

A aplicação de adubos em cobertura em estádios tardios da cultura fez com que a planta produzisse grãos mais pesados e/ou mais panículas úteis, mas esses efeitos não compensaram o menor número de grãos por panícula produzidos nas épocas correspondentes.

O sorgo parece ter aproveitado tanto o nitrogênio como o fósforo e o potássio aplicados em cobertura, pois não houve diferença significativa da produção em função das fórmulas utilizadas.

### LITERATURA CITADA

- INSTITUTO AGRONÔMICO - Tabelas de adubação e calagem. Campinas, Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1977. 198p. (Boletim 209)
- LANE, H.C. & WALKER, H.J. - Mineral accumulation and distribution in grain sorghum. Texas Agr. Exp. Sta. 1961. 9p. (MP-533)
- MALAYOLA, E. - Manual de química agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. S.Paulo. Ed. Agron. Ceres, 1976. 528p.
- MATSUSHIMA, S. - Crop science in rice. Tokio, Fuji Publis. Co. Ltd., 1970. 379p.
- MATSUSHIMA, S. & TANAKA, T. - Theory of plant growth. In: MATSUBAYASHI, M. *et alii*, ed. - Theory and practice of growing rice. Tokio, Fuji Publis. Co., Ltd., 1967. p.77-90.

- MUZILLI, O.; LANTMANN, A.F.; PALHANO, J.B.; OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A.; CHAVES, J.D.C. & ZOCOLER, D.C. - Análise de solos: interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná. Londrina, IAPAR, 1978. 49p. (Circular n.º 9)
- OLIVEIRA, L.B. & OLIVEIRA, H.F. - Relação entre a precipitação pluviométrica e as perdas de minerais solúveis por lixiviação. I. Lixiviação do potássio em laboratório. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 15, Campinas, 1975. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.89-94.
- RAO, D.V. & REDDY, K.S. - Studies on time and rate of application of nitrogen in sorghum. Sorghum Newsletter, 17: 23-24, 1974.
- ROSOLEM, C.A.; MACHADO, J.R.; NAKAGAWA, J.; MALAVOLTA, E. & DANTAS, J.P. - Respostas do sorgo granífero (*Sorghum* sp.) a N, P e K, em Latossolo Vermelho-Escuro - fase arenosa. In: Jornada Científica do Campus de Botucatu, VII, Botucatu, 1977. Anais. Botucatu, Associação dos Docentes do Campus de Botucatu (No prelo)
- THOMAS, G.W. - Soil and climatic factors which affect nutrient mobility. In: ENGELSTAD, O.P., ed. Nutrient mobility in soils: accumulation and losses. Madison, Soil Sci. Soc. Amer., Inc., 1970. p.1-20.
- TUCKER, B.B. & BENNETT, N.F. - Fertilizer use on grain sorghum. In: NELSON, L.B., ed. - Changing patterns in fertilizer use. Madison, Soil Sci. Soc. Amer., Inc. 1968. p.189-220.
- VANDERLIP, R.L. & REEVES, H.E. - Growth stages of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Agron. J., 61: 13-16, 1972.

## COMISSÃO V - GÊNESE, MORFOLOGIA E CLASSIFICAÇÃO DO SOLO

### COMPARAÇÃO DE HÚMUS DE UM SOLONTCHAK, UM RENDZINA E UM SOLO LITÓLICO DA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO RIO GRANDE DO NORTE (1)

B. VOLKOFF (2) & C.C. CERRI (3)

### RESUMO

Comparou-se o húmus de um solo litólico eutrófico, um Solontchak e um Rendzina, por meio da determinação dos seus teores relativos em ácidos fúlvicos e húmicos, das diversas formas de humina (herdada, de precipitação, residual), da mobilidade eletroforética e do índice  $E_4/E_6$  dos ácidos húmicos.

A montmorilonita ou o carbonato de cálcio, quando presentes, condicionam o tipo de húmus, pois a primeira favorece a polimerização das pequenas moléculas orgânicas em substâncias húmicas altamente condensadas, enquanto o carbonato de cálcio bloqueia a evolução das substâncias húmicas novas.

Na ausência de montmorilonita e carbonato de cálcio, mas sob boa drenagem e aeração, o húmus é pouco condensado, pouco estabilizado e tem características de um húmus jovem, sendo, portanto, facilmente destruído por pequenas alterações do meio.

(1) Trabalho realizado no Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Piracicaba (SP), com auxílio financeiro da FAPESP. Recebido para publicação em agosto e aprovado em dezembro de 1979.

(2) Pesquisador da ORSTOM, França, e Instituto de Geociências da USP, São Paulo.

(3) Pesquisador do CENA, Piracicaba (SP).

ORSTOM Fonds Documentaire

Nº 29483, ex 1

Cote B

ni. 8102. 10-56, 1980

## SUMMARY: HUMUS COMPARATION OF A SOLONTCHAK, A RENDZINA AND A LITHOLIC SOIL FROM SEMI-ARID REGION OF RIO GRANDE DO NORTE

The relative amounts of fulvic and humic acids, the types of humin (inherited, precipitated, residual), the humic acids eletrophoretic mobility and  $E_4/E_6$  ratio, were compared in a litholic eutrophic soil, a solontchak and a rendzina.

Either the montmorillonite or the calcium carbonate has conditioned the humus nature, because the montmorillonite favours the polymerization of the small organic molecules in humic substances highly condensed, and the calcium carbonate blocks the new humic substances evolution.

When the montmorillonite and calcium carbonate are absent, but under good drainage and aeration, the humus is less condensed, less stabilized and has characteristics of a young humus that can be easily destroyed by any small alteration of the environment.

## INTRODUÇÃO

Nas regiões tropicais semi-áridas, a escassa vegetação fornece pouco material a ser transformado em húmus, e também o clima quente acelera bastante a mineralização da matéria orgânica: por isso, os solos são geralmente pobres em húmus, e portanto este tem sido pouco estudado.

O conhecimento do húmus, porém, é de fundamental importância, especialmente em clima tropical semi-árido, quando se pensa em conservação de solos. O húmus, mesmo em pequenas quantidades, condiciona o comportamento físico do solo: interfere nos regimes hídricos, favorecendo a penetração e a armazenagem de água no subsolo, e aumenta a resistência à erosão tanto hídrica como eólica. Isto justifica plenamente o seu estudo.

No Brasil a semi-aridez caracteriza uma faixa importante do Nordeste, desde o médio rio São Francisco, na Bahia, até o oceano Atlântico, abrangendo a quase totalidade dos Estados do Ceará, Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Nessas áreas, a temperatura média anual é elevada (acima de  $25^{\circ}$ ) e a pluviosidade média inferior a 1.000mm, com sete a oito meses secos por ano (Nimer, 1977). A aridez está sempre associada a uma vegetação espinhosa que varia de fisionomia de acordo com o grau daquela. A caatinga é geralmente arbustiva e densa, mas, nas regiões mais secas, ela se torna rala e aberta (caatinga hiperxerófila). O embasamento é o substrato de maior expressão geográfica: nele os mapas de solos indicam a existência de um mosaico com alguns latossolos, que constituem restos de antiga cobertura pedológica, solos podzólicos, solos bruno-eutróficos e, sobretudo, solos litólicos eutróficos. São ainda encontrados *Rendzinas* sobre rochas calcárias e *Solontchaks* em sedimentos quaternários.

Neste trabalho procurou-se caracterizar o húmus, a partir do estudo comparado de alguns perfis de situações representativas do meio semi-árido: solo litólico sob vegetação de caatinga hiperxerófila, solos marcados pela influência de sal (*Solontchak*) ou do carbonato de cálcio (*Rendzina*).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Os solos

Utilizando-se os mapas de solos (Brasil, 1971), coletou-se, em três áreas previamente selecionadas e em locais não cultivados, um *Solontchak-solonetzico*, um *Rendzina* e um solo litólico. Os dois primeiros encontram-se na região de Mossoró e, o terceiro, no Seridó, a sudeste de Caicó, no Estado do Rio Grande do Norte (Figura 1).

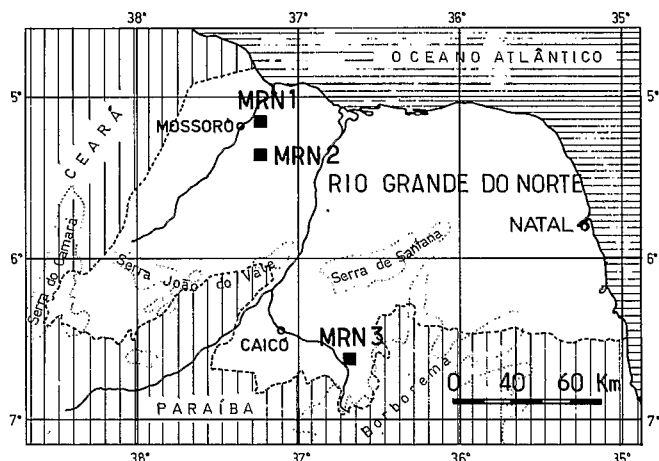


Figura 1. Mapa de localização dos perfis estudados (MRN 1, MRN 2 e MRN 3)

O *Solontchak-solonetzico* (perfil MRN 1) está localizada a 12km de Mossoró, na estrada Mossoró-Areia Branca, numa baixada relacionada com um vale de 300-400m de largura, a alguns metros apenas de altitude e, devido a essa situação, é provável que periodicamente tenha sido submetido à ação das águas do mar. O solo se desenvolve sobre sedimentos argilosos quaternários. A vegetação é constituída de gramíneas, mas há grandes áreas de solo totalmente descoberto. Na superfície, observam-se traços de fissuração hexagonal.

O perfil apresenta um horizonte A de 10cm de espessura de cor cinza muito escura, textura argilosa, formando uma pasta fluida quando molhada. Abaixo do A, com transição distinta, há um horizonte AB de 10cm de espessura, de cor cinza-marrom, textura argilosa, estrutura de tendência prismática. Logo depois, encontra-se o material originário, que é uma argila cinza-escuro, de estrutura poliédrica média e medianamente desenvolvida, com mosqueamento fino e nítido, bruno-escuro, a partir de 40cm de profundidade. O lençol freático (água salgada) foi observado a 70cm.

Trata-se, portanto, de um solo pouco espesso, com apenas um horizonte A diferenciado. O material de origem, essencialmente argiloso, é constituído de caulinita, illita e esmectita (Figura 2). As propriedades de expansão da esmectita desaparecem na argila saturada com lítio e aqueci-

**Quadro 1. Características granulométricas e químicas: arg. = argila; sf = silte; C = carbono orgânico; N = nitrogênio total (a análise granulométrica é feita no solo seco ao ar, eliminando os sais solúveis para MRN1 e os carbonatos, para MRN 2)**

Horizonte	Profundidade cm	arg.	sf	arcia	C	N	CO <sub>3</sub> Ca	pH		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
								H <sub>2</sub> O	KCl	Total	Livre
%											
<b>PERFIL MRN 1 (Solontchack)</b>											
A	0-10	39	17	38	7,1	0,65	0,5	7,3	6,5	4,9	1,2
AB	10-20	42	17	35	7,7	0,54	0,6	7,2	6,8	5,0	1,1
C1	25-35	39	15	39	6,3	0,42	0,5	7,1	6,4	4,7	1,0
C2g	50-60	63	9	20	6,8	0,49	0,7	7,4	7,0	6,3	1,6
<b>PERFIL MRN 2 (Rendzina)</b>											
A11	0-10	21	1	40	18,5	1,16	30,4	7,2	6,8	3,9	2,2
A12	10-20	21	1	39	12,3	0,99	32,0	7,2	7,2	4,6	2,9
AC	20-30	19	4	34	8,0	0,72	38,5	7,1	7,0	4,0	2,4
Clca	35-45	18	-	25	3,6	0,34	64,5	7,9	7,0	2,1	0,3
C2ca	60-70	16	1	3	1,3	-	81,0	7,8	6,8	1,4	0,1
<b>PERFIL MRN 3 (Solo litólico)</b>											
A	0-10	15	1	81	15,6	1,21	0,8	7,2	6,4	2,2	1,0
A	10-20	17	1	80	8,5	0,65	-	7,0	6,0	3,0	1,5
AB	20-30	19	2	77	6,5	0,43	-	7,0	5,2	3,5	1,9
(B)	35-45	19	5	74	3,3	-	-	7,0	4,8	4,3	2,0
C	60-70	14	8	77	1,3	-	-	7,0	4,7	4,9	2,0

da a 300°C (teste de Hofmann-Klemen); de acordo com Robert & Tessier (1974), é, pois, uma montmorilonita.

As características analíticas principais estão apresentadas nos quadros 1, 2 e 3. Evidencia-se que o solo é rico em sais solúveis, principalmente em cloretos. O pH próximo de 7, como também os valores da relação de adsorção de sódio (RAS) determinados no extrato 1:10, indicam que não há alcalinização (ou sodificação); o solo é apenas salino, apesar de sua morfologia, que seria a de um solo intermediário entre um *Solontchak* e um *Solonetz*, por causa da transição distinta entre A e AB da estrutura prismática do B (Brasil, 1971). No presente trabalho este solo será chamado simplesmente *solontchak*.

O *Rendzina* (perfil MRN 2) está localizado a 20km a leste de Mossoró, ao longo da estrada Mossoró-Natal, numa

área de relevo plano ou suavemente ondulado. O substrato geológico é o calcário da formação jandaíra pertencente ao cretáceo. A altitude é aproximadamente de 50m (50-100m). A vegetação é a caatinga hiperxerófila. No local do perfil, o declive é inferior a 1%. Na superfície do solo encontram-se pedras de calcário branco duro e alguns seixos subangulosos de quartzo.

O perfil esquemático é o seguinte:

A - 0-20cm, bruno (10YR 3/3), argilo-siltoso; estrutura grumosa a poliédrica subangular, bem desenvolvida. Cascalho de calcário duro e nódulos arredondados de calcário friável. A terra fina apresenta forte efervescência com ácido a frio.

AC - 20-30cm, horizonte de transição.

**Quadro 2. Características físico-químicas: composição do extrato com CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> M a pH 7; ΣC = soma dos cátions; ΣA = soma dos ânions; T = capacidade de troca catiônica determinada com Ca<sup>2+</sup> a pH 7; V = 100 (ΣC - ΣA)/T**

Horizonte	Troca e dissolução por CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> M a pH 7,0										
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	ΣC	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	ΣA	ΣC - ΣA	T	V
meq/100g de solo											
%											
<b>PERFIL MRN 1 (Solontchack)</b>											
A	30,0	7,5	0,45	9,8	47,8	10,5	8,0	18,5	29,3	28,1	100
AB	28,5	11,5	1,08	23,1	64,2	18,3	13,0	31,3	32,9	28,7	100
C1	26,5	17,5	1,10	38,5	83,6	37,5	9,8	47,3	36,3	29,6	100
C2g	25,0	19,0	1,25	41,25	86,5	38,8	4,3	43,1	43,4	34,4	100
<b>PERFIL MRN 2 (Rendzina)</b>											
A11	137,5	5,0	2,03	0,8	145,3	0,1	0,5	0,5	144,8	15,3	100
A12	140,0	5,0	1,25	0,7	147,0	tr	0,2	0,2	146,8	15,0	100
AC	165,0	12,5	0,80	0,8	179,1	-	0,1	0,1	179,0	12,7	100
Clca	186,0	11,0	0,58	0,93	198,5	-	0,2	0,2	198,3	11,4	100
C2ca	192,0	10,0	0,28	0,97	203,3	-	0,1	0,1	203,2	13,8	100
<b>PERFIL MRN 3 (Solo litólico)</b>											
A	6,1	3,0	0,23	0,03	9,4	tr	0,5	0,5	8,9	10,0	89
A	2,5	2,5	0,15	0,03	5,2	tr	0,5	0,5	4,7	5,5	85
AB	2,5	2,5	0,10	0,03	5,1	tr	0,5	0,5	4,6	6,0	77
(B)	2,5	2,5	0,07	0,07	5,1	tr	0,5	0,5	4,6	7,5	62
C	5,0	4,9	0,07	0,43	10,4	tr	0,3	0,3	10,1	10,8	94

C - 30-70cm, calcário branco, muito friável. A partir de 50cm o material friável é misturado com blocos de calcário duro.

O teor em carbonato de cálcio é de 30% no A, 80% na base do perfil (quadro 1). O pH é de 7 no A, de aproximadamente 8 no C. A argila presente é do tipo illita (Figura 2).

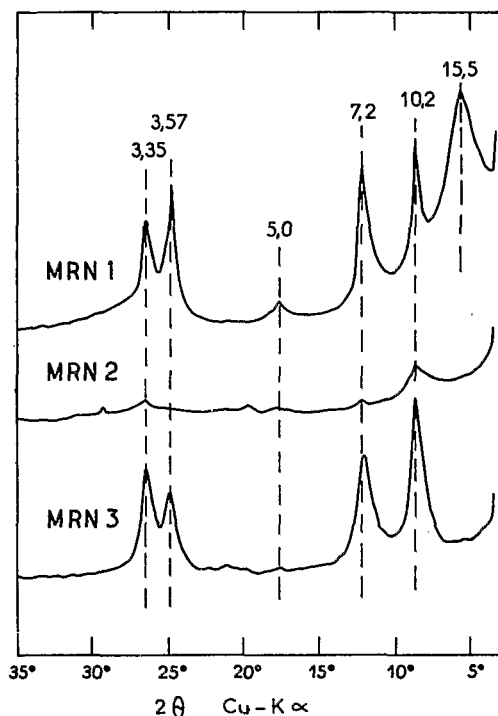


Figura 2. Difrátogramas de raios X da fração argila saturada com magnésio, orientada e seca ao ar: MRN 1, amostra de horizonte C2g do Solontchak; MRN 2, amostra de horizonte A12 do Rendzina; MRN 3, amostra do horizonte AB do solo litólico

O solo litólico (perfil MRN 3) foi coletado na região de Caicó, entre as cidades de Parelhas e Jardim Seridó, a 10km de Parelhas, numa planície de 200-300m de altitude cercada ao sul e a sudeste pelo planalto da Borborema. A topografia é suavemente ondulada e o substrato é o embasamento cristalino (gnaisse e migmatito), que aflora freqüentemente. No local do perfil, o declive é de 1-2%. Na superfície do solo há muitas pedras, principalmente de quartzo. A vegetação é uma caatinga arbustiva clara, hiperxerófila.

O perfil apresenta um horizonte A bruno, cascalhento e arenoso de 20cm de espessura; uma transição AB de 15cm

também cascalhenta e arenosa, de cor mais clara, e um horizonte B incipiente, bruno, areno-argiloso de aproximadamente 15cm de espessura. O horizonte B é bastante poroso, com estrutura poliédrica pouco desenvolvida. A 50cm de profundidade encontra-se a rocha alterada, com todos os minerais bem visíveis. A textura é areno-argilosa, o pH aproximadamente 7 em todo o perfil e, o complexo sortivo, quase saturado (Quadro 2). A fração argilosa é uma mistura de caulinita e illita (Figura 2). Do ponto de vista pedogenético, corresponde a um estágio pouco evoluído de um solo fersialítico eutrófico empobrecido em argila (França, C.P.C.S., 1967).

Em resumo, os três solos selecionados apresentam horizontes A de reação neutra e complexo sortivo saturado. Um é argiloso, com montmorilonita e sais solúveis; outro é essencialmente caracterizado pela presença de carbonatos de cálcio; o terceiro, enfim, é apenas areno-argiloso, sendo a sua argila uma mistura de caulinita e illita.

#### Métodos de estudo da matéria orgânica

O carbono orgânico total foi determinado diretamente em amostras do solo por oxidação sulfocrômica em meio sulfúrico, com eliminação dos cloretos quando necessário.

O húmus foi estudado na terra fina (fração inferior a 2mm) pelo método de Dabin (1971), tendo sido fracionado em matéria orgânica leve, parte hidrossolúvel, ácidos fúlvicos livres (solubilizados pelo ácido fosfórico), ácidos húmicos e fúlvicos solubilizados pelo pirofosfato de sódio, ácidos húmicos e fúlvicos solubilizados pela soda e humina. Cada fração é quantitativamente definida por seu teor em carbono, obtido por oxidação sulfocrômica do extrato.

Os ácidos húmicos foram fracionados por eletroforese conforme a técnica proposta por Duchaufour & Jacquín (1963): eletroforese em bandas de papel, solução salina  $\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{NaOH}$  tamponada a pH 7,4, diferença de potencial correspondente a 10 volt/cm, tempo suficiente para conseguir uma migração de 10cm aproximadamente.

Os ácidos húmicos foram comparados entre si por métodos espectrométricos. Foram determinadas as absorções a 465 e 665nm de soluções de ácidos húmicos de aproximadamente 10mg de carbono por 100ml e a pH 8 (Kononova, 1975 e Volkoff & Cerri, 1978). O índice  $E_{465}/E_{665}$  é a relação das absorbâncias a 465 e 665nm.

A humina foi fracionada em três partes (Perraud, Kha & Jacquín, 1971 e Volkoff, 1977): humina de precipitação solubilizada pela soda depois de um pré-tratamento ácido a quente; humina herdada, que é a parte leve do resíduo separada por densimetria; humina residual, que corresponde ao resíduo totalmente insolúvel e de densidade elevada ( $d > 1,4$ ).

## RESULTADOS

### Distribuição da matéria orgânica total nos perfis

No *Solontchak* (perfil MRN 1), os teores de matéria orgânica total permanecem iguais, em

Quadro 3. Composição e características do extrato com água (extrato 1/10):  $\lambda$  = condutividade;  $\Sigma C$  = soma dos cátions;  $\Sigma A$  = soma dos ânions; RAS = relação de adsorção de sódio

Horizonte	Extrato 1/10												
	pH	mmho	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{K}^+$	$\text{Na}^+$	$\Sigma C$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{CH}_3\text{H}^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\Sigma A$	RAS
	meq/100g de solo												
	PERFIL MRN 1 ( <i>Solontchak</i> )												
A	6,9	1,83	5,85	2,10	—	9,40	17,35	10,40	6,4	0,50	—	17,30	4,71
AB	7,0	3,11	6,25	2,75	—	20,30	29,30	18,15	11,50	0,40	—	30,05	9,57
Cl	6,9	4,67	6,95	4,75	0,25	32,40	45,35	37,50	8,50	0,40	—	46,40	13,81
C2g	7,2	4,36	3,25	3,65	0,30	33,50	40,70	38,50	3,00	0,60	—	42,10	18,04
	PERFIL MRN 2 ( <i>Rendzina</i> )												
A11	7,4	0,10	0,95	0,17	—	0,20	1,32	0,07	0,40	0,90	—	1,37	0,27
A12	7,7	0,10	0,90	0,05	—	0,02	1,97	—	0,40	0,88	—	0,92	0,03
AC	7,7	0,09	0,80	0,05	—	0,01	0,86	—	0,03	0,79	—	0,82	0,02
Clca	7,8	0,09	0,88	0,05	—	0,02	0,95	—	0,15	0,80	—	0,95	0,03
C2ca	7,5	0,07	0,60	0,05	—	0,02	0,67	—	—	0,70	—	0,70	0,04

volta de 1% (0,5 a 0,7% de carbono orgânico), em todos os horizontes (Figura 3).

No *Rendzina* (perfil MRN 2), há uma diminuição gradual da matéria orgânica, desde a superfície até o horizonte de profundidade. Os teores passam de 3,5% (2% de carbono) no horizonte A11 a menos de 0,5% no horizonte C a 40cm de profundidade.

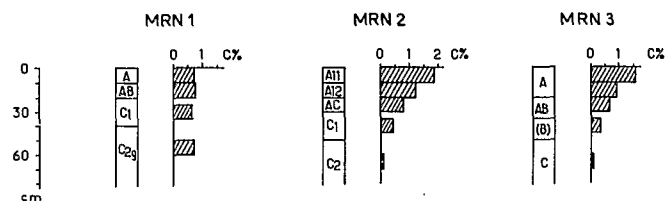


Figura 3. Distribuição do carbono orgânico total nos horizontes do Solontchak (MRN 1), do Rendzina (MRN 2) e do solo litólico (MRN 3)

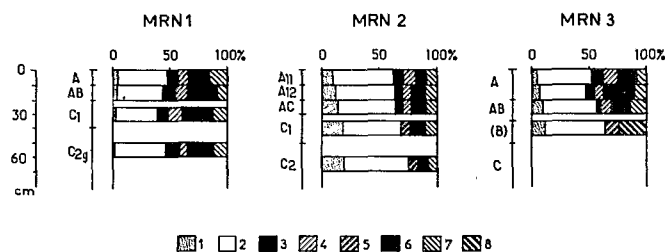


Figura 4. Distribuição dos teores em carbono das frações do húmus nos horizontes sucessivos do Solontchak (MRN 1), do Rendzina (MRN 2) e do solo litólico (MRN 3): (1) ácidos fúlvicos livres; (2) humina; (3) ácidos húmicos extraídos pela soda; (4) ácidos fúlvicos extraídos pela soda; (5) ácidos húmicos e fúlvicos extraídos pela soda, não separados; (6) ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato de sódio; (7) ácidos fúlvicos extraídos pelo pirofosfato de sódio; (8) ácidos húmicos e fúlvicos extraídos pelo pirofosfato de sódio, não separados.

No solo litólico (perfil MRN 3), nota-se também uma diminuição gradual a partir da camada superficial mais rica do horizonte A.

#### Matéria orgânica não humidificada (matéria orgânica leve)

No *Solontchak* não há matéria orgânica leve; todo o carbono orgânico encontra-se na forma de húmus.

No *Rendzina* como no solo litólico, há muito pouca matéria orgânica leve; ela representa menos de 5% do carbono total do horizonte A do *Rendzina* e menos de 3% do carbono total do horizonte A do solo litólico.

#### Distribuição e composição do húmus

*Húmus do Solontchak* - Pequenas quantidades de hidrossolúveis (menos de 4% do carbono total) e traços de ácidos fúlvicos livres foram encontrados apenas no horizonte A (Figura 4). O húmus é constituído principalmente de substâncias alcalino-solúveis (frações solúveis no pirofosfato de sódio e na soda), que representam mais de 50% do carbono do solo, sendo que a maior parte é de ácidos húmicos. Nesses extratos, a relação do carbono dos ácidos húmicos/

carbono dos ácidos fúlvicos oscila entre 1 e 2. Por outro lado, observa-se que os ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato são duas a três vezes mais abundantes que aqueles extraídos pela soda. Não há variações importantes no perfil, apenas pequena diminuição das proporções de ácidos húmicos-pirofosfato e, paralelamente, um aumento dos ácidos fúlvicos-pirofosfato no horizonte A. A humina (parte do húmus não diretamente extraível) aparece sempre em proporções pequenas (menos de 40% do carbono do solo).

Em resumo, o húmus do *Solontchak* apresenta a mesma composição ao longo do perfil: é pobre em humina e rico em frações alcalino-solúveis, notadamente em ácidos húmicos-pirofosfato.

*Húmus do Rendzina* - Aproximadamente 10-15% do carbono total está em forma de ácidos fúlvicos livres (10% na parte superior do perfil, 15% na parte inferior); há muito pouco hidrossolúveis (menos de 0,5 do carbono total). As frações alcalino-solúveis representam 35% do carbono total. Há um pouco mais de ácidos húmicos-pirofosfato do que ácidos húmicos-soda, e a relação ácidos húmicos/ácidos fúlvicos é de 0,8-1,0. As proporções de humina são elevadas: mais da metade do carbono orgânico do solo está na forma de humina.

No perfil as variações são mínimas, notando-se apenas um aumento pequeno e gradativo dos ácidos fúlvicos livres em profundidade e, ao mesmo tempo, um empobrecimento relativo em frações alcalino-solúveis. Há também uma diminuição na proporção das frações extraíveis pela soda.

Em resumo, no *Rendzina*, o húmus é rico em humina e pobre em ácidos húmicos. Além disso, nota-se ainda a presença de ácidos fúlvicos livres.

*Húmus do solo litólico* - Há poucas frações hidrossolúveis (menos de 1% de carbono total) e pequenas proporções de ácidos fúlvicos livres (5% do carbono total na superfície, 10% em profundidade). As frações alcalino-solúveis representam 50% do carbono total no horizonte A, 35-40% em profundidade. Há mais ácidos húmicos do que ácidos fúlvicos no A, menos em profundidade. Por outro lado, os ácidos húmicos-pirofosfato são sempre mais abundantes que os ácidos húmicos-soda. A proporção de ácidos húmicos-pirofosfato varia no perfil de acordo com os horizontes, sendo a parte inferior do horizonte A a mais rica. A humina representa 40-50% do carbono orgânico do solo.

Em resumo, o húmus do solo litólico varia de composição de um horizonte para outro. O A é rico em frações alcalino-solúveis, em ácidos húmicos-pirofosfato sobretudo, e é ainda bastante rico em humina. Há pequenas quantidades de ácidos fúlvicos livres.

Ao comparar os três perfis, constata-se que a composição do húmus varia de acordo com o tipo de solo: o do *Solontchak* é pobre em humina, sem ácidos fúlvicos livres, mas com

bastante ácidos húmicos. O do *Rendzina* é rico em humina e contém pequenas quantidades de ácidos fúlvicos livres e ácidos húmicos. O do solo litólico é, do ponto de vista da riqueza em humina, intermediário entre o *Solontchak* e o *Rendzina*; tem muito poucos ácidos fúlvicos livres, mas é rico, pelo menos no horizonte A, em ácidos húmicos.

**Fracionamento dos ácidos húmicos por eletroforese em papel**

O fracionamento dos ácidos húmicos por eletroforese é geralmente muito pequeno, pois a maior parte deles não migra no campo elétrico. O aspecto comum dos eletroforegramas é o apresentado na figura 5, exemplos MRN 1 e MRN 3. A separação nítida em duas frações foi apenas observada em uma amostra (exemplo MRN 2 da mesma figura).

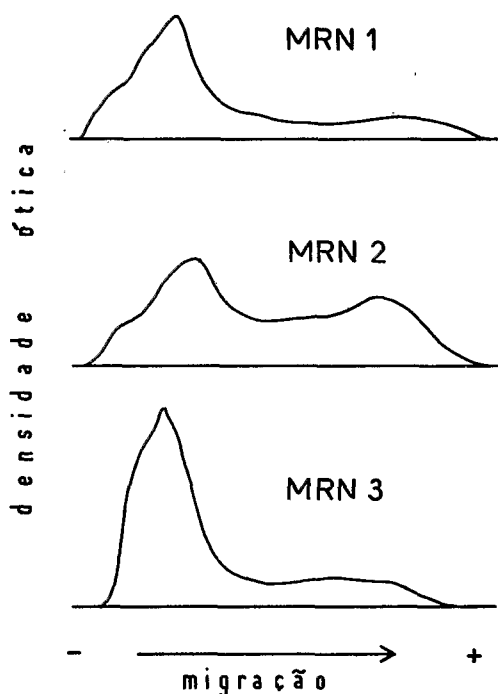


Figura 5. Curvas de densidade óptica dos ácidos húmicos separados por eletroforese; ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato de sódio na camada 0-10cm do *Solontchak* (MRN 1), do *Rendzina* (MRN 2) e do solo litólico (MRN 3).

Em todos os solos, qualquer que seja o horizonte ou o tipo de ácido húmico (extraído pelo pirofosfato ou pela soda), há sempre forte predominância dos ácidos húmicos imóveis. Para os ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato de sódio, as proporções são de 70-80%. Notam-se apenas proporções menores no horizonte 0-10cm do perfil MRN 1 (*Solontchak*) e principalmente no horizonte 0-10cm do perfil MRN 2 (*Rendzina*).

A mobilidade eletroforética está relacionada com o tamanho das moléculas, movimentando-se as grandes menos que as pequenas. A proporção importante de ácidos húmicos imóveis na eletroforese é, portanto, uma indicação de que os ácidos húmicos apresentam cadeia

grande. Comparando-se os três solos, constata-se que as diferenças são pequenas. Isso significa que nos três o grau de polimerização dos ácidos húmicos é semelhante, apenas os ácidos húmicos do horizonte superficial do *rendzina* apresentariam um grau de polimerização inferior.

Tais interpretações, baseadas na eletroforese, devem ser confirmadas por outros métodos porque a mobilidade dos ácidos húmicos depende também dos cátions metálicos e dos minerais associados (Dabin & Thomann, 1970 e Dorado, Polo & Del Rio, 1972) e não é uma função exclusiva do tamanho.

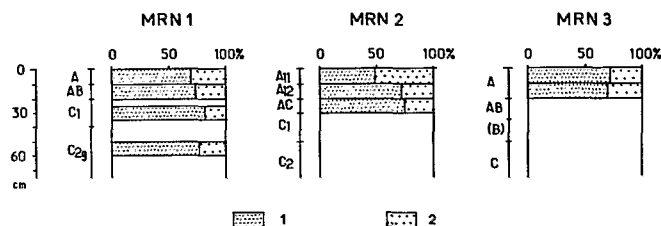


Figura 6. Variação das proporções relativas de ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato de sódio e separados por eletroforese nos horizontes do *Solontchak* (MRN 1), do *Rendzina* (MRN 2) e do solo litólico (MRN 3): (1) ácidos húmicos imóveis; (2) ácidos húmicos móveis.

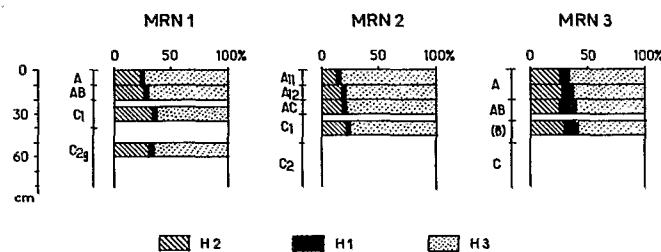


Figura 7. Distribuição dos teores em carbono das frações da humina total nos horizontes sucessivos do *Solontchak* (MRN 1), do *Rendzina* (MRN 2) e do solo litólico (MRN 3): (H1) humina herdada; (H2) humina de precipitação; (H3) humina residual.

**Densidade óptica dos ácidos húmicos**

Como se pode notar, os valores do índice  $E_4/E_6$  dos ácidos húmicos variam de um perfil para outro (Quadro 4). No *Solontchak* (MRN 1) a relação  $E_4/E_6$  dos ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato é da ordem de 4,5; há um pequeno aumento do horizonte A para o horizonte C<sub>2</sub>. No *Rendzina* (MRN 2), nos mesmos ácidos,  $E_4/E_6$  é mais elevado e atinge 5,5; nesse perfil há uma diminuição da relação em profundidade. No solo litólico (MRN 3) o índice é pouco acima de 5.

Nota-se também que os ácidos húmicos-soda e os ácidos húmicos-pirofosfato são bastante diferentes no *Solontchak* e no *Rendzina*, pelo menos no horizonte A, único analisado; o mesmo não ocorre no solo litólico, onde os dois tipos de ácidos húmicos apresentam um mesmo índice dentro de um mesmo horizonte.

O índice  $E_4/E_6$  está relacionado com o tamanho dos edifícios húmicos: quanto menor for o índice, maior é o tamanho dos ácidos húmicos (Chen; Cenesi & Schnitzer, 1977). Isso torna possí-

**Quadro 4. Relação das densidades ópticas a 465 e 665 mm (relação  $E_4/E_6$ ) em extratos de ácidos húmicos dos sucessivos horizontes dos três solos: ác. húm. pirof. = ácidos húmicos extraídos pelo pirofosfato de sódio; ác. húm. soda = ácidos húmicos extraídos pela soda**

	Perfil MRN 1				Perfil MRN 2			Perfil MRN 3	
	A	AB	Cl	C2g	A11	A12	AC	A	
Profundidade (cm)	0 - 10	10 - 20	25 - 35	50 - 60	0 - 10	10 - 20	20 - 30	0 - 10	10 - 20
$E_4/E_6$ ác. húm. pirof.	4,3	4,5	4,5	4,6	5,5	5,4	5,1	5,2	5,1
$E_4/E_6$ ác. húm. soda	3,4	-	-	-	4,4	-	-	5,0	-

(-, não determinado)

vel uma classificação pelo tamanho, portanto, pelo grau de polimerização, que completa as informações obtidas com a eletroforese. Assim, pelo índice  $E_4/E_6$  pode-se dizer que os ácidos húmicos-pirofosfato do horizonte superficial do *Rendzina* e do solo litólico são os que apresentam os menores graus de polimerização; o mais alto grau de polimerização é observado nos ácidos húmicos do *Solontchak*.

### Composição da humina

A humina dos solos em geral é constituída por dois tipos de compostos (Duchaufour, 1973): produtos de transformação de materiais vegetais lentamente degradados e produtos de precipitação e insolubilização das pequenas moléculas orgânicas formadas no decorrer da decomposição da matéria vegetal fresca. Os produtos de transformação, na maior parte, são provenientes da lignina e dão origem à humina herdada ( $H_1$ ). Os produtos de precipitação são divididos em duas frações, uma solubilizável depois do pré-tratamento ácido a quente, que corresponde à humina de insolubilização ( $H_2$ ), e outra, totalmente insolúvel, que é a humina residual ( $H_3$ ).

O constituinte principal da humina dos três solos é a humina residual ( $H_3$ ), que representa sempre mais do que 50% do carbono da humina, até 80% como no *Rendzina*. A segunda fração importante é a humina de insolubilização ( $H_2$ ): representa 30% do carbono da humina no *Solontchak*, como também no solo litólico, e 20% no *Rendzina*. A humina herdada ( $H_1$  não atinge valores significativos, nem no *Solontchak* nem no *Rendzina*, sendo encontrada em pequenas quantidades apenas no solo litólico (Figura 7).

As proporções relativas de  $H_1$ ,  $H_2$  e  $H_3$  variam no *Solontchak*, mas permanecem iguais em todos os horizontes dos outros dois solos.

Ao comparar os três solos, constata-se que a humina do *Rendzina* é constituída quase que exclusivamente de compostos insolúveis (humina residual), enquanto a humina do *Solontchak* e, sobretudo, a do solo litólico, comportam uma parte importante do seu carbono em forma extraível.

### DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

No *Solontchak* o húmus está homoganeamente distribuído ao longo do perfil: é constituído, na sua maior parte, de substâncias facil-

mente extraíveis por reativos alcalino-solúveis, notadamente ácidos húmicos altamente polimerizados, e de pequena parte de humina, cujo fracionamento mostrou uma predominância da humina de precipitação sobre as demais.

No *Rendzina*, o húmus está concentrado na parte superior do perfil. Ao contrário do que acontece no *Solontchak*, esse húmus é pobre em substâncias alcalino-solúveis e rico em humina. Também as proporções das várias subfrações são diferentes: na parte extraível os ácidos húmicos são pouco polimerizados, sendo encontrados ácidos fúlvicos livres (que não existem no *Solontchak*; a humina é quase na totalidade residual.

Nos solos litólicos, a exemplo do que ocorre no *Solontchak*, a fração ácidos húmicos é a mais expressiva, e a humina é constituída de uma parte importante de humina de precipitação, mas, como no *Rendzina*, o húmus concentra-se na superfície e os ácidos húmicos são pouco ou moderadamente polimerizados.

O húmus, portanto, tem características específicas de acordo com o tipo de solo. As particularidades de cada solo se relacionam com sua própria dinâmica.

No *Solontchak*, é difícil pensar que a cobertura vegetal, muito escassa, seja a única fonte de carbono para o solo. Há, provavelmente, importante contribuição dos elementos orgânicos trazidos em solução ou em suspensão pelas águas que periodicamente o inundam. As substâncias orgânicas assim trazidas penetram no solo, onde são retidas pelas argilas montmoriloníticas e, após fixadas, transformam-se em ácidos húmicos fortemente polimerizados e em compostos totalmente insolúveis do tipo humina residual. Essas transformações se processam graças à ação catalítica da argila montmorilonítica, dos íons cálcio presentes no meio e das alternâncias de umectações e dessecações. A salinidade, quando acompanhada de alcalinização, pode aumentar a mobilidade do húmus e diminuir-lhe o grau de polimerização (Kiryushin & Lebedeva, 1975), mas isso não ocorre no *Solontchak* de Mossoró, porque não há alcalinização. Dessa forma, a distribuição homogênea do húmus no perfil, que poderia ser a indicação de forte mobilidade, é, na realidade, conseqüência de um modo particular de fornecimento do carbono ao solo. O tipo de húmus no *Solontchak* é, portanto, determinado pelo meio cálcico e pela argila montmorilonítica.

Considerando a presença de ácidos fúlvicos livres e ácidos húmicos pouco polimerizados, pode-se dizer que o húmus do *Rendzina* é pouco evoluído. Referindo-se, porém, somente às proporções de humina residual, o húmus desse solo apresenta-se, ao contrário, bastante evoluído. A humina residual pode ser explicada pela ação do cálcio que, quando em excesso, favorece a formação rápida de complexos totalmente insolúveis (Duchaufour, 1973). Ao mesmo tempo, o cálcio, sob forma de carbonato de cálcio, bloqueia, por coprecipitação, a evolução de outras substâncias húmicas formadas, que permanecem assim pouco polimerizadas (Chouliaras; Vedy & Jacquin, 1975). Nesse caso, o tipo de húmus é diretamente determinado pelo carbonato de cálcio.

No solo litólico, a saturação em bases, a reação neutra, o meio bem drenado, não muito argiloso, portanto bem oxigenado, favorecem a formação de um complexo argilo-húmico que não leva a uma forte condensação das frações orgânicas envolvidas (Duchaufour, 1973). Por seu lado, o clima, com longas estações secas, deveria provocar um amadurecimento por polimerização e policondensação das frações (Duchaufour, 1973), mas tal evolução não é observada e, globalmente, nesse solo, o húmus permanece moderadamente polimerizado sem sofrer estabilização.

Este trabalho confirma, portanto, fatos já conhecidos em outros solos, como a fixação das substâncias húmicas pelas argilas montmoriloníticas e a ação específica do calcário sobre a dinâmica do húmus. O húmus dos solos litólicos, não calcários, sem, ou com pouca argila montmorilonítica, apresenta-se, ao contrário do que se poderia esperar, como pouco estabilizado. Nessas condições, os solos litólicos que têm grande expressão geográfica na região semi-árida do Nordeste brasileiro, devem ser bastante sensíveis às alterações do equilíbrio biológico. A proteção do estoque húmico pode ser assim um elemento importante nos programas de conservação dos solos dessa região.

## LITERATURA CITADA

- BRASIL. Divisão de Pesquisas Pedológicas - Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado do Rio Grande do Norte. Ministério da Agricultura, Recife, 1971. 531p. (Boletim Técnico n.º 21)
- CHEN, Y.; SENESI, N. & SCHNITZER, M. - Information provided on humic substances by E<sub>4</sub>/E<sub>6</sub> ratio. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 352-358, 1977.
- CHOULIARAS, N.; VEDY, J.C. & JACQUIN, F. - Fractionnement et caractérisation de la matière organique dans les rendzines. *Bulletin de l'Ecole Nationale Supérieure D'Agronomie et des Industries Alimentaires de Nancy, França*, 17(1): 65-74, 1975.
- DABIN, B. - Étude d'une méthode de fractionnement des matières humiques du sol. *Science du Sol*, 1: 47-63, 1971.
- DABIN, B. & THOMANN, C. - Étude comparative de deux méthodes de fractionnement des composés humiques (méthodes Tiurin et méthode électrophorétique). *ORS-TOM*, 1970. 66p. (Serie Initiations-documentations Techniques n.º 16)
- DORADO, E.; POLO, A. & DEL RIO, J. - Caracterización de los ácidos húmicos por electroforesis y gel filtración. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 21 (9-10): 693-718, 1972.
- DUCHAUFUR, Ph. - Action des cations sur les processus d'humification. *Science du Sol*, 3: 151-161, 1973.
- DUCHAUFUR, Ph. & JACQUIN, F. - Recherches d'une méthode d'extraction et de fractionnement des composés humiques contrôlée par l'électrophorese. *Ann. Agron.* 14(6): 885-918, 1963.
- FRANÇA, C.P.C.S. - Classification des sols. Laboratoire de géologie-pédologie de l'E.N.S.A. de Grignon, França, 1967. 96p.
- KIRYUSHIN, V.I. & LEBEDEVA, I.N. - Effect of salinity and solonchicity on the composition of humus and some properties of humic acids in Kazakhstan chernozems. *Soviet Soil Sci.*, 7(2): 204-214, 1975.
- KONONOVA, M.M. - Humus of virgin and cultivated soils. In: GIESEKING, J.E. (ed.) *Soil Components*, vol. 1, Organic Components, Springer-Verlag, 1975. p.475-526.
- LOWE, L.E. & GODKIN, E.H. - Properties of humic acid fractions in forest humus layers in British Columbia. *Can. J. Soil Sci.*, 55: 381-393, 1975.
- NIMER, E. - Clima. In: *Geografia do Brasil*, vol. 2, Região Nordeste. IBGE, Rio de Janeiro, 1977. p.47-84.
- PERRAUD, A.; KHA, N. & JACQUIN, F. - Essai de caractérisation de l'humine dans plusieurs types de sols. *Comptes Rendus Academie des Sciences, Paris*. 272 D: 1594-1597, 1971.
- ROBERT, M. & TESSIER, D. - Méthode de preparation des argiles des sols pour l'étude mineralogique. *Annales Agronomiques*, 25(6): 859-882, 1974.
- VOLKOFF, B. - La matière organique des sols ferrallitiques du Nordeste du Brésil. *Cahiers ORSTOM, série Pédologie*, 15(3): 61-75, 1977.
- VOLKOFF, B. & CERRI, C.C. - Quelques propriétés de l'humus d'un sol ferrallitique humifère sur granite du Paraná, Brésil, *Science du Sol*, 4: 269-280, 1978.