

O PROCESSO DE FORMAÇÃO DOS ESPODOSSOLOS E O TRANSPORTE DE FÓSFORO ASSOCIADO

Maria do Socorro B. Araújo

Carlos E. Schaefer

Everardo V. S.B. Sampaio

Resumo

O processo de formação dos Espodossolos ocorre pela iluviação de matéria orgânica e alumínio, com presença ou não de ferro. Durante o processo, fósforo pode ser transportado junto com a matéria orgânica e óxidos de alumínio e de ferro iluviados. Na maioria dos perfis de Espodossolos, verificados nos Levantamentos de Solos no Brasil, houve presença de P disponível em profundidade, em valores maiores que na superfície, indicando transporte deste elemento ao longo do perfil. A presença de fósforo em subsuperfície, em níveis maiores que em superfície, pode melhorar o indicativo de fertilidade desses solos, já que, devido a sua estrutura “solta”, as raízes das plantas podem penetrar mais profundamente e utilizar esse fósforo transportado.

Palavras-chaves: pedogênese, podzolização, fertilidade dos solos

Abstract

The formation of Spodosols occurs by illuviation of organic matter and aluminum, with or without Fe presence. Along this process, phosphorus may be transported together with the organic matter and illuviated aluminum and iron oxides. Most Spodosol profiles, described in Levantamentos de Solos no Brasil, had extractable phosphorus in larger quantities in deeper horizons than in surface ones, indicating transportation of this element along the profile. The presence of phosphorus in subsuperficial horizons, in quantities greater than in surface ones, can improve the fertility

evaluation of these soils, since due to their “loose” structure they can be easily penetrated by plant roots which could absorb this deeply accumulated phosphorus.

Keywords: pedogenesis, podzolization, soil fertility

Introdução

Os Espodosolos, em geral, são solos profundos, ácidos e pobres em nutrientes. Sua baixa fertilidade química é refletida na soma de cátions trocáveis, que raramente atinge níveis superiores a $1 \text{ cmolc} / \text{dm}^3$ (Oliveira et al., 1992) sendo, na maioria das vezes, caracterizados como solos álicos ou distróficos. O material de origem (quartzitos, arenitos ou sedimentos quartzosos) normalmente é muito pobre em argila, resultando num solo com uma textura arenosa ao longo do perfil (Oliveira et al., 1992). Portanto, a capacidade de retenção de cátions está condicionada à matéria orgânica, porque a argila desses solos em geral não ultrapassa 10% e é constituída de minerais de baixa atividade.

Os horizontes dos Espodosolos seguem, em geral, a seqüência A-E-Bh-C, sendo o horizonte Bh, B espódico, o horizonte diagnóstico desses solos. A cor deles é bem contrastante, com o horizonte espódico bastante escurecido pela presença de matéria orgânica, tornando-os facilmente identificáveis no campo.

Sua ocorrência no Brasil se dá nas baixadas litorâneas ao longo da costa leste, especialmente na Bahia, Sergipe e Alagoas e nas baixadas arenosas do Rio Grande do Sul, podendo também ser encontrados nos tabuleiros costeiros dos sedimentos da Formação Barreiras (Oliveira et al., 1992). Ocorrem ainda no extremo Noroeste do Estado do Amazonas e no Centro-Sul de Roraima, onde estão suas áreas mais extensas e expressivas (Embrapa, 1981). Quase todos são de textura arenosa e de extrema pobreza em nutrientes, tendo, portanto, as limitações inerentes a solos com essas características, ou seja, baixa fixação de fósforo, lixiviação acentuada de nitratos, elevada permeabilidade, ressecamento rápido, alta taxa de decomposição da matéria orgânica e virtual ausência de reservas em nutrientes (Embrapa, 2000). Na

paisagem, ocorrem em locais de relevo plano a suave ondulado, tanto nos Tabuleiros Costeiros como nas Baixadas Litorâneas (Embrapa, 2000). Quando são hidromórficos, têm problemas de drenagem e não são utilizados para agricultura.

No Nordeste, com uso intensivo de adubação, os Espodosolos dos tabuleiros costeiros são cultivados com cana-de-açúcar e, os das baixadas litorâneas, com cajueiros e mangabeiras, coco e culturas de subsistência, como mandioca e batata doce, podendo ainda ser utilizados no extrativismo com piaçava (Embrapa, 2000).

O desenvolvimento de Espodosolos se dá pela translocação da matéria orgânica e alumínio do horizonte A para o B, formando o horizonte espódico (Bh), podendo ocorrer também iluviação de ferro, formando o horizonte Bhs ou Bs (Resende et al., 1995; Embrapa, 1999), precedido do horizonte E álbico ou raramente em seqüência ao A (Oliveira et al., 1992). Na base dos horizontes espódicos é comum ocorrer uma cimentação por colóides orgânicos e alumínio, com ou sem ferro, formando uma camada extremamente dura, compacta e pouco permeável, denominada ortstein, que é representada pela letra “m”, indicando cimentação (Embrapa, 1999). Portanto, o horizonte espódico corresponde a um conjunto de horizontes, denominados Bh, Bs, Bhs, Bhm, Bsm ou Bshm (Oliveira et al., 1992). Normalmente, dois ou três tipos ocorrem no perfil, formando o pacote de horizonte B espódico. A camada impermeável (ortstein) que se forma na base do horizonte Bh, quando em profundidade muito pequena, limita a exploração desses solos, por apresentar impedimento à penetração de raízes e limitar a drenagem interna.

O fósforo, que nesses solos normalmente se apresenta pouco fixado devido à mineralogia, pode ser transportado para as camadas mais profundas. Como parte dele pode estar associada à matéria orgânica na forma de complexos e adsorvida na superfície dos óxidos de Fe e Al, quando estes são transportados durante a gênese dos Espodosolos, devem arrastar também o fósforo. Este processo levaria a um maior empobrecimento da camada superficial do solo, já tão depauperada em função do material de origem e do arraste de matéria orgânica para camadas mais profundas. No entanto, este fósforo pode não estar sendo perdido no perfil e sim

acumulando na camada orgânica que se forma em profundidade. Inexistem trabalhos relacionando fósforo no processo de translocação junto com a matéria orgânica e óxidos de Fe e Al no processo de formação dos Espodossolos.

Natureza da matéria orgânica

Como a matéria orgânica desempenha um papel preponderante na gênese de Espodossolos, torna-se necessário conhecer sua natureza química à medida que compostos orgânicos podem afetar a disponibilidade de nutrientes e influenciar propriedades físicas do solo, devido a sua capacidade de formar complexos organo-metálicos (Schnitzer & Skinner, 1962a ; 1962b; Schnitzer & Desjardins, 1962)

Existem estudos sobre a composição de matéria orgânica nesses solos, mas ainda é pouco conhecida a constituição química dos compostos orgânicos translocados do horizonte A para o B, na formação de Espodossolos. Provavelmente, essa matéria orgânica transportada é de natureza solúvel, principalmente ácidos fúlvicos (Schnitzer, 1970). Estudos feitos por Bettany et al. (1973) sobre a composição de pasto nativo e solos florestados sugerem que, em serapilheiras de florestas, taxas rápidas de decomposição resultam na produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (ácidos fúlvicos) que podem ser translocados para camadas do subsolo. Roberts et al.(1985) e Schoenau & Bettany (1987) notaram a presença de compostos orgânicos de baixo peso molecular com estreita relação C:N, C:S e C:P, em horizontes B.

É conhecido ocorrerem reações organo-metálicas durante o processo de formação dos Espodossolos, principalmente com óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Schnitzer & Skinner, 1962a; 1962b) nas condições normais do solo. Schnitzer & Skinner (1962a) observaram a formação de complexos solúveis em água entre a matéria orgânica do horizonte Ao e do horizonte Bh e metais como Fe^{+++} , Al^{+++} , Ca^{++} , Mg^{++} , Cu^{++} e Ni^{++} , em Espodossolos. Os complexos solúveis em água tinham proporções molares de matéria orgânica e o metal variando de 1:1 a 1:6, tornando-se menos solúvel à medida que mais metais eram complexados. A pH 3,0, ferro, alumínio e cobre formaram complexos 1:1 e, a pH 5,0, ferro, cobre e cálcio formaram

complexos 2:1. Também houve indicação de que ferro e alumínio formaram complexos 6:1, envolvendo um grupo carboxil (COOH) por átomo do metal. Não houve indicações da participação de grupos fenólicos nestas reações organo-metálicas.

As reações organo-metálicas no desenvolvimento de Espodossolos parecem ocorrer principalmente com óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (Schnitzer & Skinner, 1962b) e dependem da natureza e grupos funcionais envolvidos no processo (Wright & Schnitzer, 1959). Schnitzer & Skinner (1962b) citaram o processo de metilação dos grupos ácidos ativos reduzindo a absorção de ferro pela matéria orgânica e ressaltaram a importância do papel de grupos carboxil nas reações organo-metálicas.

Na matéria orgânica dos horizontes Ao e Bh, Wright & Schnitzer (1959) identificaram grupos funcionais contendo oxigênio: carboxil, hidroxil, hidroxil fenólico, carbonil e metoxil. Os compostos do horizonte A tinham mais C, H e N, e menos S e O do que os do B espódico. Os principais grupos da matéria orgânica desses dois horizontes foram carboxil, carbonil e hidroxil, que podem reagir com metais como ferro e alumínio. Por isso, a presença de grande número desses grupos, especialmente no horizonte B, oferece uma explicação parcial para a reatividade desse tipo de matéria orgânica com metais, durante a formação de Espodossolos. No horizonte B, todos os oxigênios presentes estavam nos grupos funcionais enquanto que no A, apenas 60% estavam.

Mobilização de fósforo

Na iluviação da matéria orgânica do horizonte A para o B, durante a formação de Espodossolos, sesquióxidos de ferro e de alumínio podem ser transportados conjuntamente (Schnitzer & Skinner, 1962a; 1962b). Em solos ácidos, o hexafosfato de inositol forma complexos solúveis com ferro e alumínio (Anderson et al., 1974a; 1974b) que poderão ser transportados em profundidade, levando o fósforo conjuntamente.

Frossard et al. (1989) estimaram a mobilidade de fósforo orgânico em relação a fósforo inorgânico, em três perfis de solo, utilizando cinética de diluição isotópica. Os solos estavam localizados em áreas com um gradiente de umidade: o primeiro estava numa área de semi-árido; o segundo, numa área de transição entre clima úmido e seco; e o terceiro, numa área de clima úmido. O resultado do experimento indicou que todos os compostos de fósforo orgânico estudados tiveram uma maior mobilidade do que os ânions fosfatos, particularmente no horizonte B e sugeriu a possibilidade desses compostos de fósforo orgânico serem lixiviados através do perfil desses solos. A diferenciação de mobilidade entre o fósforo orgânico e o inorgânico pode ser uma das razões pelas quais o fósforo poderia ser transportado para camadas mais profundas e, no caso, solos que contivessem maiores proporções de fósforo orgânico no horizonte A, seriam mais passíveis de acumular fósforo em profundidade.

Num trabalho sobre composição de matéria orgânica de pastos e florestas, Bettany et al. (1973) sugeriram que, em serapilheira de florestas, a rápida taxa de decomposição resulta na produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular (ácidos fúlvicos), que podem ser translocados para camadas mais profundas do solo. Estudos similares mostraram evidências da ocorrência de matéria orgânica de baixo peso molecular e estreita relação carbono:fósforo em subsolos (Schoenau & Bettany, 1987).

Na determinação da composição de matéria orgânica em horizontes espódicos, normalmente o que se analisa é o material do horizonte já após o processo de podzolização, e não fica claro se o fósforo que foi transportado era originalmente orgânico ou se era inorgânico e associou-se à matéria orgânica no horizonte B. Entretanto, a mobilidade do fósforo inorgânico dependerá da natureza da superfície mineral e dos óxidos cimentantes, porque ânions fosfatos são fortemente adsorvidos pelos constituintes minerais como argilas e sesquióxidos (Parfitt, 1978).

O objetivo desse trabalho foi comparar os valores de fósforo nos horizontes superficiais com os valores nos horizontes espódicos, de todos os perfis de Espodossolos encontrados nos levantamentos exploratórios disponíveis no Brasil,

para avaliar se está havendo transporte iluvial de fósforo. Foram utilizados os levantamentos exploratórios da Embrapa (pesquisados para todos os Estados); Radambrasil (pesquisados todos os volumes) e da IV RCC (Reunião de Correlação e Classificação de Solos, 1995). Foram encontrados perfis de Espodosolos nos Levantamentos da Embrapa (1962-Furnas-RJ; 1970-Médio Jequitinhonha-MG; 1975-Alagoas; 1975-Sergipe; e 1977-Bahia) e na IV RCC (1995). Foram selecionados perfis de Espodosolos em que constavam a análise de P disponível, que é o fósforo extraído por Mehlich 1, que chamaremos de P disponível. Além dos valores de fósforo disponível, também foram considerados os valores de alumínio, ferro e fósforo determinados pelo ataque sulfúrico.

Nos levantamentos consultados foram encontrados apenas onze perfis de Espodosolos (Quadro 1). Fósforo determinado pelo ataque sulfúrico não foi um bom indicador, porque, nos casos em que foi possível detectar, estava praticamente igual em todo o perfil. Neste caso, foi considerado o fósforo disponível para comparação entre os perfis.

Pôde-se verificar que em cinco deles existiu uma maior quantidade de fósforo disponível nos horizontes espódicos do que nos horizontes superficiais. Em outros quatro perfis, o fósforo estava em quantidades tão pequenas ao longo do perfil (em alguns casos nem foi possível determinar) que é possível que no início do desenvolvimento do solo esta quantidade já tenha sido limítrofe, não podendo mais ser transportada. Apenas dois dos perfis apresentaram quantidades de fósforo no horizonte superficial mais alta do que no horizonte espódico.

No caso em que fósforo foi maior em profundidade, sugere-se que tenha havido um carreamento de fósforo da superfície para camadas mais profundas do solo, paralelamente ao transporte da matéria orgânica ou um gradual acúmulo de P orgânico em profundidade, devido à decomposição *in situ*, de raízes de plantas (Syers & Walker, 1969).

Se se considerar que o fósforo em profundidade é proveniente da decomposição de raízes *in situ*, então, é possível que as diferenças entre os perfis (maiores concentrações em superfície ou em profundidade) sejam devido ao tipo de vegetação, variando na quantidade de biomassa de raízes em profundidade, e

também a uma diferença no pH do solo, que influenciaria numa decomposição química dessas raízes, uma vez que a atividade microbiana em profundidade é mínima.

Como os Espodossolos, em geral, possuem textura arenosa, a capacidade de retenção de fósforo nos horizontes superficiais deve ser muito baixa e o processo de transporte de fósforo provavelmente ocorreu por iluviação junto com a matéria orgânica, devido a ausência de mecanismos de retenção eficientes nesses solos (Syers & Walker, 1969). Entretanto, não se pode descartar uma contribuição das raízes decompondo-se *in situ*.

No caso em que fósforo foi menor em profundidade, deve-se levar em conta o tipo de matéria orgânica, em que a parte que foi hidrolisada e passível de ser transportada não continha ou continha muito poucos grupos com ligações fosfáticas. Os compostos orgânicos diferem muito na sua forma e no número de grupos de fosfatos reativos que eles possuem; alguns têm o potencial para movimento, particularmente mono-ésteres (Rolston et al., 1975) e fosfatos de inositol (Frossard et al., 1989). Tem que se levar em conta também que os solos em questão poderiam ainda estar no processo de translocação da matéria orgânica e com o tempo deveria haver mais fósforo em profundidade.

A metodologia utilizada, comparações do fósforo disponível como indicador do transporte, é outro fator que deve ser analisado. Pode ser que nem todo o fósforo disponível que foi iluviado junto com a matéria orgânica permaneça nessa forma no horizonte espódico. Aliás, o mais provável é que a maior parte desse fósforo esteja em formas pouco disponíveis, devido a que parte do material transportado, matéria orgânica e sesquióxidos de ferro e alumínio, precipita-se nos horizontes espódicos, devendo a maior parte do fósforo precipitar-se associada a esses materiais. A iluviação de matéria orgânica interrompe-se neste horizonte e apenas os sesquióxidos descem mais um pouco, formando uma camada logo abaixo, na base do Bh, o ortstein. Seria necessária uma metodologia mais adequada para quantificar o fósforo que provavelmente está sendo transportado. Uma determinação interessante seria a de fósforo orgânico nos horizontes espódicos, além de fósforo inorgânico associado a óxidos de ferro e de alumínio.

Nos horizontes espódicos de quase todos os perfis foi encontrado mais alumínio do que ferro determinados pelo ataque sulfúrico (Quadro 1). Não existiu nenhuma correlação entre os conteúdos de fósforo e os de ferro ou de alumínio neste perfis.

Considerando a falta de mecanismos de fixação de fósforo na camada superficial dos Espodossolos e o fato de terem sido encontrados níveis de fósforo mais alto em profundidade do que na superfície de alguns perfis desse solo, pode-se inferir que durante o seu desenvolvimento fósforo esteja sendo transportado para o horizonte espódico. Quanto a natureza do fósforo transportado, é provável que a maior parte seja iluviado associado a compostos orgânicos, isto é, fósforo de natureza orgânica, já que a iluviação da matéria orgânica é o principal processo na formação do Espodossolos, o que estaria de acordo com os trabalhos de Frossard et al. (1989), Bettany et al. (1973) e Schoenau & Bettany (1987), sobre a maior mobilidade do fósforo orgânico em relação aos ânions fosfatos.

Quadro 1. Fósforo disponível e alumínio (Al_2O_3), ferro (Fe_2O_3) e fósforo (P_2O_5), determinados pelo ataque sulfúrico, em 11 perfis de Espodossolos retirados de Levantamentos de Solos do Brasil.

horizon	P	Fe_2O_3	Al_2O_3	P_2O_5	fonte
	nm		%		
A	7	1.3	0.9		1- IV RCC*. 1995
Bh	25	0.9	4.0		
Bhq	21	1.6	7.2		
Cg	7	1.7	7.2		
Ap	25	0.2	1.0		2- IV RCC*. 1995
A12	17	0.1	0.9		
A2	2	0.2	2.3		
Bhir	2	0.8	6.2		
Bh	2	0.7	4.4		
2B2	1	2.0	16.2		
A1	< 1	-	0.1	0.01	
A21	-	-	0	0.01	
A22	-	-	0.1	0.01	
B21h	1	0.2	0.4	0.01	
B22hir	6	0.8	15.1	0.02	
A1	<1	0.3	0.6	0.02	4- Embrapa – BA.
A2	<1	0.1	0.2	0.01	
Bh	9.0	0.1	1.5	0.02	
A11	3	0.1	0.1	0.03	5- Embrapa – BA.
A12	2	0.1	0.1	0.02	

A21	1	0.1	0.1	0.01	
A22	1	0.1	0.1	0.02	
B1h	6	0.2	0.4	0.02	
B2h	9	0.2	0.6	0.02	
O1	-	0.1	0.5	0.03	6- Embrapa -
A11	-	0.1	0.5	0.03	
A12	-	0.4	0.9	0.02	
A2	-	0.2	0.6	0.02	
Bh	-	0.2	0.5	0.02	
Bir	-	1.7	0.6	0.01	
A1	-	0.1	0.4	0.01	7- Embrapa -
A2	-	0.1	0.1	0.01	
Bh	-	0.2	1.7	0.01	
Bm	-	0.3	6.2	0.01	
A1	1	0.4	4.8	0.01	8- Embrapa -
A2	1	0.6	7.0	0.01	
A3	<1	1.2	12.3	0.01	
B1h	<1	0.9	24.3	0.02	
B21x	<1	1.4	26.3	0.02	
B22x	<1	1.1	25.8	0.02	
B23	<1	1.3	27.8	0.02	
B3	<1	1.4	29.1	0.02	
A1	2	0.6	2.1	0.01	9- Embrapa - SE.
A2	<1	0.4	2.7	0.01	1975
A3	1	0.6	6.8	0.01	
B1h	<1	1.0	7.7	0.02	
B21rh	<1	9.9	18.7	0.02	
A11	5.2	0.62	0.27	0.02	10- Embrapa -
A12	3.2	0.61	0.20	0.01	Jequitinhonha-MG.
A2	0	tr.	tr.	tr.	
B21h	0.7	0.61	0.47	0.01	
B22h	1.2	0.40	0.51	0.01	
C	0.8	tr.	tr.	tr.	
A1	<1	0.30	0.60	0.02	11- Embrapa-
A2	<1	0.40	0.57	0.01	
Bh	<1	0.20	0.51	0.02	
Bhir	<1	0.61	0.93	0.02	
C	3.6	0.30	0.90	0.02	

* - IV Reunião de Classificação, Correlação e Aplicação de Levantamento de Solos.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, G. & MALCOM, R.E. The nature of alkali-soluble soil organic phosphates. J. Soil Sic., 25:282-297, 1974.

ANDERSON, G.; WILLIAMS, E.G. & MOIR, J.^o A comparison of the sorption of inorganic orthophosphate and inositol hexaphosphate by six acid soils. J. Soil Sci., 25:51-62, 1974.

BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B.; HALSTEAD, E.H. [Sulfur fractions and carbon, nitrogen, and sulfur relationships in grassland, forest, and associated transitional soils.](#) Soil Science Society of America Journal 37:915-918 1973.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado de Alagoas. Boletim Técnico No. 35, Recife, 1975.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia. Boletim Técnico No. 52, Vol 1, Recife, 1977.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado de Sergipe. Boletim Técnico No. 36, Recife, 1975.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento de Reconhecimento de Solos da Região sob influência do reservatório de Furnas. Boletim Técnico No. 13, Rio de Janeiro, 1962.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Levantamento de Reconhecimento de Solos da Zona do Médio Jequitinhonha-MG. Boletim Técnico No. 9, Rio de Janeiro, 1970.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco. MAA/EMBRAPA-CNPS-CPATSA. Boletim de Pesquisa No. 11. 2000. 381p.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação. – Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412p.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Mapa de Solos do Brasil. M.N. Camargo (coordenação). 1981. Escala 1:5000.000.

FROSSARD, E.; STEWART, J.W.B. & ST. ARNAUD, R.J. Distribution and mobility of phosphorus in grassland and forest soils of Saskatchewan. Can. J. Soil. Sci., 69:401-416, 1989.

IV RCC - Anais da Reunião de Classificação, Correlação e Aplicação de Levantamento de Solos. MAARA/EMBRAPA/CNPS. Rio de Janeiro, 1995. 157p.

OLIVEIRA, J.B.; KLINGER, T.J. & CAMARGO, M.N. Classes gerais de solos do Brasil - guia auxiliar para seu reconhecimento. 2ª ed. FUNEP, 1992. 201p.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. In: Brady, N.C. (ed.), Advances in Agronomy. Academic Press. 30:1-50, 1978.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. & CORRÊA, G.F. Pedologia: Base para distinção de ambientes. NEPUT, Viçosa , 1995. 304p.

ROBERTS, T.L.; STEWART, J.W.B. & BETTANY, J.R. The influence of topography on the distribution of organic and inorganic soil phosphorus across a narrow environmental gradient. Can. J. Soil Sci., 65:651-665, 1985.

ROLSTON DE, RAUSCHKOLB RS, HOFFMAN DL. [Infiltration of organic phosphate compounds in soil](#). Soil Science Society of America Journal, 39:1089-1094, 1975.

SCHNITZER, M. Podzol B horizons. Can. J. Soil Sci., 50:199-204, 1970.

SCHNITZER, M. & DESJARDINS, J.G. Molecular and equivalent weights of the organic matter of a Podzol. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 26:362-365, 1962.

SCHNITZER, M. & SKINNER, S.I.M. Organo-metallic interactions in soils: 1. Reactions between a number of metal ions and the organic matter of a Podzol Bh horizon. Soil Sci., 96:86-93, 1962a.

SCHNITZER, M. & SKINNER, S.I.M. Organo-metallic interactions in soils: 2. Reactions between different forms of iron and aluminum and the organic matter of a Podzol Bh horizon. Soil Sci., 96:181-186, 1962b.

SCHOENAU, J.J. & BETTANY, J.R. Organic matter leaching as a component of C, N, P, S cycles in a forest, grassland and gleyed soil. Soil Sci. Soc. Am., 51:646-651, 1987.

SYERS, J.K & WALKER, T.W. Phosphorus transformations in a chronosequence of soils developed on wind-blown sand in New Zealand. *J. Soil Sci.*, 20(1):57-64, 1969.

WRIGHT, J.R. & SCHNITZER, M. Oxygen-containing functional groups in the organic matter of a Podzol soil. *Nature*, 184:1462-1463, 1959.