

COMPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO DE UM SOLO ALAGADO CONFORME A PROFUNDIDADE E O TEMPO DE ALAGAMENTO, UTILIZANDO NOVO MÉTODO DE COLETA⁽¹⁾

R. O. SOUSA⁽²⁾, H. BOHNEN⁽³⁾ & E. J. MEURER⁽⁴⁾

RESUMO

Na coleta da solução de solos alagados, é importante evitar o contato do oxigênio com a solução para prevenir reações redox que podem modificar sua composição química. Neste trabalho, realizado em casa de vegetação, foram feitos estudos sobre o estado de oxirredução e sobre a composição química de um Planossolo, em diferentes profundidades e tempos de alagamento, visando propor um novo método para a coleta da solução de solos alagados. O estudo foi feito em vasos plásticos com 7 kg de material de solo proveniente da camada superficial (0-20 cm), num delineamento inteiramente casualizado, com três repetições. O dispositivo de coleta da solução do solo consistiu de um tubo de polietileno com 70 cm de comprimento e 0,6 cm de diâmetro interno, com duas fileiras de orifícios de 1 mm de diâmetro, recoberto com tela de nylon de 400 mesh, construído na forma de espiral e acomodado nas profundidades de 2, 5 e 10 cm. A este dispositivo foi acoplado um sifão de vidro para a coleta da solução. Após a instalação do sistema coletor, o solo foi mantido alagado por 109 dias, tendo sido feitas coletas semanais da solução nas três profundidades. Foram analisados os valores de E_h e pH e os teores de Mn^{2+} , Fe^{2+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ na solução. As condições de oxirredução e os teores de cátions na solução nas diferentes profundidades, durante o período em que o solo se manteve alagado, permitiram concluir que o método utilizado pode ser indicado para coleta da solução de solos alagados, embora haja necessidade de estudos mais aprofundados sobre o assunto.

Termos de indexação: oxirredução, solução do solo, alterações químicas.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado no I Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado e XXIII Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, Pelotas, 2-5 de agosto de 1999. Recebido para publicação em dezembro de 2000 e aprovado em agosto de 2001.

⁽²⁾ Doutorando em Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS e Professor Assistente do Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas – UFPEL. Caixa Postal 354, CEP 96001-970 Pelotas (RS). E-mail: rosousa@ufpel.tche.br

⁽³⁾ Professor convidado do Departamento de Solos, UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: bohnen@conex.com.br

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFRGS. Bolsista do CNPq. E-mail: egon.meurer@ufrgs.br

SUMMARY: *COMPOSITION OF A FLOODED SOIL SOLUTION AS AFFECTED BY DEPTH AND TIME OF FLOOD, USING A NEW COLLECTING METHODOLOGY*

When collecting flooded soil solution, it is important to avoid molecular oxygen contact to prevent redox reactions that can modify its chemical composition. This work, carried out in a greenhouse, analyzed the redox status and chemical composition of an Albaqualf, in different depths and duration of flooding, aiming to propose a new methodology to collect flooded soil solution. The study was conducted using 7.0 kg plastic pots, filled with soil material from the surface layer (0-20 cm) in a completely randomized design, with three replications. The collecting device consisted of a spiral polyethylene tube (70 cm long and 0.6 cm internal diameter) with small holes (1 mm diameter), covered with a nylon filter (400 mesh) and located in soil depths at 2, 5 and 10 cm. A glass tube was connected to this device to collect the solutions. Soil was maintained flooded during 109 days and soil solution samples were collected every week. The soil solution was analyzed for Eh, pH, Mn, Fe, Ca, Mg and K. Results of the redox status and the cation values in the solution, at different times and depths, allowed to conclude that this method can be used to study the flooded soil environment although further studies are necessary.

Index terms: oxyreduction, soil solution, chemical changes.

INTRODUÇÃO

A solução do solo é o meio através do qual espécies químicas dissolvidas chegam até à superfície da raiz e podem ser carregadas para águas subterrâneas ou superficiais. Está em contato com a fase sólida do solo e com outros componentes envolvidos na ciclagem biogeoquímica (Ritchie & Sposito, 1995). A caracterização da solução do solo é importante para estudos de disponibilidade de nutrientes (fator intensidade), fluxos de elementos e compostos no perfil do solo, presença de elementos tóxicos e estado de oxirredução do solo.

No entanto, a obtenção da solução do solo não é tarefa fácil, pois o método escolhido para tal deve possibilitar obter amostras com características físico-químicas que representem a solução do solo e, se possível, ser de fácil execução. Diferentes métodos de coleta da solução do solo têm sido propostos (sucção, deslocamento, centrifugação, extrato saturado), apresentando diferentes aplicações e limitações, dependendo do objetivo e grau de exatidão exigido nos estudos (Adams, 1974; Suarez, 1999). Para o solo alagado, além disso, existe a necessidade de limitar o contato com o oxigênio do ar atmosférico, pois este modifica o estado de oxirredução dos seus componentes, alterando a sua constituição química.

Procurando minimizar estes fatores, alguns pesquisadores utilizaram cápsulas porosas submetidas a vácuo (Moraes & Dynia, 1990; Sousa, 1991), propostas na 1ª Reunião sobre Ferro em Solos Inundados (Barbosa Filho, 1988) com o objetivo de uniformizar métodos. Foram identificados, porém,

neste método, alguns fatores que podem ser fontes de erro, como: dificuldade em manter a solução do solo livre de oxigênio, uma vez que o sistema não é totalmente hermético; poros não-uniformes das cápsulas, que podem causar fluxo de solução diferenciado, resultando em maior ou menor risco de oxidação, dependendo do tempo de exposição da solução ao ar atmosférico; obstrução dos poros das cápsulas por colóides do solo e precipitação de óxidos/hidróxidos de ferro na superfície interna da cápsula.

Alguns destes problemas foram minimizados por Vahl (1991), que utilizou outro método, sugerido por Bohnen (comunicação pessoal, 1990) com base na extração da solução por tubos plásticos perfurados e recobertos com tela de nylon extremamente fina.

Este trabalho teve como objetivo estudar as variações nas condições de oxirredução e composição da solução, coletada em diferentes profundidades de um solo alagado, visando propor novo método de coleta.

MATERIAL E MÉTODOS

No experimento, realizado em casa de vegetação, localizada na Faculdade de Agronomia da UFRGS, utilizou-se material da camada de 0-20 cm de profundidade de um Planossolo do município do Capão do Leão (RS). As análises do solo, efetuadas segundo método descrito em Tedesco et al. (1995), indicaram os seguintes resultados: pH (água) = 5,2; 13 mg L⁻¹ de P; 36 mg L⁻¹ de K; 3,0 cmol_c L⁻¹ de Ca; 1,8 cmol_c L⁻¹ de Mg; 17 g kg⁻¹ de matéria orgânica;

1,4 g kg⁻¹ de Fe extraído com oxalato de amônio a pH 3; e 160 g kg⁻¹ de argila. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, com três repetições.

O sistema empregado para coletar a solução do solo consistiu de um tubo de polietileno com 70 cm de comprimento, 0,6 cm de diâmetro interno e 0,7 cm de diâmetro externo perfurado com duas fileiras de pequenos orifícios com aproximadamente 1 mm de diâmetro. Em uma das extremidades do tubo, com cerca de 5 cm não perfurada, conectou-se um tubo de silicone com 5 cm de comprimento. A outra extremidade foi fechada com ferro aquecido. O tubo de polietileno foi revestido com tela de nylon com malha de 400 mesh ao longo de toda porção perfurada, amarrando-se firmemente com linha de nylon, para impedir que partículas mais finas do solo penetrassem no tubo junto com a solução do solo. O tubo foi enrolado sobre si, na forma de uma espiral (serpentina), mantendo-se aproximadamente 2 cm de distância entre cada volta da espiral. A espiral foi conectada a um tubo de vidro, na forma de sifão, projetado para fora do vaso, para permitir a retirada da solução do solo sem utilizar sucção forte, o que poderia causar entupimento da tela de nylon ou arrastar partículas de solo junto com a solução. Na extremidade livre do sifão, foi colocado um tubo de silicone com 2 cm de comprimento, fechado com um tampão de vidro.

O solo utilizado no experimento foi passado em peneira com malha de 10 mm e colocado em vasos plásticos, na quantidade de 7 kg de solo seco por vaso. Os dispositivos para a coleta da solução foram acomodados nas profundidades de 2, 5 e 10 cm. O sistema foi mantido com umidade próxima à capacidade de campo por um período de 10 dias, após o qual se iniciou o alagamento, mantendo-se uma lâmina de água com cerca de 5 cm de altura durante 109 dias. Nesse período, foram feitas coletas semanais da solução para o estudo das condições de oxirredução e composição química.

As análises de pH e E_h da solução do solo foram feitas por meio de eletrodos específicos, combinados, ligados a um potenciômetro e previamente instalados em uma "célula eletrométrica", construída em resina de vidro e acrílica (Figura 1). Essa célula dispunha de um pequeno tubo de entrada na parte inferior, que, na amostragem, foi conectado diretamente à extremidade do sifão de coleta da solução. A parte superior da célula apresentava outro tubo, por onde era expelido o excesso de solução do solo. Como a célula permanecia cheia de solução durante as leituras, foi possível minimizar o contato desta com o oxigênio atmosférico, diminuindo os riscos de alteração das suas características eletroquímicas. Após as determinações eletroquímicas, transferiram-se aproximadamente 10 mL de solução da célula diretamente para frascos de vidro, onde havia sido colocado previamente 1 mL de HCl

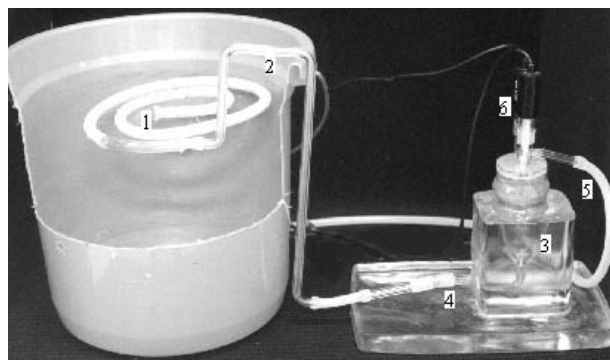


Figura 1. Sistema de extração da solução do solo acoplado à célula eletrométrica de determinação do potencial redox e pH. ¹Tubo de polietileno perfurado e recoberto com tela de nylon; ²Tubo de vidro em forma de sifão; ³Câmara eletrométrica; ⁴Tubo de entrada e saída da solução; ⁵Tubo de descarga do excesso de solução; ⁶Eletrodos de medida do Eh e pH.

1,1 mol L⁻¹, para que a concentração final na amostra ficasse em torno de 0,1 mol L⁻¹. A diluição da amostra foi calculada por diferença de pesagem, antes e depois da colocação do ácido e da amostra no frasco de vidro. Nesta amostra, foram avaliados os cátions por espectroscopia de absorção atômica (Mn²⁺, Fe²⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺) e fotometria de chama (K⁺).

Os valores de E_h foram corrigidos para o potencial padrão do eletrodo de referência (calomelano), conforme a fórmula: E_h = E_{medido} + 248 mV, e, a partir dos valores de E_h corrigidos, foi calculado o pe por: pe = E_h/59. Dos valores de pH e E_h medidos, calculou-se o parâmetro redox pe + pH.

A eficiência do método empregado foi avaliada por meio da interpretação dos resultados da análise química da solução coletada nas diferentes profundidades, conforme descrição prévia, bem como por comparação com outros métodos citados na literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pe + pH diminuiu com o alagamento, estabilizando-se a partir dos 28 dias (Figura 2). Esse comportamento é característico de um solo alagado e ocorre em decorrência da redução de compostos oxidados pela atividade dos microrganismos anaeróbios, que utilizam essas substâncias como receptores de elétrons nas rotas bioquímicas de produção de energia. Observa-se que o pe + pH diminuiu em profundidade, pois o oxigênio dissolvido na lâmina de água pode difundir por alguns

centímetros no solo (Shu-Zheng, 1985), mantendo um ambiente mais oxidado na superfície. Resultados semelhantes foram obtidos por Madruga (1999), na solução de um Planossolo alagado, onde constatou, a partir dos 36 dias de alagamento, que o valor de $pe + pH$ diminuiu de 12 para oito, estabilizando-se neste valor.

As concentrações de Mn^{2+} e Fe^{2+} na solução do solo (Figuras 3 e 4) aumentaram durante o alagamento até atingirem um pico aos 35 dias, diminuindo gradativamente para valores que se mantiveram estáveis. O aumento na concentração destes elementos deveu-se à redução dos óxidos mangânicos e férricos e à posterior diminuição decorrente do aumento do pH que diminuiu a solubilidade desses minerais (Ponnamperuma, 1972).

Os teores de Mn e Fe na solução do solo foram maiores a 10 cm de profundidade, visto que o oxigênio molecular próximo à superfície do solo, difundido lentamente através da lâmina de água, limita a redução dos óxidos de manganês e ferro. A variação nos teores de ferro na solução do solo foi semelhante à observada por outros autores (Dias, 1991; Madruga, 1999; Silva et al., 2000) em Planossolos alagados. Nesses trabalhos, também foi observado aumento nos teores de ferro na solução até 45 dias de alagamento, atingindo valores médios de 200 mg L^{-1} , diminuindo para concentrações médias de 130 mg L^{-1} que se mantiveram constantes até o final do período de alagamento.

Houve um aumento na concentração de Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução (Figuras 5 e 6) que atingiram um valor máximo aos 35 dias de alagamento, decrescendo, após, para valores que se mantiveram aproximadamente constantes até o final do período

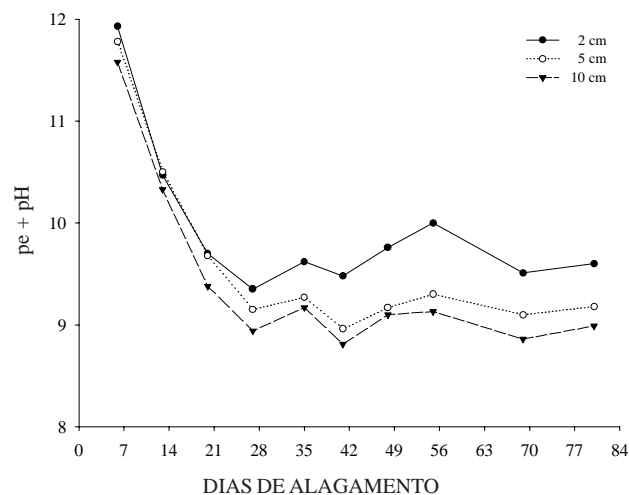


Figura 2. Valores de $pe + pH$ da solução do solo em três profundidades de um Planossolo submetido a alagamento.

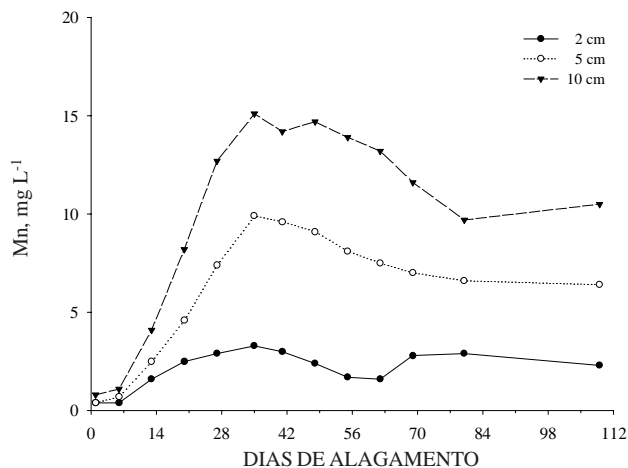


Figura 3. Concentração de manganês na solução do solo em três profundidades de um Planossolo submetido a alagamento.

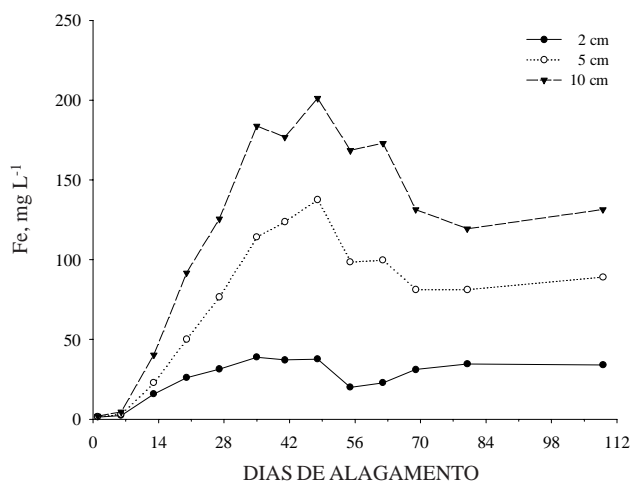


Figura 4. Concentração de ferro na solução do solo em três profundidades de um Planossolo submetido a alagamento.

de amostragem. Os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} aumentaram em profundidade, semelhantemente ao observado para o Fe^{2+} e o Mn^{2+} , provavelmente deslocados dos sítios de troca pelo Fe^{2+} , principalmente, e pelo Mn^{2+} .

Os teores de K^+ na solução do solo apresentaram variação durante o período de alagamento entre as profundidades amostradas. Os teores de K^+ em solução foram muito baixos e as diferenças observadas revelaram oscilações normais (Figura 7).

Analisando os resultados obtidos (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7), verificou-se a coerência entre eles e o ambiente de solo reduzido. A diminuição do $pe + pH$ foi acompanhada pelo aumento dos teores de ferro e manganês, e a cinética de cálcio e magnésio acompanhou aquelas do ferro e do manganês. As

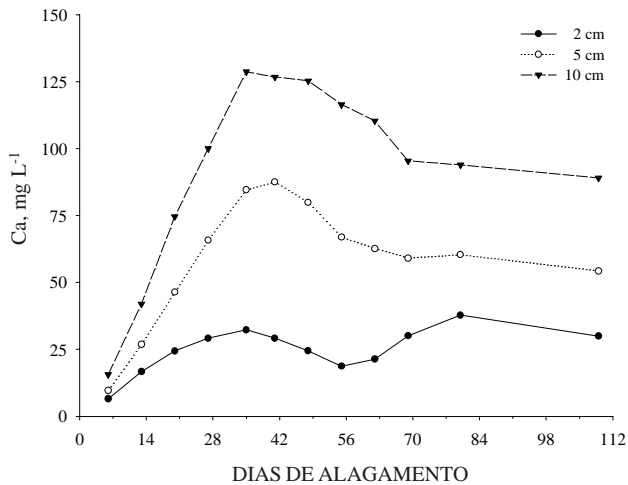


Figura 5. Concentração de cálcio na solução do solo em três profundidades de um Planossolo submetido a alagamento.

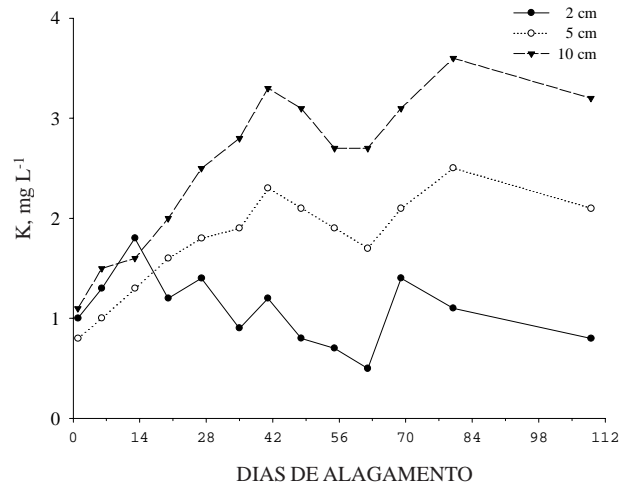


Figura 7. Concentração de potássio na solução do solo em três profundidades de um Planossolo submetido a alagamento.

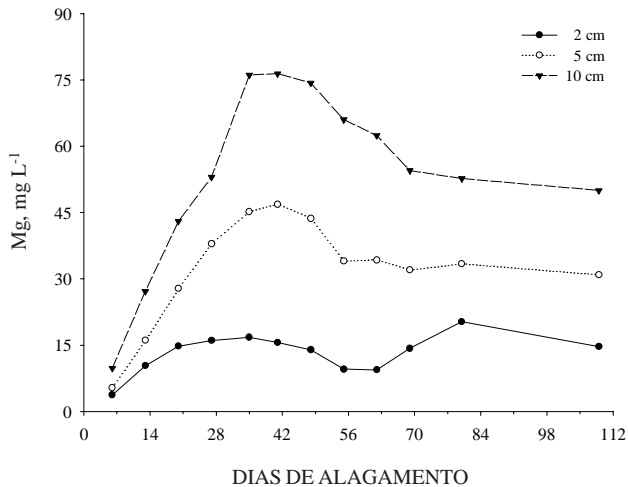


Figura 6. Concentração de magnésio na solução do solo em três profundidades de um Planossolo submetido a alagamento.

condições mais reduzidas na profundidade de 10 cm, evidenciadas pelo parâmetro redox, são confirmadas pelas maiores concentrações de manganês, ferro, cálcio e magnésio. A concordância entre os indicadores foi evidenciada até em variações mais pontuais: por exemplo, o aumento do pH observado a 2 cm de profundidade, aos 56 dias de alagamento, foi acompanhado pela diminuição nos teores dos elementos avaliados.

O parâmetro redox e os teores de cátions em solução foram semelhantes aos observados por outros autores que também estudaram estes indicadores na solução de Planossolos (Dias, 1991; Madruga, 1999; Silva et al., 2000). Tal comportamento reforça a idéia de que os dados deste trabalho são

condizentes com o ambiente de solo reduzido, e que o método empregado foi eficaz para discriminar as alterações eletroquímicas e químicas ocorridas durante o alagamento.

Nas primeiras coletas, foi observada sedimentação de pequena quantidade de partículas finas de solo, no fundo dos frascos de coleta, que diminuiu nas extrações subsequentes. Este material pode conter cátions adsorvidos, deslocados para a solução do solo quando esta é acidificada. Testes realizados com amostras filtradas e não filtradas indicaram não haver diferenças nos indicadores avaliados, neste caso (dados não apresentados), provavelmente por ter sido a quantidade de material depositado pequena. Não é possível garantir que isto não venha a ser problema para outros experimentos, razão por que é aconselhável que se façam testes com amostras filtradas e não filtradas para maior segurança.

Observou-se que o fluxo de solução foi diminuindo ao longo das coletas, indicando que os poros da tela de nylon foram sendo obstruídos aos poucos, por partículas de solo. Em solos argilosos ou com alta quantidade de argila dispersa, este problema pode ser agravado, pois, com a diminuição do fluxo, há necessidade de maior tempo para recolher a solução na célula eletroquímica, aumentando o risco de oxidação, o que pode causar erros, principalmente nas medidas de potencial redox.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

1. As variações no estado de oxirredução e nos teores de cátions trocáveis na solução, considerando as profundidades e o tempo de alagamento, revelaram que o uso de tubos de polietileno

perfurados e revestidos com tela de nylon de 400 mesh, mostrou-se eficiente para a coleta da solução em solos alagados.

2. Há necessidade de estudos mais aprofundados para a proposição de um método que sirva de referência para a coleta da solução em solos alagados.

3. O dispositivo e o método propostos para a coleta da solução de solo alagado foram eficazes para discriminar as modificações dos teores dos indicadores utilizados de acordo com a profundidade de amostragem e o tempo de alagamento.

LITERATURA CITADA

- ADAMS, F. Soil solution. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University of Virginia Press, 1974. p. 441-481.
- BARBOSA FILHO, M.P., coord. REUNIÃO SOBRE FERRO EM SOLOS INUNDADOS, 1., Goiânia, 1987. Anais. Goiânia, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988. 205p.
- DIAS, A.D. Caracterização de parâmetros de solo aerado que permitam prever a ocorrência de toxidez por ferro em arroz irrigado. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1991. 65p. (Tese de Mestrado)
- MADRUGA, E.F. Efeito da aplicação de resíduo vegetal e nitrato sobre a redução do solo. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1999. 47p. (Tese de Mestrado)
- MORAES, J.F.V. & DYNIA, J.F. Uso de cápsulas porosas para extrair solução do solo. Pesq. Agropec. Bras., 25:1523-1528, 1990.
- PONNAMPERUMA, F.N. The chemistry of submerged soils. Adv. Agron., 24:29-96, 1972.
- RITCHIE, G.S.P. & SPOSITO, G. Speciation in Soils. In: URE, A.M. & DAVIDSON, C.M., eds. Chemical speciation in the environment. Glasgow, Blackie Academic & Professional, 1995. p.201-233.
- SHU-ZHENG, P. Oxygen. In: TIAN-REN, Y., ed. Physical chemistry of paddy soils. Hong Kong, C&C Joint Printing Co., 1985. p.47-68.
- SILVA, L.S.; SOUSA, R.O.; BOHNEN, H. Dinâmica de ferro e de potássio na solução de solo alagado em diferentes profundidades, na presença e na ausência de plantas de arroz. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 3., Pelotas, 2000. Resumos Expandidos. Pelotas, Núcleo Regional Sul da SBCS, 2000. (CD-ROM).
- SOUSA, R.O. Alternativas tecnológicas que visam minimizar o efeito da toxidez por ferro em arroz irrigado (*Oryza sativa* L.). Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1991. 96p. (Tese de Mestrado)
- SUAREZ, D.L. Thermodynamics of the soil solution. In: SPARKS, D.L., ed. Soil physical chemistry. 2.ed. Boca Raton, CRC Press, 1999. p.97-134.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- VAHL, L.C. Toxidez de ferro em genótipos de arroz irrigado por alagamento. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1991. 167p. (Tese de Doutorado)