



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Solos  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1517-2627

Dezembro, 2003

## ***Documentos 48***

### **Solução do Solo**

Importância e extração por centrifugação

Daniel Vidal Pérez  
Reinaldo Calixto de Campos

Rio de Janeiro, RJ  
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Solos**

Rua Jardim Botânico, 1024 Jardim Botânico. Rio de Janeiro, RJ

Fone: (21) 2274.4999

Fax: (21) 2274.5291

Home page: [www.cnps.embrapa.br](http://www.cnps.embrapa.br)

E-mail (sac): [sac@cnps.embrapa.br](mailto:sac@cnps.embrapa.br)

**Supervisor editorial:** *Jacqueline Silva Rezende Mattos*

**Revisor de texto:** *André Luiz da Silva Lopes*

**Normalização bibliográfica:** *Cláudia Regina Delaia*

**Tratamento de ilustrações:** *Rafael Simões Bodas Fernandes*

**Editadora eletrônica:** *Rafael Simões Bodas Fernandes*

**1ª edição**

1ª impressão (2003): 300 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

---

Pérez, Daniel Vidal

Solução do solo: importância e extração por centrifugação / Daniel Vidal Pérez; Reinaldo Calixto de Campos. - Rio de Janeiro : Embrapa Solos, 2003. 36 p. - (Embrapa Solos. Documentos; n. 48)

ISSN 1517-2627

1. Solo - Composição. 2. Solo-Química. 3. Especiação. I. Campos, Reinaldo Calixto de. II. Título. III. Embrapa Solos (Rio de Janeiro). VI.Série.

CDD (21.ed.) 631.4

---

© Embrapa 2003

## **Autores**

**Daniel Vidal Pérez**

Pesquisador da Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico,  
1.024. Rio de Janeiro - RJ. CEP: 22460-000  
E-mail: [daniel@cnps.embrapa.br](mailto:daniel@cnps.embrapa.br)

**Reinaldo Calixto de Campos**

Departamento de Química, PUC-RJ; Rua Marquês de São  
Vicente, 225, Rio de Janeiro - RJ. CEP: 22453-900  
E-mail: [rccampos@rdc.puc-rio.br](mailto:rccampos@rdc.puc-rio.br)

# Sumário

<b>Introdução</b> .....	7
Fração Sólida .....	7
Fração Gasosa .....	9
Fração Líquida .....	10
Solução do Solo .....	11
<i>Importância</i> .....	11
<i>Fatores que afetam a sua composição</i> .....	12
<i>Definição teórica e prática</i> .....	14
<i>Amostragem</i> .....	14
Extração por centrifugação .....	18
<i>Revisão de literatura</i> .....	18
<i>Uma Proposta para solos brasileiros</i> .....	19
<b>Referências Bibliográficas</b> .....	20
<b>Anexo</b> - Alguns dados extraídos de trabalhos de literatura que utilizaram a centrifugação como técnica de obtenção da solução do solo .....	33

# **Solução do Solo importância e extração por centrifugação**

---

*Daniel Vidal Pérez*

*Reinaldo Calixto de Campos*

## **Introdução**

O solo é reconhecido como um tecido tridimensional biológico, de constituição física expressa pelo arranjo espacial das partículas sólidas e dos vazios a ele associados (Fitzpatrick, 1980; Nascimento, 1995). Logo, a massa do solo pode ser considerada um sistema trifásico (Medina, 1972; Foth & Turk, 1972; Sposito, 1989; Wolt, 1994), composto por:

- fase sólida, que compõe o material do solo;
- fase gasosa, que compõe a atmosfera do solo;
- fase líquida, que compõe a solução do solo.

Entretanto, essas fases não se encontram dispersas. Os componentes sólidos geralmente se agregam (por força da coagulação), criando um sistema de poros (“voids”) interconectados ou não, de vários tamanhos por onde circulam a água e/ou ar (Hayes & Bolt, 1991; Tan, 1993; Alloway, 1995).

### **Fração Sólida**

Segundo Kiehl (1979) e Sposito (1989), em torno de, no mínimo, 50% do volume do solo é constituído por material sólido. Desse percentual, em geral, 90% representam compostos inorgânicos, a exceção de solos orgânicos, em que o conteúdo de material orgânico representa mais de 50% do material sólido.

Com respeito à composição da fração inorgânica, uma série de minerais foi identificada, sendo que a maioria se baseia em silicatos (Sposito, 1989; Resende *et al.*, 1995), o que já era de se esperar, visto que os elementos silício e oxigênio são os mais abundantes em solos. Contudo, óxidos metálicos são facilmente encontrados em solos tropicais, principalmente na fração argila, devido ao alto estágio de intemperismo dos mesmos (Resende *et al.*, 1995).

A complexidade do componente orgânico torna difícil relacionar todos os compostos presentes. Contudo, Tan (1994) resume a composição orgânica do solo em:

- matéria orgânica não humificada, a qual se baseia, principalmente, em compostos liberados por processos de decomposição, na forma original ou pouco modificada. Apesar da grande variedade existente na planta, somente algumas poucas estruturas orgânicas são detectáveis em solo, tais como alguns carboidratos, aminoácidos, proteínas, lipídeos, ácidos nucléicos, ligninas e ácidos orgânicos.
- matéria orgânica humificada, o que inclui ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, ácidos himatomelânicos e huminas, cuja origem deriva, segundo a teoria de lignoproteína, da interpolimerização de compostos fenólicos, peptídeos, aminoácidos e carboidratos.

A maioria das argilas e da matéria orgânica humificada tem propriedades coloidais, dentre as quais se destaca o fato de possuírem carga elétrica de superfície. Por isso, esses dois componentes da fração sólida são considerados como os maiores sítios de atividade do solo, sendo, portanto, os principais responsáveis pela sua reatividade (Uehara & Gillman, 1981; Sposito, 1989; Tan, 1994).

Algumas propriedades químicas e físicas relevantes, dos principais minerais de argila e material orgânico humificado, encontram-se, respectivamente, nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1.** Algumas características químicas e físicas dos minerais de argila mais comumente encontrados em solos tropicais.

Mineral	PCZL *	Área Específica (m <sup>2</sup> /g)	Capacidade de Troca Catiônica (cmol <sub>c</sub> /kg)
Caulinita	4,0 - 5,0	10 - 20	3 - 15
Oxi-hidróxidos de Fe/Al	7,0 - 9,0	1 - 400	0 - 4
Ilita	-----	70 - 120	10 - 40
Vermiculita	-----	300 - 500	100 - 150

Ponto de carga zero líquida.

Fonte: Grohmann (1972); Sposito (1989); Resende *et al.* (1995).

**Tabela 2.** Algumas propriedades químicas e físicas dos principais componentes da matéria orgânica humificada.

Fração Húmica	Massa molecular	Carbono %	Oxigênio %	Acidez* mol/kg
Ácido Fúlvico	1.000 - 5.000	42 - 47	45 - 50	14
Ácido Húmico	10.000 - 100.000	51 - 62	31 - 36	5
Humina	> 100.000	> 62	< 30	> 5

Equivalente ao conceito de capacidade de troca catiônica.

Fonte: McBride (1994).

## Fração Gasosa

A fase gasosa do solo é constituída do mesmo tipo de gases da atmosfera (Foth & Turk, 1972; Reichardt, 1985; Sposito, 1989). Porém, devido a uma série de fatores, entre os quais se destacam a atividade biológica, a continuidade e tamanho dos poros e o gradiente de difusão do O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> em água (aproximadamente 10<sup>-4</sup> daquela no ar), a composição percentual pode diferir consideravelmente (Kabata-Pendias & Pendias, 1992; Lindsay, 2001). Essa fase tem assumido especial importância atualmente nos estudos sobre a participação do solo nas mudanças globais (Lal *et al.*, 1995; Pérez, 1997).

## Fração Líquida

A água do solo é a repositória de sólidos dissolvidos e gases sendo, por isso, reconhecida como a solução do solo, ou seja, o meio em que a maioria das reações químicas de solo se desenvolve (Tan, 1993).

Ela está envolvida no ciclo hidrológico (Bohn *et al.*, 1985; Tan, 1996), em que parte da água que fica no solo é evaporada ou é perdida por escoamento superficial ("runoff") para rios, lagos, restingas, mangues e oceano; outra parte pode percolar através do solo até atingir o lençol freático ou os aquíferos e somente uma diminuta parte (entre 0,0005 e 0,001%) fica retida no solo.

A retenção da água no solo ocorre sob diferentes tensões, também denominada como potencial matricial (Figura 1), o que está intimamente ligado a fenômenos de superfície (adsorção) e capilaridade (Tan, 1982; Reichardt, 1985; Tan, 1996).

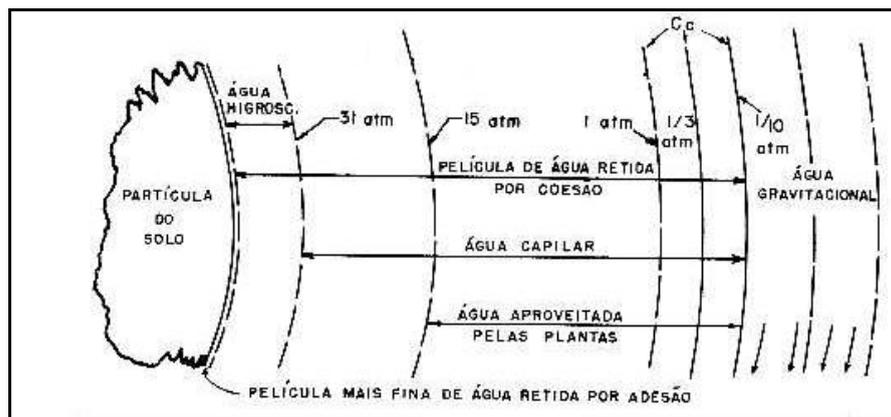


Fig. 1 - Representação esquemática da tensão com que a água é retida por uma partícula do solo (Medina, 1972), em que CC significa capacidade de campo.

Para cada amostra de solo homogêneo, há um valor característico de potencial matricial relativo a cada teor de água (Reichardt, 1985). Portanto, pode se supor que as diferenças encontradas entre solos serão função, basicamente, do tipo e quantidade dos colóides que possuem e do tamanho e forma de seus poros (Kiehl, 1979, Tan, 1982; Reichardt, 1985).

## **Solução do solo**

### ***Importância***

O conceito da solução do solo e seu papel nas interrelações solo-planta-organismos remontam há mais de um século (Adams, 1971; Adams, 1974). Devido ao fato de ser o principal transportador de água, nutrientes e de outros elementos, alguns tóxicos, para as raízes das plantas e para a biota do solo (Allen, 1993; Tan, 1993; Ure, 1995; Smethurst, 2000), a definição dessas interrelações, em termos quantitativos, requer um conhecimento detalhado da química do solo e das leis que a governam. Por isso, só a partir da utilização de critérios termodinâmicos, principalmente o conceito de atividade, derivado do trabalho de Debye & Huckel (Adams, 1974), pode se validar, por experimentação, esses conhecimentos empíricos.

Desta forma, surgiram conceitos que norteiam até hoje a experimentação agrícola com vistas a medir a capacidade de suporte que dado solo teria para determinada cultura. Um dos principais é o que se baseia na determinação de dois parâmetros (Mengel & Kirkby, 1987; Marschner, 1995; Lindsay, 2001), a saber: i) fator Intensidade, que representa a concentração do elemento na solução do solo; ii) fator Capacidade, que representa a capacidade da fase sólida em repor o elemento que foi retirado da solução.

Considerando a atual preocupação com o meio ambiente, principalmente com a qualidade da água, muitos autores têm enfatizado a participação da solução do solo como meio de transporte de contaminantes orgânicos (geralmente, agroquímicos e derivados de petróleo) e inorgânicos (nitrato e metais pesados) do solo para grandes mananciais de água potável, com efeitos ecotoxicológicos desastrosos (Kabata-Pendias & Pendias, 1992; Lal & Stewart, 1994; Berthelin *et al.*, 1995; Ure, 1995; Alloway, 1995; Reemstema *et al.*, 1999). Além disso, trabalhos recentes têm demonstrado a importância da determinação da concentração de Al e da relação molar Ca/Al na solução do solo, no desenvolvimento de modelos de acidificação do solo e de monitoramento de excesso de entradas ("inputs") de compostos acidificantes de N e S, de origem industrial (Davis, 1990; Vries *et al.*, 1995; Derome *et al.*, 1998; Salm & Vries, 2001). Outro exemplo refere-se a estudos relacionados à formação de solo (pedogênese), notadamente nos processos relativos ao transporte de substâncias húmicas, que puderam ser elucidados pelo conhecimento mais aprofundado da solução do solo (Tipping & Woof, 1991; Dahlgren *et al.*, 1997; Kalbitz *et al.*, 2000; Kaiser *et al.*, 2001).

### Fatores que afetam sua composição

As concentrações dos elementos químicos na solução do solo são governadas por uma série de mecanismos (Bohn *et al.*, 1985; Stevenson & Fitch, 1986; Kabata-Pendias & Pendias, 1992; Lindsay, 2001) que estão, simplificadamente, ilustrados na Figura 2, onde setas com número ímpar representam saídas (“output”) e setas pares, entradas (“input”).

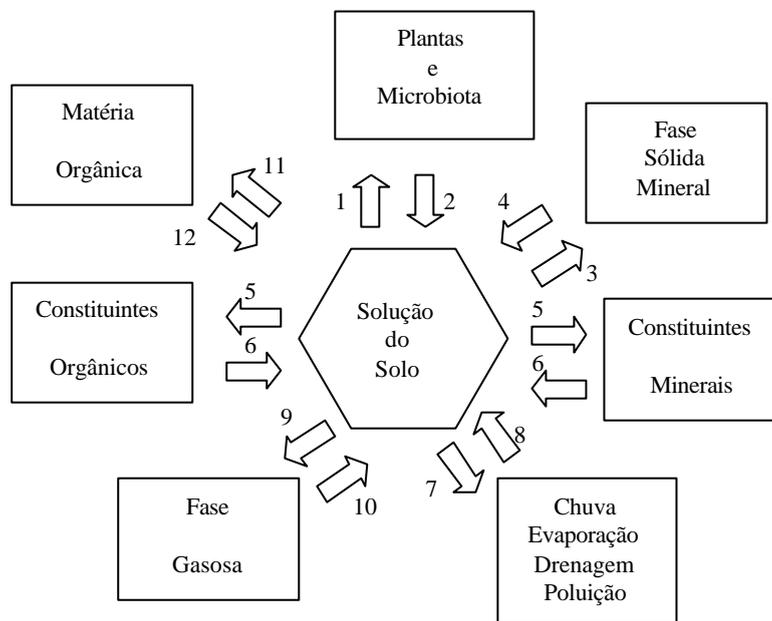


Fig. 2 - Inter-relação da solução do solo com outros componentes do sistema (adaptado de Bohn *et al.*, 1985; Kabata-Pendias & Pendias, 1992; Hani, 1996; Lindsay, 2001).

Pela Figura 2, os mecanismos ficam assim identificados:

- 1) Absorção de nutrientes pela nutrição das plantas e microbiota;
- 2) Exsudação e excreção de solutos e substâncias orgânicas pelas raízes e microorganismos, além da morte e decomposição dos organismos, o que libera solutos, também;

- 3) Precipitação derivada da supersaturação e nucleação na solução do solo;
- 4) Dissolução via intemperismo;
- 5) Adsorção por causa de vários tipos de interação intermoleculares, tais como, força de Van der Waals, ponte de hidrogênio, ponte hidrofóbica, troca de íons e ligantes, etc;
- 6) Desorção e troca iônica ;
- 7) Drenagem de constituintes para fora do solo uma série e diluição da solução do solo pela chuva;
- 8) Adição de metais e ligantes à solução do solo por fertilizantes e contaminantes com possível recombinação, formando novos minerais (3);
- 9) Liberação de gases para a fase gasosa;
- 10) Dissolução de gases na água;
- 11) Formação de compostos orgânicos via polimerização,
- 12) Decomposição da matéria orgânica via ação microbiana.

Entretanto, apesar de ser afetada por todos estes processos, a composição final da solução do solo é fortemente controlada pela fase mineral do solo (Lindsay, 2001). Segundo Hayes & Bolt (1991), existe uma constante interação entre a fração sólida, principalmente a fração coloidal, e a fração líquida, a qual é complexa, devido aos vários fatores envolvidos. O mesmo autor indica uma razão de distribuição na ordem de 100 entre o sorvido na fase sólida e o contido na solução. Assim, pode se resumir esses processos dinâmicos, no sistema solo-planta-atmosfera, da seguinte forma (Reichardt, 1985):



Onde:

**M** representa um elemento qualquer;

**M(Sólido)** representa o elemento na fase sólida (cristalina, precipitada, etc) ou adsorvido;

**M(Solução)** seria o elemento na fase aquosa:

**M(Raiz); e**

**M(Parte Aérea)** estariam associados ao elemento absorvido pela planta.

Apesar da setas indicarem processos em ambos sentidos, há uma predominância do movimento do solo para a planta.

A caracterização de **M**(Solução), ou seja, do elemento na forma “livre” (iônica) ou não, será a base do presente estudo.

Por fim, a literatura aponta outros fatores que também têm sido implicados na variação da composição da solução do solo, quais sejam: o tempo (Mulder & Cresser, 1994; Wolt, 1994), a acidificação do solo, que pode levar a mobilização de uma série de elementos, tornando-os biodisponíveis (Ross, 1994) e a competição entre cátions de elementos traço e de elementos mais abundantes pelos sítios de troca dos colóides (Kabata-Pendias & Pendias, 1992; Ross, 1994).

No que diz respeito à formação de complexos, a água e certos compostos orgânicos, tais como ácidos húmicos e ácidos orgânicos de pequena massa molecular, são os ligantes mais abundantes. Conseqüentemente, as reações químicas mais comuns em solos serão a hidrólise e a complexação orgânica, as quais são muito sensíveis à variação de pH (Kabata-Pendias & Pendias, 1992).

### *Definição Teórica e Prática*

Várias são as definições do termo solução do solo (Adams, 1974; Berton, 1989; Kabata-Pendias & Pendias, 1992; Curi, 1993; Tan, 1993; Wolt, 1994, Ritchie & Sposito, 1995). Contudo, Sposito (1989) foi quem a mais bem definiu ao considerá-la como sendo “a fase líquida e aquosa cuja composição é influenciada pelos fluxos de matéria e energia que ocorrem dentro dela e na sua vizinhança, além da ação do campo gravitacional da Terra”. Na prática, essa definição caracteriza a solução do solo como um sistema aberto e sujeito a uma série de forças, algumas até externas ao próprio solo. Por isso, o problema de isolar a “verdadeira” solução do solo ainda não foi solucionado (Sposito, 1989; Wolt, 1994). O que há, na realidade, é um compromisso operacional entre a precisão e a conveniência analítica para se estabelecer o método de remoção da fase aquosa.

### *Amostragem*

Avaliar a capacidade de determinada técnica de extrair a solução do solo, geralmente envolve demonstrar que a alteração de certos parâmetros não afetam a sua composição ou, se a influenciam, o fazem de maneira preditiva (Wolt, 1994). Diversas técnicas têm sido empregadas, dentre as quais se destacam (Adams, 1974; Litaor, 1988; Sposito, 1989; Wolt, 1994; Keller, 1995):

- O lisímetro, que é uma técnica de campo, consistindo de tubos plásticos cravados no solo a diversas profundidades, que apresentam na ponta um elemento filtrante, sendo o mais comum uma cápsula porosa. A água pode ser coletada sob pressão ou não (Figura 3);

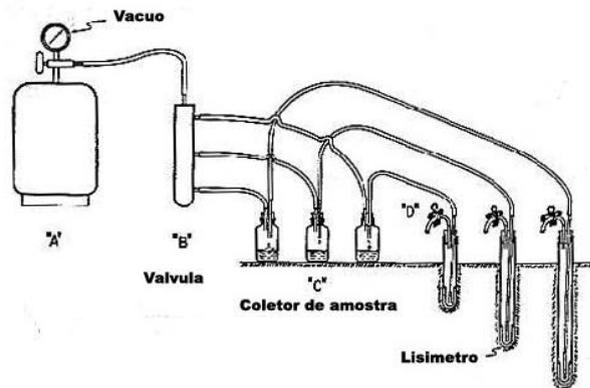


Fig. 3 - Esquema de instalação de um tipo de lisímetro (Wolt, 1994).

- O método do deslocamento em coluna, que é um método de laboratório que se baseia em empacotar o solo úmido em coluna de vidro, colocando um líquido de deslocamento, tal como o etanol, no topo, forçando a saída da solução do solo por baixo (Figura 4);



Fig. 4 - Esquema de montagem de coluna para extração de solução de solo (Wolt, 1994).

- A centrifugação, que é um método de laboratório que utiliza a pressão exercida pela força centrífuga em um tubo especial, constituído de duas câmaras separadas por elemento filtrante, que permite separar a água do solo (Figura 5). Há, ainda, uma variação dessa técnica que adiciona, também, uma substância imiscível com água, tal como o  $\text{CCl}_4$ , para auxiliar no deslocamento da solução do solo.

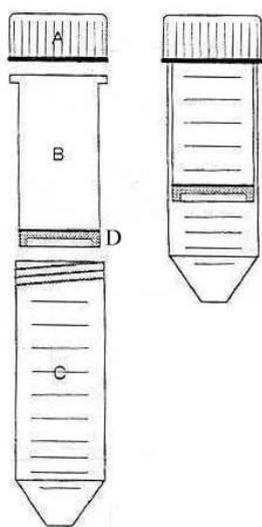


Fig. 5 - Esquema do tubo de centrifuga usado na extração de solução do solo, em que A é a tampa de rosca, B representa o corpo do filtro que se acopla em C, que é um tubo de 50 mL, e D é o elemento filtrante.

Todos os métodos citados apresentam vantagens e desvantagens:

- Os lisímetros, em princípio, pareciam aliar a vantagem da amostragem nas condições de campo e nos mesmos pontos amostrais, com o fato de não causarem distúrbios na estrutura do solo, ao longo do tempo (Zabowski & Ugolini, 1990; Wolt, 1994). Contudo, uma série de problemas foi determinada: a) contaminação do solo pelo elemento filtrante, independente de sua constituição ser cerâmica, teflon ou fibra de vidro (Hansen & Harris, 1975; Whelan & Barrow, 1980; Hornung, 1996; Wenzel *et al.*, 1997; Goyne *et al.*, 2000; Andersen *et al.*, 2002); b) anomalias hidrológicas, em função do nível de lençol freático e das características de retenção de água pelo solo (Mulder & Cresser, 1994; Giesler *et al.*, 1996; Marques *et al.*,

1996), o qual aumenta o tempo de residência da água no coletor, influenciando a sua composição química; c) interação, normalmente adsorção, dos compostos presentes na solução do solo com material usado na construção do lisímetro (Litaor, 1988; Wolt, 1994; Hornung, 1996).

- Em relação ao método do deslocamento em coluna, Gillman (1976) indica que tem baixa reprodutibilidade, em virtude das dificuldades em se realizar o empacotamento da coluna de forma homogênea e constante. Além disso, dependendo da textura do solo, o tempo de empacotamento é muito elevado, o que também foi observado por Adams *et al.* (1980).

A centrifugação tem sido muito empregada, devido à sua rapidez e menor variabilidade dos resultados (Gillman, 1976; Adams *et al.*, 1980; Keller, 1995). Contudo, uma das maiores críticas deriva da pouca quantidade de solução extraída (Whelan & Barrow, 1980). Nesse sentido, tentou-se adotar, concomitante à centrifugação, o uso de líquido orgânico de baixa solubilidade, inerte e denso, como forma de expelir maior quantidade da fase aquosa (Whelan & Barrow, 1980; Sposito, 1989). No entanto, a possível adulteração da solução do solo e a elevada toxicidade dos líquidos usados (Elkhatib *et al.*, 1987) têm limitado a aplicação dessa modificação da técnica. Por outro lado, o desenvolvimento de novas técnicas de determinação analítica, que utilizam menores volumes de amostra, minimizou a desvantagem citada inicialmente, tornando o método da centrifugação como o mais apropriado ao uso na rotina (Sposito, 1989) e o mais interessante para estudos que envolvam biodisponibilidade de elementos (Zabowski & Ugolini, 1990; Mulder & Cresser, 1994; Giesler *et al.*, 1996; Ranger *et al.*, 2001). Contudo, certos parâmetros operacionais devem ser definidos, antes de se iniciar qualquer estudo que aplique essa técnica de extração. Walworth (1992) observou que o tempo de centrifugação pode influenciar, significativamente, a composição da solução do solo. Já Zabowski & Ugolini (1990) estabeleceram a necessidade de se saber como a composição se relaciona com a tensão que a água é retida no solo o que, também, já havia sido comentado por Reynolds (1984). Já que a dupla camada elétrica afeta a distribuição de íons ao longo da fase aquosa que interage com a superfície coloidal, Wolt (1994) sugere, então, o estudo da influência da força e tempo de centrifugação na composição das diferentes proporções da dupla camada elétrica extraídas. Os poucos estudos internacionais que tentaram relacionar a composição da solução do solo extraída com a velocidade e tempo de centrifugação exibem resultados controversos, o que, provavelmente, deriva dos tipos de solos usados. Campbell *et al.* (1989), para solos ingleses, observaram,

com o aumento da força centrífuga, diferenças significativas na extração de cálcio, potássio, sulfatos e fosfatos mas não encontraram grandes variações nos teores de sódio, magnésio, carbono orgânico total, cloreto e sílica. Ross & Bartlett (1990), estudando amostras de solos americanos, encontraram maior extração de fluoretos, cloretos e sulfatos pelo aumento da força centrífuga. Já Gillman (1976), estudando solos da Austrália; Edmeades *et al.* (1985), estudando solos da Nova Zelândia; e Zabowski & Ugolini (1990), estudando outros solos americanos, não encontraram diferenças significativas para os cátions e ânions que analisaram.

## Extração por Centrifugação

### *Revisão de Literatura*

A técnica de extração da fase aquosa do solo por centrifugação tem sido pouco explorada no Brasil, o que pode ser observado pelo pequeno número de trabalhos encontrados em revisão de literatura (Miranda, 1993; Klepker & Anghinoni, 1994; Salet, 1994; Silva, 1996; Casartelli, 1999). Além disso, nenhum desses trabalhos avaliou a influência de diferentes combinações entre velocidade e tempo de centrifugação, fato que, conforme citado anteriormente, pode afetar a obtenção da “verdadeira” solução do solo. No que diz respeito à literatura internacional, também não existe uma padronização. Dos 74 artigos encontrados, que aplicaram a extração da solução do solo por centrifugação (Anexo 1), pode se observar que só 35% relataram a velocidade com base na força centrífuga relativa (FCR<sup>1</sup>). Isso seria o primeiro passo para uma eventual padronização, visto que existem inúmeros modelos de centrífuga, com os mais variados raios. Além disso, como também se observa para aqueles que relataram a velocidade em rotações por minuto (rpm), os valores são extremamente variáveis, não apresentando uma tendência de faixa de valor médio. Já com respeito ao tempo, existe, ao contrário, uma tendência de se utilizarem os tempos de 30 e 60 min (28% cada). É surpreendente, porém, observar que em 9 trabalhos (12%) não há sequer menção ao tempo de centrifugação utilizado.

Para propósitos de análise de solo, a secagem ao ar, ou em estufa de circulação de ar forçado, tem sido o método mais amplamente usado (Rubio & Vidal, 1995; Hani, 1996; Houba *et al.*, 1997). No entanto, já é esperado que isso interfira em vários

---

<sup>1</sup>FCR =  $11,18 \cdot 10^{-6} \cdot (\text{RPM})^2 \cdot R$ , em que RPM representa a velocidade de centrifugação, em rotações por minuto, e R é a distância, em cm, do ponto de rotação (centro do rotor) à partícula (fundo do tubo de centrifuga).

processos que ocorrem na fase sólida do solo, o que afetará, provavelmente, a composição da solução do solo (Rubio & Vidal, 1995; Hani, 1996; Hill, 1997). Nesse sentido, a fim de minimizar esses efeitos indesejados, tem se proposto a preservação da amostra úmida, como coletada em campo, em refrigeração (4°C) ou, até mesmo, em freezer (-20°C), conforme descrevem Rubio & Ure (1993), Rubio & Vidal (1995), Hani (1996), Hill (1997), Dean *et al.* (1998).

Analisando os 74 artigos que aplicaram a extração da solução do solo por centrifugação (Anexo 1), nota-se uma clara divisão entre aqueles 46% que preferem utilizar a amostra com a umidade em que foi coletada no campo e aqueles 26% que utilizam o reumidecimento da amostra seca. No entanto, poucos são os trabalhos que aplicaram técnicas de refrigeração com vistas a permitir um maior tempo entre a coleta e a extração da água da amostra (4%).

### *Uma Proposta para Solos Brasileiros*

Devido à carência de resultados para solos brasileiros, desenvolveu-se uma tese de doutorado (Pérez, 2002) que, entre outros pontos, buscou avaliar a influência do tempo e velocidade de centrifugação, bem como a forma de estocagem da amostra. Desta forma, testou-se, inicialmente, as três velocidades de rotação mais usadas em literatura, ou seja, 2.000, 4.000 e 6.000 rpm (FCR de 560, 2.260 e 5.080 g) e dois tempos de extração (30 e 60 minutos). A influência de 5 diferentes formas de estocagem de amostra foram testadas, a saber: a) úmida, conforme coletada em campo, e analisada em período de 24h; b) úmida, conforme coletada em campo, mantida resfriada (4°C) e analisada ao final de 15 dias; c) úmida, conforme coletada em campo, mantida em freezer (-20°C) e analisada ao final de 15 dias; d) seca, destorroada e reumedecida à capacidade de campo; e) seca, destorroada e reumedecida à umidade em que foi coletada no campo.

Os resultados encontrados (Pérez, 2002) sugerem que, para os solos brasileiros estudados (um Latossolo Vermelho e um Argissolo Vermelho-Amarelo), a aplicação de uma força centrífuga relativa de 2.260 g por 60 minutos apresenta-se como o procedimento mais apropriado para se extrair a solução do solo pela técnica de centrifugação. Se, contudo, não for possível extrair a solução do solo imediatamente (24 h) após a coleta da amostra, poder-se-á mantê-la refrigerada (4°C) por um período de até 15 dias, sem que significativas modificações da solução do solo extraída, considerada como um todo, ocorram.

## Referências Bibliográficas

ADAMS, F. Ionic concentrations and activities in soil solutions. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.35, p. 420-426. 1971.

ADAMS, F. Soil Solution. In: CARSON, E. N. **The plant root and its environment**. Charlottesville: University Press of Virginia, 1974. p.441-481.

ADAMS, F.; BURMESTER, C.; HUE, N. V.; LONG, F. L. A comparison of column-displacement and centrifuge methods for obtaining soil solutions. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p. 733-735, 1980.

ADAMS, M. L.; HAWKE, D. J.; NILSSON, N. H. S.; POWELL, K. J. The relationship between soil solution pH and  $Al^{3+}$  concentrations in a range of South Island (New Zealand) soils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.38, p. 141-153, 2000.

ADAMS, M. L.; McINTOSH, P. D.; PATTERSON, R. D.; POWELL, K. J. Aluminum speciation in seasonally dry country soils, South Island, New Zealand. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.37, p. 1005-1015, 1999.

ALLEN, H. E. The significance of trace metal speciation for water, sediment and soil quality criteria and standards. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, Supp. Pt. 1, 23: 45. 1993.

ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2.ed. Glasgow (UK): Blackie, 1995. 368p.

ANDERSEN, M. K.; RAULUND-RASMUSSEN, K.; STROBEL, B. W.; HANSEN, H. C. B. Adsorption of cadmium, copper, nickel, and zinc to a poly(tetrafluorethene) porous soil solution sampler. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.31, n.1, p. 168-175, 2002.

BERTHELIN, J.; MUNIER-LAMY, C.; LEYVAL, C. Effect of microorganisms on mobility of heavy metals in soils. In: HUANG, P. M.; BERTHELIN, J.; BOLLAG, J.-M.; MCGILL, W. B.; PAGE, A. L. **Environmental impact of soil components interactions**. Boca Raton: CRC, 1995. v.2, p.3-17.

BERTON, R. S. Especificação iônica na solução do solo – metodologia e aplicações. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2. 1989, Piracicaba. **Anais ...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p.17-41.

BOHN, H.; McNEAL, B.; O'CONNOR, G. **Soil chemistry**. 2.ed. New York: John Wiley, 1985. p.1-20.

BOUDOT, J. P.; MAITAT, O.; MERLET, D.; ROUILLER, J. Occurrence of non-monomeric species of aluminum in undersaturated soil and surface waters: consequences for the determination of mineral saturation indices. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.177, p. 47-63, 1996.

CAMPBELL, D. J.; KINNIBURGH, D. G.; BECKETT, P. H. T. The soil solution chemistry of some Oxfordshire soils: Temporal and spatial variability. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.40, p.321-339. 1989.

CASARTELLI, E. A. **Estudos sobre especiação e distribuição de lantanídeos e tório em solos e plantas do Morro do Ferro, Poços de Caldas, MG, Brasil**. 1999. 182f. Tese (Doutorado em Química Analítica) - PUC-RJ, Rio de Janeiro.

CASTILHO, P. del; DALENBERG, J. W.; BRUNT, K.; BRUINS, A. P. Dissolved organic matter, cadmium, copper and zinc in pig slurry and soil solution – size exclusion chromatography fractions. **International Journal of Environmental and Analytical Chemistry**, Reading, v.50, p. 91-107, 1993.

CURI, N. (Coord.). **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: SBCS, 1993. p.78.

DAHLGREN, R. A. Comparison of soil solution extraction procedures: effect on solute chemistry. **Communications in Soil Science and Plant Analysis, New York**, v.24, n.15/16, p.1783-1794. 1993.

DAHLGREN, R. A.; PERCIVAL, H. J.; PARFITT, R. L. Carbon dioxide degassing effects on soil solutions collected by centrifugation. **Soil Science**, Baltimore, v.162, n.9, p.648-655, 1997.

DANG, X. P.; TILLER, K. G.; DALAL, R. C.; EDWARDS, D. G. Zinc speciation in soil solutions of Vertisols. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.34, p.369-383, 1996.

DAVIES, B. E.; DAVIES, R. I. A simple centrifugation method for obtaining small samples of soil solution. **Nature**, London, 1v.98, p.216-217, 1963.

DAVIS, M. R. Chemical composition of soil solutions extracted from New Zealand beech forests and West German beech and spruce forests. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.126, p.237-246, 1990.

DEAN, J. R.; BUTLER, O.; FISHER, A.; GARDEN, L. M.; CRESSER, M. S.; WATKINS, P.; CAVE, M. Atomic spectrometry update - environmental analysis. **Journal of Analytical Atomic Spectrometry**, Cambridge, v.13, p.1R-56R, 1998.

DEROME, K.; DEROME, J.; LINDROOS, A.-J. Techniques for preserving and determining aluminum fractions in soil solution from Podzolic forest soils. **Chemosphere**, Oxford, v.36, n.4/5, p.1143-1148. 1998.

EDMEADES, D. C.; WHEELER, D. M.; CLINTON, O. E. The chemical composition and ionic strength of soil solutions from New Zealand topsoils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.23, p.151-165, 1985.

ELKHATIB, E. A.; HERN, J. L.; STALEY, T. E. A rapid centrifugation method for obtaining soil solution. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.51, p.578-583, 1987.

FITZPATRICK, E. A. **Soils: Their formation, classification and distribution**. New York: Longman, 1980. p.97-104.

FOTH, H. D ; TURK, L. M. **Fundamentals of soil science**. 5.ed. S.l.: John Wiley, 1972. 454p.

FOTOVAT, A.; NAIDU, R. Ion exchange resin and MINTEQA2 speciation of Zn and Cu in alkaline sodic and acidic soil extracts. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.35, p.711-726, 1997.

FOTOVAT, A.; NAIDU, R. Changes in composition of soil aqueous phase influence chemistry of indigenous heavy metals in alkaline sodic and acidic soils. **Geoderma**, Amsterdam, Amsterdam, v.84, p.213-234, 1998.

FOTOVAT, A.; NAIDU, R.; SUMNER, M. E. Water:soil ration influences aqueous phase chemistry of indigenous copper and zinc in soils. **Australian Journal of Soil Science**, Melbourne, v.35. p.687-709, 1997.

GALLET, C.; KELLER, C. Phenolic composition of soil solutions: comparative study of lysimeter and centrifuge waters. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.31, p.1151-1160, 1999.

GE, Y.; MURRAY, P.; HENDERSHOT, W. H. Trace metal speciation and bioavailability in urban soils. **Environmental Pollution**, Oxford, v.107, p.137-144, 2000.

GIBSON, J. A. E.; WILLET, I. R. The application of fluorescence detection to the determination and speciation of aluminum in soil solutions by ion chromatography. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.23, n.13/14, p.1303-1313, 1991.

GIESLER, R.; LUNDSTROM, U. Soil solution chemistry: effects of bulking soil samples. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.57, p.1283-1288, 1993.

GIESLER, R.; LUNDSTROM, U. S.; GRIP, H. Comparison of soil solution chemistry assessment using zero-tension lysimeters or centrifugation. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.395-405, 1996.

GILLMAN, G. P. L **A centrifuge method for obtained soil solution**. S.l.: CSIRO, 1976. 6p (Div. Soil Divisional Report, 16).

GOYNE, K. W. ; DAY, R. L.; CHOROVER, J. Artifacts caused by collection of soil solution with passive capillary samplers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, n.4, p.1330-1336, 2000.

GREGSON, S. K.; ALLOWAY, B. J. Gel permeation chromatography studies on the speciation of lead in solutions of heavily polluted soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.35, p.35-61, 1984.

GRIEVE, I. C. Effects of the centrifuge drainage method on total organic carbon concentrations in soil solutions from peaty soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.74, p.115-123, 1996.

GROHMANN, F. Superfície específica. In: MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono/EDUSP, 1972. p.111-122.

GUSTAFSSON, J. P.; HEES, P. van; STARR, K.; KARLTUN, E.; LUNDSTROM, U. Partitioning of base cations and sulphate between solid and dissolver phases in three podzolised forest soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.94, p.311-333, 2000.

HANI, H. Soil Analysis as a tool to predict effects on the environment. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.27, n.3/4, p.289-306, 1996.

HANSEN, E. A.; HARRIS, A. R. Validity of soil-water samples collected with porous ceramic cups. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.39, n.3, p.528-536, 1975.

HAYES, M. H. B.; BOLT, G. H. Soil colloids and the soil solution. In: BOLT, G. H.; De BOODT, M. F.; HAYES, M. H. B.; McBRIDE, M. B. **Interactions at the soil colloid-soil solution interface**. Dordrecht: Kluwer, 1991. p.1-33.

HEES, P. A. W. van; LUNDSTROM, U. S.; GIESLER, R. Low molecular weight organic acids and their Al-complexes in soil solution – composition, distribution and seasonal variation in three podzolized soils. **Geoderma**, Amsterdam, v.94, p.173-200, 2000a.

HEES, P. A. W. van; LUNDSTROM, U. S.; STARR, M.; GIESLER, R. Factors influencing aluminum concentrations in soil solution from Podzols. **Geoderma**, Amsterdam, v.94, p.289-310, 2000b.

HEES, P. A. W. van; LUNDSTROM, U. S. Equilibrium models of aluminum and iron complexation with different organic acids in soil solution. **Geoderma**, Amsterdam, v.94, p.201-221, 2000c.

HEES, P. A. W. van; HEES, A.-M. T. van; LUNDSTROM, U. S. Determination of aluminum complexes of low molecular organic acids in soil solution from forest soils using ultrafiltration. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.33, p.867-874, 2001a.

HEES, P. A. W. van; LUNDSTROM, U. S.; DANIELSSON, R.; NYBERG, L. Controlling mechanisms of aluminum in soil solution – an evaluation of 180 Podzolic forest soils. **Chemosphere**, Oxford, v.45, p.1091-1101, 2001b.

HEES, P. A. W. van; TIPPING, E.; LUNDSTROM, U. S. Aluminum speciation in forest soil solution – modelling the contribution of low molecular weight organic acids. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.278, p.215-229, 2001c.

HILL, S.J. Speciation of trace metals in the environment. **Chemical Society Reviews**, Cambridge, v.26, p.291-298, 1997.

HORNUNG, M. Soil solution sampling and lysimetry (Appendix E). In: ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. **Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods**. Wallingford (UK): CAB International, 1996. p.145-157.

HOUBA, V. J. G.; NOVOZAMSKY, I.; Van der LEE, J. J. Quality aspects in laboratories for soil and plant analysis. In: HOOD, T. M. ; JONES JUNIOR, J. B. **Soil and plant analysis in sustainable agriculture and environment**. New York: Marcel Dekker, 1997. p.31-52.

ILVESNIEMI, H.; GIESLER, R.; HEES, P. van; MAGNUSSON, T.; MELKERUD, P. A. General description of the sampling techniques and the sites investigated in the Fennoscandinavian podzolization project. **Geoderma**, Amsterdam, v.94, p.109-123, 2000.

JACKSON, B. P.; MILLER, W. P. Soil solution chemistry of a fly ash-, poultry litter-, and sewage sludge-amended soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.29, p.430-436, 2000.

JALLAH, J. K.; SMYTH, T. J. Predicting soil solution chemical attributes from more easily measured soil and soil solution parameters. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, n.19/20, p.3315-3333, 1995.

JONES, D. L.; EDWARDS, A. C. Effect of moisture content and preparation technique on the composition of soil solution obtained by centrifugation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.24, n.1/2, p.171-186, 1993.

JOUVE, A.; LEJEUNE, M.; REY, J. A new method for determining the bioavailability of radionuclides in the soil solution. **Journal of Environmental Radioactivity**, Oxford, v.43, p.277-289, 1999.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 2.ed. Boca Raton: CRC, 1992. 365p.

KAISER, K.; KAUPENJOHANN, M.; ZECH, W. Sorption of dissolved organic carbon in soils: effects of soil sample storage, soil-to-solution ratio, and temperature. **Geoderma**, Amsterdam, v.99, p.317-328, 2001.

KALBITZ, K.; SOLINGER, S.; PARK, J. H.; MICHALZIK, B.; MATZNER, E. Controls on the dynamics of dissolved organic matter in soils: a review. **Soil Science**, Baltimore, v.165, n.4, p.277-304, 2000.

KELLER, C. Application of centrifuging to heavy metal studies in soil solutions. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, p.1621-1636, 1995.

KERVEN, G. L.; OSTATEK-BOCZYNSKI, Z.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J.; OWECZKIN, J. Chromatographic techniques for the separation of Al and associated organic ligands present in soil solution. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.171, p.29-34, 1995.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: Relações solo-planta**. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Fósforo, cálcio, magnésio, potássio e sódio na solução do solo obtida por deslocamento em colunas e centrifugação. In: REUNIÃO SUL BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 1., 1994, Pelotas. **Anais ... Pelotas: Núcleo Regional Sul da SBCS, 1994. p.57-58.**

LAL, R.; STEWART, B. A. Soil processes and water quality. In: LAL, R.; STEWART, B. A. **Soil processes and water quality**. Boca Raton: CRC, 1994. p.1-6.

LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; WHITMAN, C. World soils and greenhouse effect: an overview. In: LAL, R.; KIMBLE, J.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. **Soils and global change**. New York: CRC Press, 1995. p.1-7.

LINDSAY, W. L. **Chemical equilibria in soils**. New Jersey: Blackburn, 2001. 449p.

LINEHAN, D. J.; SINCLAIR, H.; MITCHELL, M. C. Seasonal changes in Cu, Mn, Zn and Co concentrations in soil in the root zone of barley (*Hordeum vulgare* L.). **Journal of Soil Science**, Oxford, v.40, n.1, p.103-115, 1989.

LITAOR, M. I Review of soil solution samplers. **Water Resources Research**, Washington, D.C., v.24, n.5, p.727-733, 1988.

LORENZ, S. E.; HAMON, R. E.; McGRATH, S. P.; HOLM, P. E.; CHRISTENSEN, T. H. Applications of fertilizer cations affect cadmium and zinc concentrations in soil solutions and uptake by plants. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.45, p.159-165, 1994.

MANOHARAN, V.; LOGANATHAN, P.; PARFITT, R. L.; TILLMAN, R. W. Changes in soil solution composition and aluminum speciation under legume-based pastures in response to long-term phosphate fertiliser applications. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.34, p.985-998, 1996.

MARQUES, R.; RANGER, J.; GELHAYE, D.; POLLIER, B.; PONETTE, Q.; GOEDERT, O. Comparison of chemical composition of soil solutions collected by zero-tension plate lysimeters with those from ceramic-cup lysimeters in a forested soil. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.407-417, 1996.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. p.483-507.

MATSCHONAT, G.; VOGT, R. Assessment of a laboratory method to obtain the equilibrium solution composition of forest soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.48, p.545-552, 1997.

MATSCHONAT, G.; VOGT, R. Significance of the total cation concentration in acid forest soils for the solution composition and the saturation of exchange sites. **Geoderma**, Amsterdam, v.84, p.289-307, 1998.

McBRIDE, M. B. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1994. p.31-62.

McLAUGHLIN, M. J.; TILLER, K. G.; SMART, M. K. Speciation of cadmium in soil solutions of saline/sodic soils and relationship with cadmium concentrations in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.35, p.183-198, 1997.

MEDINA, H. P. Constituição física. In: MONIZ, A. C. **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono/EDUSP, 1972. p.11-20.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Worblaufen-Bern (Switzerland): IPI, 1987. p.25-111.

MENZIES, N. W.; BELL, L. C. Evaluation of the influence of sample preparation and extraction technique on soil solution composition. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.26, p.451-464, 1988.

MERCKX, R.; BRANS, K.; SMOLDERS, E. Decomposition of dissolved organic carbon after soil drying and rewetting as an indicator of metal toxicity in soils. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.33, p.235-240, 2001.

MIRANDA, J. Caracterização da solução do solo e das propriedades físicas e químicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo sob diferentes coberturas vegetais. 1993. 65f. Dissertação (Mestrado em Solo e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MISRA, A.; TYLER, G. Effects of soil moisture on soil solution chemistry, biomass production, and shoot nutrients in two native grasses on a clareous soil. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.31, n.17/18, p.2727-2738, 2000.

MITROVIC, B.; MILACIC, R. Speciation of aluminum in forest soil extracts by size exclusion chromatography with UV and ICP-AES detection and cation exchange fast protein liquid chromatography with ETAAS detection. **The Science of Total Environment**, Amsterdam, v.258, p.183-194, 2000.

MULDER, J.; CRESSER, M. S. Soil and soil solution chemistry. In: MOLDAN, B.; CERNÝ, J. **Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research**. New York: John Wiley, 1994. p.107-131.

NAIDU, R.; McCLURES, S.; MCKENZIE, N. J.; FITZPATRICK, R. W. Soil solution composition and aggregate stability changes caused by long-term farming at four contrasting sites in South Australia. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.34, p.511-527, 1996.

NASCIMENTO, R. A. M. **Fundamentos da ciência do solo (IA-305):** gráficos, desenhos, tabelas. Itaguaí: UFRRJ, 1995. 112p.

NEGRÍN, M. A.; ESPINO-MESA, M.; HERNÁNDEZ-MORENO, J. M. Effect of water: soil ratio on phosphate release: P, aluminum and fulvic acid associations in water extracts from Andisols and Andic soils. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.47, p.385-393, 1996.

PERCIVAL, H. J.; SPEIR, T. W.; PARSHOTAM, A. Soil solution chemistry of contrasting soils amended with heavy metals. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.37, p.993-1004, 1999.

PÉREZ, D. V. A ciência do solo como uma das chaves para entender o Ambiente Global. Rio de Janeiro: PUC-RIO, 1997. 39p.

PÉREZ, D. V. Avaliação de parâmetros críticos para especiação de Al, Fe e Mn em solução de solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. 2002. 193f. Tese (Doutorado em Química Analítica) - PUC-RIO, Rio de Janeiro.

RANGER, J.; MARQUES, R.; JUSSY, J. H. Forest soil dynamics during stand development assessed by lysimeter and centrifuge solutions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.144, p.129-145, 2001.

REICHARDT, K. **Processo de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 466p.

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

REYNOLDS, B. A simple methods for the extraction of soil solution by high speed centrifugation. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 78, p.437-440, 1984.

RITCHIE, G. S.; SPOSITO, G. Speciation in soils. In: URE, A. M.; DAVIDSON, C. M. **Chemical speciation in the environment**. Glasgow (UK): Blackie, 1995. p.201-233.

ROMKENS, P. F. A. M.; BOUWMAN, L. A.; BOON, G. T. Effect of plant growth on copper solubility and speciation in soil solution samples. **Environmental Pollution**, Oxford, v.106, p.315-321, 1999.

ROMKENS, P. F. A. M.; SALOMONS, W. Cd, Cu and Zn solubility in arable and forest soils: consequences of land use changes for metal mobility and risk assessment. **Soil Science**, Baltimore, v.163, n.11, p.859-871, 1998.

ROSS, D. S. ; BARTLETT, R. J. Effects of extraction methods and sample storage on properties of solutions obtained from forested Spodosols. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.19, p.108-113, 1990.

ROSS, S. M. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. In: ROSS, S. M. **Toxic metals in soil-plant systems**. Braffins Lane: John Wiley, 1994. p.63-152.

RUBIO, R.; VIDAL, M. Quality assurance of sampling and sample pretreatment for trace metal determination in soils. In: QUEVAUVILLER, P. **Quality assurance in environmental monitoring: sampling and sample pretreatment**. Weinheim (Germany): VCH, 1995. 9.157-178.

RUBIO, R.; URE, A. M. Approaches to sampling and sample pretreatments for metal speciation in soils and sediments. **International Journal of Environmental Analytical Chemistry**, Reading, v.51, p.205-217, 1993.

SALET, R. L. **Dinâmica de íons na solução de um solo submetido ao sistema plantio direto**. 1994. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Solos) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SALM, C. van der ; VRIES, W. de. A review of the calculation procedure for critical acid loads for terrestrial ecosystems. **The Science of Total Environment**, Amsterdam, v.271, p.11-25, 2001.

SHEN, Y.; STROM, L.; JONSSON, J.-A.; TYLER, G. Low molecular organic acids in the rhizosphere soil solution of beech forest (*Fagus sylvatica* L.) Cambisols determined by ion chromatography using supported liquid membrane enrichment technique. **Soil Biology & Biochemistry**, Oxford, v.28, n.9, p.1163-1169, 1996.

SILVA, L. S. da. **Características químicas de um Latossolo nos sistemas plantio direto e convencional no primeiro ano**. 1996. 86f. Dissertação (Mestrado em Ciência de Solos) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SKYLLBERG, U.; RAULUND-RASMUSSEN, K.; BORGGAARD, O. K. pH buffering in acidic soils developed under Piceas abies and Quercus sobur – effects of soil organic matter adsorbed cations and soil solution ionic strength. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.56, p.51-74, 2001.

SMAL, H.; MISZTAL, M. Soil solution chemistry in the profiles of forest and arable light textured soils, S.E. Poland. **Applied Geochemistry**, Oxford, v.11, p.81-85, 1996.

SMETHURST, P. J. Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.138, p.397-411, 2000.

SMETHURST, P. J.; HERBERT, A. M.; BALLARD, L. M. Fertilization effects on soil solution chemistry in three eucalypt plantations. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.795-804, 2001.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. New York: Oxford University Press, 1989. p.3-21.

STEVENSON, F. J.; FITCH, A. Chemistry of complexation of metal ions with soil solution organics. In: HUANG, P. M. ; SCHNITZER, M. **Interactions of soil minerals with natural organics and microbes**. Madison: SSSA, 1986. p. 29-58. (SSSA. Special publication, 17).

STROBEL, B. W.; BERNHOFT, I.; BORGGAARD, K. Low-molecular weight aliphatic carboxylic acids in soil solutions under different vegetations determined by capillary zone electrophoresis. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.212, n.2, p.115-121, 1999.

STROBEL, B. W.; HANSEN, H. C. B.; BORGGAARD, O. K.; ANDERSEN, M. K. RAULUND-RASMUSSEN, K. Composition and reactivity of DOC in forest floor soil solutions in relation to tree species and soil type. **Biogeochemistry**, Dordrecht, v.56, p.1-26, 2001.

TAN, K. H. **Principles of soil chemistry**. New York: Marcel-Dekker, 1982. 267p.

TAN, K. H. **Principles of soil chemistry**. New York: Marcel-Dekker, 1993.p.31-64.

TAN, K. H. **Environmental soil science**. New York: Marcel-Dekker, 1994. 304p.

TAN, K. H. **Soil sampling, preparation, and analysis**. New York: Marcel Dekker. 1996. p.56-72.

TAYLOR, M. D.; PERCIVAL, H. J. Cadmiun in soil solutions from a transect of soils away from a fertiliser bin. **Environmental Pollution**, Oxford, v. 113, p.34-40, 2001.

THIBAUT, D. H.; SHEPPARD, M. J. A disposable system for soil pore-water extraction by centrifugation. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.23, n.13/14, p.1629-1641, 1992.

TIPPING, E.; WOOF, C. The distribution of humic substances between the solid and aqueous phases of acid organic soils: a description based on humic heterogeneity and charge-dependent sorption equilibria. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.42, p.437-448, 1991.

TYLER, G. Effects of sample pretreatment and sequential fractionation by centrifuge drainage as concentrations of minerals in a calcareous soil solution. **Geoderma**, Amsterdam, 94: 59-70. 2000.

TYLER, G.; OLSSON, T. Concentrations of 60 elements in the soil solution as related to the soil acidity. **European Journal of Soil Science**, Oxford, v.52, p.151-165, 2001a.

TYLER, G.; OLSSON, T. Plant uptake of major and minor mineral elements as influenced by soil acidity and liming. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.230, p.307-321, 2001b.

UEHARA,, G.; GILLMAN, G. The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays. Boulder: West Press, 1981. 170p.

URE, A. M. Methods of analysis for heavy metals in soils. In: ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils**. 2.ed. Glasgow (UK): Blackie, 1995. p.58-102.

VAZ, L. R.; EDWARDS, T.; SHAND, C. ; CRESSER, M. Quantification of phosphorus fractions in soil solution. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.135, p.67-71, 1993

VRIES, W. de; GRINSVEN, J. J. M. van; BREEMEN, N. van; LEETERS, E. E. J. M.; JANSEN, P. C. Impacts of acid deposition on concentrations and fluxes of solutes in acid forest soils in the Netherlands. **Geoderma**, Amsterdam, v.67, n.1-2, p.17-43, 1995.

WALWORTH, J. L Soil drying and rewetting, or freezing and thawing, affects soil solution composition. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.56, n.2, p.433-437, 1992.

WENZEL, W. W.; SLETTEN, R. S.; BRANDSTETTER, A.; WIESHAMMER, G. STINGEDER, G. Adsorption of trace metals by tension lysimeters: nylon membrane vs. Porous ceramic cup. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.26, n.5, p.1430-1434, 1997.

WHELAN, B. R.; BARROW, N. J. A study of a method for displacing soil solution by centrifuging with an immiscible liquid. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.9, n.2, p.315-319, 1980.

WINISTORFER, D. Speciation of heavy metals in extracted soil solutions by a cation exchange batch equilibrium method. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.26, n.7/8, p.1073-1093, 1995.

WOLT, J. Soil solution chemistry: applications to environmental science and agriculture. New York: John Wiley, 1994. 345p.

ZABOWSKI, D.; UGOLINI, F. C. Lysimeter and centrifuge soil solutions: seasonal differences between methods. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.54, p.1130-1135, 1990.

## **Anexo**

---

Alguns dados extraídos de trabalhos de literatura que utilizaram a centrifugação como técnica de obtenção da solução do solo.

Autoria	Filtro µm	Velocidade		Tempo min	Tipo Amostra
		rpm	g		
Davies & Davies (1963)		3000	1200	60	
Gillman (1976)	0,22	2000	45		Seca e reumidecida a pF 2 por 5 dias
Adams et al (1980)	Whatman 42		1070	120	Seca e reumidecida a C.C. por 7 dias
Reynolds (1984)	0,45	10000		60	Umidade de campo
Gregson & Alloway (1984)	0,45	3500		25	Umidade de campo e reumidecido à C.C. por 7 dias
Edmeades <i>et al.</i> (1985)	0,22	5000	3900	60	Vários
Elkhatib <i>et al.</i> (1987)	Vários	Vários	Vários	20,40,60	Seca e reumidecida a C.C. por 24 h
Menzies & Bell (1988)	0,22		700	60	Vários
Linehan <i>et al.</i> (1989)	0,4		2000	60	Umidade de campo e reumidecido à C.C. por 48 h
Zabowski & Ugolini (1990)	0,22 (celulose)	1000/10000		30/5°C	Umidade de campo
Davis (1990)	0,45	4000		60	Umidade de campo
Morrison & Park (1990)	0,45 (Gelman)		2000	60	Umidade de campo
Gibson & Willet (1991)	0,8 (celulose)	2000			Umidade de campo
Walworth (1992)	0,6 (policarbonato)		750	15,60,120,24 0/20°C	Vários
Ross & Bartlett (1992)	Whatman 540	5000/10000		45/5°C	Umidade de campo
Thibault & Sheppard (1992)	0,8	Vários	Vários	Vários	Seca e reumidecida a C.C. por 24 h em refrigerador
Miranda (1993)			900	60	Seca e reumidecida a 80-86% da C.C. por 7 dias
Vaz et al (1993)			2000	60	Umidade de campo
Jones & Edwards (1993)		3000	2010	60/20°C	Vários
Giesler & Lundstrom (1993)		14000	16500	80/5°C	Umidade de campo
Dahlgren (1993)	0,2		15530	30/5°C	Umidade de campo
Castilho <i>et al.</i> (1993)			2039		Umidade de campo
Klepker & Anghinoni (1994)	0,45	4000		30	Seca e reumidecida a C.C.
Lorenz et al (1994)			1250	60	Umidade de campo
Winistorfer (1995)	0,45 (lavagem ácida)	20000		15	Seca e reumidecida na relação 1:2,5 (solo:água) por 2 h
Jallah & Smyth (1995)	0,45	7000/9000	6745/11149	20	Seca e reumidecida na relação 1:1,1 (solo:água)
Kerven <i>et al.</i> (1995)	0,2	2000		45	Seca e reumidecida a C.C. por 24 h
Keller (1995)	0,45	5000	3400	60	Umidade de campo e reumidecido à C.C.
Shen <i>et al.</i> (1996)	0,8/0,2 (PF)	12000		45	Umidade de campo e peneirada 6mm

Boudot <i>et al.</i> (1996)	0,45 (celulose)		2750		Umidade de campo
Silva (1996)		4000		30	
Dang <i>et al.</i> (1996)	0,22	2500	1000	45	Umidade de campo e reumidificado à C.C. por 7 dias
Manoharan <i>et al.</i> (1996)	0,22	10000	12000	5°C	Umidade de campo
Smal & Misztal (1996)		3500		20	Seca e reumidificada a C.C. por 48 h no escuro
Naidu <i>et al.</i> (1996)	0,45	10000		60	Umidade de campo e saturado
Negrin <i>et al.</i> (1996)	0,45 (celulose)		2000	15	Seca e reumidificada na relação 1:2,5 (solo:água) por 24 h e 4°C
Grieve (1996)		4000		90	Umidade de campo
Giesler <i>et al.</i> (1996)		14000	16500	80/5°C	Umidade de campo
Fotovat & Naidu (1997)	0,2 (nylon)	9000	10800	60	Seca e reumidificada na relação 1:0,8 (solo:água) por 24 h
McLaughlin <i>et al.</i> (1997)	0,2		4000	30	Seca e reumidificada por 10 h
Dahlgren <i>et al.</i> (1997)	0,2		2300	30	Umidade de campo
Fotovat <i>et al.</i> (1997)	0,2 (Nalgene)	9000	10800	60	Vários
Matschonat & Vogt (1997)	0,45 (acetato celulose)		3700		Saturada na relação 1:1 (solo:água) por 2/12 h
Matschonat & Vogt (1998)	0,45 (acetato celulose)		3700		Saturada na relação 1:1 (solo:água) por 2/12 h
Fotovat & Naidu (1998)	0,2 (nylon)		10800	60	Seca e reumidificada na relação 1:0,8 (solo:água) por 24 h
Romkens & Salomons (1998)	0,45 (HTTP)		20000N/kg		Umidade de campo
Romkens <i>et al.</i> (1999)	0,45 (HTTP)		2039		Umidade de campo
Jouve <i>et al.</i> (1999)			15000	10/20°C	
Casartelli (1999)	0,45	2000		20	Umidade de campo, peneirada 2mm, saturada por 48 h
Adams <i>et al.</i> (1999)	0,025	3000		30	Umidade de campo e reumidificado à 15% por 12 h
Percival <i>et al.</i> (1999)	0,22		2400	30	Umidade de campo
Strobel <i>et al.</i> (1999)	0,45		4000	30/5°C	Umidade de campo
Gallet & Keller (1999)			3400	90/4°C	Umidade de campo
Hees <i>et al.</i> (2000abc)	0,45 (Millex-HV)	14000		30	Umidade de campo
Ilvesniemi <i>et al.</i> (2000)	0,45	12000		45	Umidade de campo
Ge <i>et al.</i> (2000)	0,4 (policarbonato)	1000	130	30	Umidade de campo e saturado
Tyler (2000)	0,2	Vários	Vários	60/5°C	Umidade de campo
Gustafsson <i>et al.</i> (2000)	0,45		16500	30	Umidade de campo

Adams <i>et al.</i> (2000)	0,025	3000		30	Umidade de campo
Mitrovic & Milacic (2000)	0,45	10000		20	Seca e reumidecida na relação 1:10 (solo:água)
Jackson & Miller (2000)	0,22	2400		20	Seca e reumidecida a C.C.
Misra & Tyler (2000)			13900	60/10°C	Umidade de campo
Hees <i>et al.</i> (2001abc)	0,45 (Millex-HV)	14000		30	Umidade de campo
Ranger <i>et al.</i> (2001)	0,45	2000		20	Umidade de campo mantida a 4°C
Taylor & Percival (2001)	0,22	7000		30/20-25°C	Umidade de campo
Strobel <i>et al.</i> (2001)	0,45		4000	30	Umidade de campo mantida a 0-10°C
Skyllberg <i>et al.</i> (2001)			4000	30	Umidade de campo mantida a 4°C por 2 dias
Smethurst <i>et al.</i> (2001)					Pasta saturada
Merckx <i>et al.</i> (2001)	Não filtrou		1100	60	Seca e reumidecida a C.C.
Tyler & Olsson (2001ab)	0,2/0,8	12000	13900	60/5°C	Seca e reumidecida a 60% C.C.