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Ser. Agron. 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Bennema, J., Camargo, M. & Wright, A.C.S. 1962. Regional contrast in South American soil formation, in relation to soil classification and soil fertility. Trans. Joint Meet. Comm. IV and V int. Soil Sci., New Zealand, p. 493-506.
- Bhumbla, D.R. & McLean, E. 1965. Aluminum in soils. VI. Changes in pH dependent acidity, cation-exchange capacity, and extractable aluminum with additions of lime to acid surface soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29:370-374.
- Chapman, H.D. 1965. Cation exchange capacity, p. 891-900. In Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Ser. Agron. 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Coleman, N.T. & Thomas, G.W. 1967. The basic chemistry of soil acidity, p. 1-34. In Pearson, R.W. & Adams, F. (ed.) Soil acidity and liming. Ser. Agron. 12, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Day, P.R. 1965. Particle fractionation and particle-size analysis, p. 545-567. In Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Ser. Agron. 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo 1967. Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul, Primeira etapa, Planalto Riograndense. Pesq. agropec. bras. 2:71-209.
- Escola de Geologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul 1966. Geology of the state of Rio Grande do Sul, Brazil. Publ. esp. 1, Esc. Geol., Gráfica Univ. fed. R.G. do Sul, Porto Alegre. 22 p.
- Goedert, W.J. 1967. Contribuição ao estudo das argilas dos solos do Rio Grande do Sul. Pesq. agropec. bras. 2:245-258.
- Helling, C.S., Chesters, G. & Corey, R.B. 1964. Contribution of organic matter and clay to soil cation-exchange capacity as affected by the pH of saturating solution. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28:517-520.
- Jackson, M.L. 1958a. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York, p. 82-110.
- Jackson, M.L. 1958b. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New York, p. 294-307.
- Jackson, M.L. 1964. Chemical composition of soils, p. 71-134. In Bear, F.E. (ed.) Chemistry of the soils. 2.^a ed. Reinold, New York.
- Jackson, M.L. 1965. Chemical analysis. Advanced course. Univ. Wis., Madison, USA, p. 30-166.
- Kamprath, E.J. 1967. Acidez do solo e calagem. Boln téc. 4, International soil testing (trad.), Washington, D.C. 23 p.
- Kellogg, C.E. 1962. The place of the laboratory soil classification and interpretation. U.S. Dep. Agric., Soil Conserv. Serv. Washington, D.C. 21 p.
- Krishna, M.G.S.R., Volk, V.V. & Jackson, M.L. 1966. Colorimetric determination of iron of mixed valency by ortho-phenanthroline. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 30:663-664.
- Kunze, G.W. 1965. Pretreatment for mineralogical analysis, p. 568-577. In Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Ser. Agron. 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- McLean, E.O. 1965. Aluminum, p. 978-997. In Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Ser. Agron. 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Menegotto, E., Sartori, P.L. & Maciel Filho, C.L. 1968. Nova sequência sedimentar sobre a Serra Geral do Rio Grande do Sul. Publ. esp. 1, Seção Geol. Univ. fed. Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul. 19 p.
- Moniz, A.C. & Jackson, M.L. 1967. Quantitative mineralogical analysis of Brazilian soils derived from basic and slate. Wisconsin Soil Sci. Rep. 212. 74 p.
- Olsen, S.R. & Dean, L.A. 1965. Phosphorus, p. 1035-1049. In Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Ser. Agron. 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Peech, M. 1965. Method for soil pH in water, p. 922-923. In Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Ser. Agron. 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Pratt, P.F. 1965. Potassium, p. 922-923. In Black, C.A. (ed.) Methods of soil analysis. Ser. Agron. 9, Am. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Pratt, P.F. & Alvahydo, R. 1966. Características da permuta de cátions de alguns solos do Estado de São Paulo. Pesq. agropec. bras. 1:401-406.
- Sociedade Brasileira de Ciências do Solo 1964. Manual de Métodos de trabalho de campo. Centrais, Pelotas, p. 1-31.
- Soil Survey Staff 1960. Soil classification, a comprehensive system. 7th approximation, U.S. Dep. Agric., Washington, D.C. 265 p.
- Thorp, I. & Smith, G.D. 1949. Higher categories of soil classification: order, suborder and great soil groups. Soil Sci. 67:117-126.

ABSTRACT.- Klamt, E. & Beatty, M.T. 1972. *Genesis of a soil sequence in the Middle Plateau Region (Planalto Médio) of the State of Rio Grande do Sul*. *Pesq. agropec. bras., Sér. Agron.*, 7:99-109. (Fac. Agron. Vet. Univ. Fed. Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brazil)

A toposequense of important soils of the middle plateau region of Rio Grande do Sul were studied with reference to their morphological, geomorphological, chemical and mineralogical properties in order to obtain information concerning their genesis, classification, and agricultural capability.

The soils of the plateau are derived from basic igneous rocks as well as from deposits of sandy material, whereas the soils of the back slope and footslopes are derived from the underlying basalt, having also received material eroded from the deeply weathered soils of the undulating uplands.

In spite of their steep gradients and stoniness, the soils of the slopes are preferred by farmers because they have clay minerals which have undergone fewer transformations and hence have greater fertility. Although the soils of the older surfaces present undulating relief, they are highly weathered and quite acid, with low reserves of plant nutrients.

ADENDO

PERFIL 1. Dados morfológicos

Unidade. EREXIM.

Localização. Município de Ibirubá, na Estrada Linha Dois, a 3 km da faixa Ibirubá-Santa Bárbara.

Situação. Trincheira no topo de uma elevação com 15% de declividade, com apenas 2% no local. As ondulações apresentam orientação nordeste-sudeste.

Relêvo. Ondulado.

Material de origem. Rochas eruptivas básicas e areia.

Cobertura vegetal. Cultura de milho.

Drenagem. Bem drenado.

- | | |
|-----------------|--|
| A _p | 0 — 15 cm; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/3, úmido); bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/3, úmido amassado); franco-argiloso; fraca, muito pequena granular, poroso com poros muito pequenos; muito friável; plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes abundantes. |
| A ₁ | 15 — 45 cm; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido amassado); argila; fraca, pequena granular e fraca a moderada e média blocos subangulares; poroso, com poros pequenos; muito friável; plástico e pegajoso; transição clara e ondulada; raízes abundantes. |
| B ₁ | 45 — 65 cm; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado (2,5 YR 3/4, úmido amassado); argila; fraca, média, blocos subangulares e fraca pequena e média granular; poroso, com poros pequenos; muito friável; plástico e pegajoso; transição difusa e plana; raízes abundantes. |
| B ₂₁ | 65 — 90 cm; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido amassado); argila; fraca, pequena e média blocos subangulares; poucos poros, com poros pequenos; friável; plástico e pegajoso; cerosidade pouca e fraca em manchas nas superfícies dos torrões; transição difusa e plana; raízes abundantes. |
| B ₂₂ | 90 — 170 cm; vermelho-escuro (2,5 YR 3/5, úmido); vermelho-escuro (2,5 YR 3/5, úmido amassado); argila; fraca, média e grandes blocos subangulares; pouco poroso, com poros pequenos, cerosidade pouca e fraca em manchas nas superfícies dos torrões; friável; plástico e pegajoso; transição difusa e plana; raízes escassas. |

PERFIL 2. Dados morfológicos

Unidade. CHARRUA.*Localização.* Na Estrada Linha Dois, a 2,3 km do Rio Jacuí-Mirim.*Situação.* Corte de estrada na meia encosta numa elevação com 20% de declividade.*Relêvo.* Forte ondulado a montanhoso.*Material de origem.* Rochas eruptivas básicas (basalto).*Cobertura vegetal.* Cultura consorciada de milho e soja.*Drenagem.* Bem drenado.

- A_p 0 – 40 cm; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/3, úmido); bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/3, úmido amassado); argila; fraca pequena e média granular e pequena a média blocos subangulares; poroso com poros pequenos; friável; plástico e pegajoso; transição clara e plana; raízes abundantes; presença de partículas médias de rochas intemperizadas.
- IIA₁ 40 – 70 cm; bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/2, úmido); bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/3, úmido amassado); franco-argiloso; com até 60% do volume ocupado por rochas intemperizadas que vão aumentando de tamanho à medida que o perfil se aprofunda; fraca, pequena e média granular; poroso, com poros pequenos; plástico e ligeiramente pegajoso; raízes bastantes.
- R 70 cm; constituído por rochas em intemperização.

PERFIL 3. Dados morfológicos

Unidade. CIRÍACO.*Localização.* Na Estrada Linha Dois, a 2 km do Rio Jacuí-Mirim.*Situação.* Corte de estrada na declividade inferior numa elevação com declives de 20 a 30%, onde ocorre o solo Charrua; no local a declividade é de 8%.*Relêvo.* Forte ondulado.*Material de origem.* Rochas eruptivas básicas (basalto).*Cobertura vegetal.* Cultura consorciada de milho e soja.*Drenagem.* Moderadamente drenado.

- A_p 0 – 27 cm; bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/2, úmido); bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/2, úmido amassado); fraca, pequena granular; poroso, com poros pequenos; muito friável; ligeiramente plástico e não pegajoso; transição clara e plana; raízes abundantes.
- A_{1a} 27 – 53 cm; bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/2, úmido); bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/3, úmido amassado); franco-argiloso; fraca, pequena, granular e blocos subangulares; poroso, com poros pequenos; friável, ligeiramente plástico e não pegajoso; transição clara e plana; raízes abundantes.
- A₂ 53 – 68 cm; bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/2, úmido); bruno-avermelhado escuro (5 YR 3/3, úmido amassado); franco-argiloso; fraca, pequena e média, blocos subangulares; poroso, com poros pequenos; friável; ligeiramente plástico e não pegajoso; transição clara e plana; raízes abundantes.
- B₁ 68 – 85 cm; vermelho pardo (2,5 YR 3/2, úmido); vermelho pardo (2,5 YR 3/2, úmido amassado); franco-argiloso; moderada, média blocos subangulares; poroso, com poros pequenos e médios; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana; raízes bastantes.

- B₂₁ 85 — 112 cm; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido amassado); argila; forte, média e grandes blocos subangulares; cerosidade pouca e fraca; pouco poroso, com poros pequenos e médios; firme; plástico e pegajoso; transição gradual e plana; raízes escassas.
- B₂₂ 112 — 146 cm; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido amassado); argila; forte, média e grandes blocos subangulares; cerosidade comum e moderada; pouco poroso, com poros pequenos e médios; muito firme; plástico e pegajoso; transição gradual e plana; raízes escassas.
- B₀ 146 cm +; bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido); bruno-avermelhado escuro (2,5 YR 3/4, úmido amassado); argila; forte, média e grandes blocos subangulares; cerosidade comum e moderada; muito firme; plástico e pegajoso; transição gradual e plana; raízes escassas.

Observações. Nos horizontes B₁, B₂₁, B₂₂ ocorrem concreções, possivelmente de ferro.