

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**LEVANTAMENTO DOS ATRIBUTOS DE UM INCEPTISOL  
INFLUENCIADOS POR DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO  
DE ARROZ NO NORTE DA ITÁLIA**

CASSIANO CREMON

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL – BRASIL  
2007

**LEVANTAMENTO DOS ATRIBUTOS DE UM ENTISOL  
INFLUENCIADOS POR DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO  
DE ARROZ NO NORTE DA ITÁLIA**

CASSIANO CREMON  
Msc. Eng. Agrônomo

ORIENTADOR Prof. Dr. EDGARD JARDIM ROSA JÚNIOR

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal para obtenção do título de Doutor.

DOURADOS  
MATO GROSSO DO SUL – BRASIL  
2007

**LEVANTAMENTO DOS ATRIBUTOS DE UM INCEPTISOL  
INFLUENCIADOS POR DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE  
ARROZ NO NORTE DA ITÁLIA**

Por

Cassiano Cremon

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal para obtenção do título de DOUTOR EM AGRONOMIA

Aprovada em: 05 de Abril de 2007.

---

Prof. Dr. Edgard Jardim Rosa Junior  
UFGD - FCA  
(Orientador)

---

Prof. Dr. José Oscar Novelino  
UFGD - FCA  
(Coorientador)

---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Paula P. Padovese Peixoto  
UFGD - FCA

---

Prof. PhD. Dario Sacco  
UNITO-AGROSELVITER

---

Dr. Ricardo Fietz  
EMBRAPA - CPAO

Aos meus Pais *Valdir e Rosângela*, aos meus irmãos *Thais e Sérgio*, à *Devanil e Idalina*, pelo amor, dedicação e incentivo.

Ofereço

À minha esposa, meu único e verdadeiro amor **NILBE**.

Dedico

“Entrega o teu caminho ao Senhor, confia nEle, e o mais Ele fará”  
(Salmo 37:5)

## AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de tudo e de todos.

À Universidade Federal do Mato Grosso do Sul e Universidade Federal da Grande Dourados, em especial ao Programa de Pós Graduação em Agronomia, pela oportunidade de realizar o curso.

À Università degli Studi di Torino pela disponibilidade e apoio na realização da Tese, em especial ao Dipartimento di Agronomia, pelo subsídio técnico e operativo.

Ao Programa Alfa, pela oportunidade e apoio financeiro na realização do trabalho de Tese.

À Universidade do Estado de Mato Grosso, pela compreensão e incentivo na conclusão do curso.

Aos Professores Walber Luiz Gavassoni, Luisela Celi pela oportunidade de realização desse intercâmbio Internacional.

Aos Grandes Amigos Prof. Carlo Grignani e Prof. Dario Sacco, pela orientação, sugestões, apoio, amizade e pela enorme confiança que sempre demonstraram, sinceramente muito obrigado !!

Os Professores Aldo Ferrero, Yara Brito Chaim Jardim Rosa, Paula Pinheiro Padovese Peixoto, Néstor Antônio Heredia Zárate, pela críticas, sugestões, atenção, conselhos e amizade.

Ao Professor Edgard Jardim Rosa Júnior pela Orientação, amizade e confiança.

À minha tão grande Família por este mundo afora que me acolheu por onde passei e me auxilio nos momentos difíceis.

À minha Esposa pela confiança inabalável, incansável apoio, incentivo e amor.

Aos meus amigos Sandra, Monica, Chiara, Stefano Monaco, Stefano Macheta, Tiago, Sara, Federico, Barbara, Laura, Milson, Ana Maria, Luiz Antônio, Andressa, Fabio Ono, Leonarda, ufa... a todos muito obrigado !

## **BIOGRAFIA**

CASSIANO CREMON, filho de Valdir Cremon e Dirce Gomes, nasceu em 10 de março de 1978, na Cidade de Birigui, Estado de São Paulo.

Graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, em 2002.

Obteve o Título de Mestre em Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal de Viçosa, no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, em 2004.

Ingressou no curso de Doutorado em Agronomia pela Universidade Federal da Grande Dourados, em 2004.

Ingressou na Università degli Studi di Torino - Itália, como intercambista do programa de Doutorado, patrocinado pelo programa ALFA – União Européia, no ano de 2005.

Efetivou-se como Professor da Universidade do Estado de Mato Grosso, campus de Cáceres - Departamento de Agronomia, na área Ciências do Solo, em 2006.

## CONTEÚDO

	Página
<p><b>LEVANTAMENTO DOS ATRIBUTOS DE UM INCEPTISOL INFLUENCIADOS POR DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE ARROZ NO NORTE DA ITÁLIA</b></p>	
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
INTRODUÇÃO GERAL.....	11
REFERÊNCIAS.....	14
CAPÍTULO 1.....	15
<p><b>MICROMORFOMETRIA DE AGREGADOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE ARROZ NO NORTE DA ITÁLIA</b></p>	
RESUMO.....	16
ABSTRACT.....	17
INTRODUÇÃO.....	18
MATERIAL E MÉTODOS.....	20
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
CONCLUSÕES.....	33
AGRADECIMENTOS.....	34
REFERÊNCIAS.....	35
CAPÍTULO 2.....	37
<p><b>CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM INCEPTISOL SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE ARROZ</b></p>	
RESUMO.....	38
ABSTRACT.....	39
INTRODUÇÃO.....	40
MATERIAL E MÉTODOS.....	43
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
CONCLUSÃO.....	60
REFERÊNCIAS.....	61

CAPÍTULO 3.....	65
MONITORAMENTO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE UM INCEPTISOL SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE ARROZ	
RESUMO.....	66
ABSTRACT.....	67
INTRODUÇÃO.....	68
MATERIAL E MÉTODOS.....	71
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
CONCLUSÃO.....	84
REFERÊNCIAS.....	85

## RESUMO

CREMON, Cassiano. Universidade Federal da Grande Dourados, abril de 2007.  
**Levantamento dos atributos de um Inceptisol influenciados por diferentes sistemas de cultivo de arroz no norte da Itália.** Orientador: Edgard Jardim Rosa Júnior. Coorientador: Néstor Antônio Herédia Zárate.

Considerando dados da FAO, que apontam que mais de 90 % da produção de arroz no mundo é destinada a alimentação humana, torna-se cada vez mais importante, os estudos visando incrementar os índices de produtividade da cultura de forma sustentável. Além desse aspecto a exploração dessa cultura requer um manejo constante da água de submersão e um cuidado especial com relação a critérios que minimizem a contaminação dos mananciais hídricos e das águas subsuperficiais, possibilitando, cada vez mais, a utilização racional desse importante recurso. Nesse contexto, o objetivo geral deste trabalho foi caracterizar e avaliar, no tempo, diferentes sistemas de manejo da cultura do arroz e sua relação com diferentes atributos físicos, hidrológicos e micromorfométricos do solo em um campo experimental de cultivo de arroz no norte da Itália. O experimento foi iniciado no ano de 2002 e instalado nas dependências do Instituto Galileu Ferraris, no município de Vercelli, no norte da Itália. Os tabuleiros cultivados com arroz foram projetados com o intuito de ser uma vitrine demonstrativa para os agricultores daquela região e, por essa razão, de grandes dimensões (100 m de comprimento por 25 m de largura), sendo separados hidráulicamente por meio de barreiras físicas. O solo é da ordem dos Inceptisols e os tratamentos realizados foram três sistemas de cultivo: (CON) sistema convencional de cultivo com semeadura na água; (SEQ) sistema com semeadura realizada no sequeiro e (ROT) sistema rotacionado de milho e arroz em um ciclo trienal. Foram monitorados e caracterizados os seguintes atributos físicos do solo: textura, densidade do solo, densidade de partículas, curva de retenção da água no solo, resistência a penetração, conteúdo de água no solo, porosidade total e morfometria de agregados, nas profundidades de 0 a 12; 12 a 24 e 24 a 35 cm. Essas determinações foram realizadas antes, durante e ao final do desenvolvimento da cultura. Os resultados mostraram que a presença da água combinada com a ação dos implementos agrícolas, teve papel fundamental na desagregação do solo e no surgimento de camadas compactadas, principalmente na profundidade de 12 a 24 cm, contribuindo na diminuição da qualidade estrutural do solo.

### **Palavras-chave:**

Arroz física do solo sistemas de cultivo

## ABSTRACT

CREMON, Cassiano. Universidade Federal da grande Dourados, abril de 2007.  
**Survey of one Inceptisol soil attributes influenced by different management system of rice crops in North of Italy.** Orientador: Edgard Jardim Rosa Júnior.  
Coorientadores: Néstor Antônio Herédia Zárate e Dario Sacco.

Considering FAO data that indicate that more than 90% of rice production in the world was to human feeding, become more and more important studies to search improve the rice yields index in sustainable form. Apart from this aspect, rice crops exploration required constant management of submersion water and special care relating to criterion for contamination minimize in groundwater and sub surface water and be possible the rational use of this important resource. In this context, the general aim of this work was to characterize and to evaluate, in time, different soil management systems and the relationship with soil physics, hydrologic and micromorphometrics attributes on the rice crops experimental field in north of Italy. The experiment was begin in 2002 year and was carried up in Galileu Ferraris Institute facilities', Vercelli municipalities, in North of Italy. The paddy-rice was designed to be the one agricultural show for farmer from that region and because this, have large dimension (100m of length and 25m of width), been hydraulically divided by compact physics border. The soil was classified as Inceptisols and was used three crops systems: (CON) Conventional system with sowing in flooded place; (SEQ) System with sowing of upland rice; (ROT) Crop rotation system with corn and rice crops in triennial cycle. Was monitored and characterized the following soil physics attributes: texture, density of soil, density of particles, water soil retention curve, soil penetration resistance, total water soil content, total porosity and soil aggregate morphometric, in 0 at 12; 12 at 24 and 24 at 35cm deep. These determinations were made before, during, and in latter of crop development. The results showed that water presence added agricultural implements action, have essential role in soil disaggregated and compacted layer, mainly in 12 at 24 cm deep, contributing to decrease of soil structural quality.

Keywords : Rice crops, soil physics, cultivation system

## INTRODUÇÃO GERAL

O arroz, originário do sudoeste asiático, é uma das mais importantes fontes de alimentação da população mundial. A planta tem como característica apresentar grande capacidade adaptativa podendo ser cultivada tanto em ambientes alagados como de sequeiro. É o segundo cereal mais importante em nível mundial, tendo mais de 90% de sua produção global destinada a alimentação humana. O emprego industrial do arroz é apenas de 1,3 % do total colhido, sendo usado na produção de sementes, alimentação animal entre outros. (Luppi *et al.*, 2000).

Para que se tenha uma idéia de onde se concentra a produção ao nível mundial, pode-se observar na (Quadro 1) que dentre os maiores produtores mundiais de arroz destacam-se a China e Índia, evidenciando a máxima concentração da produção e do consumo desse cereal na Ásia.

Quadro 1. Produção total de arroz pelos principais países produtores do mundo.

PAÍS PRODUTOR	PRODUÇÃO (t)
1. China	166.000.000
2. Índia	133.513.000
3. Indonésia	51.849.200
4. Bangladesh	38.060.000
5. Vietnã	34.605.400
6. Tailândia	27.000.000
7. Myanmar	21.900.000
8. Filipinas	13.171.087
9. Brasil	10.219.300
10. Japão	9.863.000

Fonte: FAO (2004).

Os principais países produtores de arroz na Europa são Itália, Espanha, Portugal, Grécia, França e Rússia. A Itália tem aumentado, a cada ano, em milhões de toneladas a produção desse cereal. Em 2003 o total produzido foi de 1.350.000 t de arroz em uma área de 219.987 ha (FAO, 2004), demonstrando o considerável potencial dessa cultura na agricultura Italiana, colocando esse país como o maior

produtor de arroz da Europa. Um terço da produção é destinada ao consumo interno e o restante à exportação para todo o mundo. São utilizados, basicamente, duas espécies de arroz no território Italiano: *Oryza sativa*, de origem asiática e *Oryza glaberrima*, originária da África. Da espécie asiática foram derivadas outras três espécies: *indica*, originada na Índia, *javanica*, cultivada nas áreas da Indonésia e *japônica*, originária da China (Luppi et al., 2000).

No âmbito da diversidade de variedades de arroz cultivadas, a Itália se apresenta com destaque, sendo cerca de trinta variedades, originárias da hibridação da estirpe *japônica*. O arroz Italiano, segundo a normativa Européia, pode ser dividido de acordo com o tamanho em: pequeno (doce), médio (normalmente comercializado) e longo (risoto). Na Itália, esse último representa a variedade mais consumida e uma das mais cultivadas (FAO, 2004). No que se refere à localização de cultivo do arroz, se dá, sobretudo, na zona chamada Planície Padana no centro ocidental, a esquerda do Rio chamdo Pó, o mais importante do Norte da Itália. Outras regiões do País também são reconhecidas como produtoras de arroz, tais como a Emília Romana e a Sardegnna.

Na Itália o arroz constitui a base de uma estrutura homogênea de produção, altamente especializada, que supera por extensão a todos os outros países Mediterrâneos. Nessas áreas, porém, são crescentes as preocupações por parte dos órgãos de fiscalização territorial e de toda a sociedade, no que se refere ao impacto ambiental desta cultura, visto a crescente utilização de fertilizantes e de agrotóxicos e a necessidade gradativa de incremento produtivo (Chave, 2001; Bazzani et al., 2003).

O carreamento de nutrientes e pesticidas pela água de superfície e pelo lençol freático é um risco conhecido e constante na atividade orizícola, induzindo a necessidade de imposição de limitações no uso de tais produtos. Principalmente na cultura do arroz irrigado, existe um risco potencial maior de contaminação dos mananciais hídricos, por meio das elevadas doses de fertilizantes e de contaminantes. Por sua vez, um sistema bem conduzido pode promover benefícios ao ambiente. Uma das maneiras é utilizando condicionadores, tais como os subprodutos das indústrias alimentícias e a reciclagem da água usada na agricultura, fazendo com que o solo seja um potente filtro natural, com melhoria na qualidade da água utilizada para fins agrícolas.

Para melhor compreensão da dinâmica dos processos que envolvem o cultivo de arroz e assim minimizar a contaminação ambiental, é importante a

implantação de áreas de monitoramento permanente do ambiente orizícola, confrontando dados de diferentes métodos de cultivo de arroz, para difusão de novas técnicas. A produção em diferentes formas de cultivo de arroz em âmbito quantitativo e qualitativo são também elementos usados na comparação entre técnicas culturais (Pedrotti et al., 2001; Gomes et al., 1992)

Qualquer que seja o tipo de manejo utilizado, os conhecimentos acerca do sistema solo-planta-atmosfera são fundamentais para a prática de uma agricultura equilibrada. Na orizicultura, o estudo das propriedades físicas do solo e em particular, o estudo do estado de agregação do solo, são importantes para conhecer a relação ar, calor e água presentes no sistema (Pedrotti et al., 2001), e assim, minimizar o efeito contaminante no ambiente, característico da cultura do arroz.

O monocultivo de arroz é outro problema sério e comum na orizicultura, que leva a autolimitação da cultura, isto é, impede a continuidade de cultivo devido ao aumento gradativo de plantas infestantes, pragas e moléstias, bem como a degradação biológica do sistema (Pedrotti et al., 2001).

A intensificação do uso de veículos e implementos agrícolas pesados, utilizados normalmente sobre alta condição de umidade no solo, agravam ainda mais os problemas da estrutura, normalmente existentes em solos de várzea. Segundo Pauletto et al., (1993) pode-se acrescentar ainda as ações sucessivas de preparo ao longo dos anos, acarretando sérios problemas de drenagem, assim como a compactação subsuperficial, dificultando a movimentação da água e a aeração.

Tendo em vista o exposto, torna-se importante conhecer e monitorar a funcionalidade do sistema poroso dos solos considerando propriedades, tais como: quantidade, dimensão, morfologia, continuidade e orientação dos poros, aliado ao estudo hidrológico do solo, buscando inferir sobre a complexa dinâmica da água no sistema.

## REFERÊNCIA BLIOGRÁFICA

BAZZANI G.; Di PASQUALE S.; GALLERANI V.; MORGANTI S.; RAGGI M.; VIAGGI D. The economic, social and environmental sustainability of irrigated agriculture in Northern Italy: confronting water and agricultural policy scenarios, **EAERE**, Bilbao, p. 27-30, 2003.

CHAVE, P. **The EU Water Framework Directive**. IWA Publishing, London; 2001.

FAO. Il riso è vita. Disponível em <<http://www.fao.org/rice2004/it/>>. Acessado em 11.mar.2005.

GOMES, A. S.; CUNHA, N. G.; PAULETTO, E. A.; SILVEIRA, R. J. C.; TURATTI, A. L. Solos de várzea: uso e manejo. In.: MARCÂNTONIO, G. (Coord.). **Solos e irrigação**. Porto Alegre : Ed. da UFRGS/FEDERACITE, p. 64-79, 1992.

LUPPI, G. **Coltivazioni erbacee. Cereali e proteaginose, Riso**. Bologna. v.3, 2000.

PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; FRANZ, A. F. H.; SOUZA, R. O. Manejo de solo e água em arroz irrigado. In: PESKE, S.; NEDEL, J.; BARROS, A. (Ed.). **Produção de sementes de arroz**. Pelotas : Ed. da UFPel, v. 1, p. 64-144, 1993.

PEDROTTI, A.; PAULETTO E. A.; ALGENOR, S. G.; ARIIVALDO, L. T.; SILVIO, C. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 4, p. 709-715, 2001.

# CAPÍTULO 1

# MICROMORFOMETRIA DE AGREGADOS DO SOLO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE ARROZ NO NORTE DA ITÁLIA

## RESUMO

Os estudos das características micromorfológicas dos agregados do solo tem se mostrado uma importante ferramenta de análise e monitoramento das transformações sofridas pelos mesmos, em função das diferentes técnicas de manejo adotadas. Olszewski et al., (2004) concluíram que a análise de imagens digitais mostrou-se sensível na detecção de mudanças na morfologia dos agregados do solo, sendo bastante promissora como uma nova ferramenta nos estudos da estrutura do solo. O presente trabalho teve por objetivo caracterizar micromorfológicamente os agregados de um Inceptisol sob a influência de diferentes sistemas de manejo da cultura do arroz. Os sistemas de cultivo foram: (CON) sistema convencional de cultivo com semeadura na água; (SEQ) sistema com semeadura realizada no sequeiro e (ROT) sistema rotacionado de milho e arroz em um ciclo trienal. Os agregados foram coletados, nas profundidades de 0 a 20 cm, sendo utilizados os retidos no intervalo de diâmetro de 9,52 a 4,76 e 4,76 a 2 mm, após com um jogo de peneiras padrão. Para tanto, foram abertas trincheiras de 40 x 40 cm e o peneiramento feito a campo (com dez movimentos pré-estabelecidos). As análises dos agregados foram realizadas por meio de imagens digitais obtidas via scanner (300 dpi) sobre um montante de 100 agregados dispostos em um tabuleiro de furos desencontrados com o intuito de se preservar o princípio da casualização. As imagens foram posteriormente analisadas com o programa QUANTPORO. As características dos agregados avaliadas foram: área, perímetro, rugosidade e aspecto. Os dados obtidos das análises micromorfológicas dos agregados do solo foram submetidos a análise de distribuição de frequências, teste de Qui-quadrado e testes de correlação não paramétrica de Spearman. No tratamento em que a semeadura é realizada na ausência de lâmina de água sobre o solo, os agregados são ainda menores que no tratamento convencional, porém tendendo a serem mais quadrados e mais rugosos, já o tratamento rotacionado foi o que apresentou maior frequência de agregados grandes, e tendência de aumento na rugosidade periférica. Com base nas principais características micromorfológicas dos agregados menores (2 a 4,76 mm), conclui-se que no tratamento convencional, os agregados foram preponderantemente menores, mais arredondados e mais lisos.

### **Palavras-chave:**

Micromorfometria, arroz, física do solo

## MICROMORPHOMETRIC OF SOIL AGGREGATE UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEM OF RICE CROPS IN NORTH OF ITALY

### ABSTRACT

The studies of micromorphometric soil aggregate have showed one important analyses tool and to monitoring changes suffers by it, to function of different techniques adopted in soil management. Olszewski et al. (2004) concluded that digital image analyses showed sensible on detection of morphology changing in soil aggregate, and been fairly promising as a new tool in soil structure studies. The aim of this work was to characterize micromorphometric aggregate of one Inceptisols under influence of different management system of rice crops. The cultivation systems used was: (CON) Conventional system with sowing in flooded place; (SEQ) System with sowing of upland rice; (ROT) Crop rotation system with corn and rice crops in triennial cycle. Aggregate was collected in 0 at 20 cm deep, been used those was retained between 9,52 at 4,76 and 4,76 at 2 mm of diameter. For this, was hole dug in the ground with 40 x 40 cmin soil and the sieving was conduct in field (with ten movement pre established) with one group of standard sieves. The aggregates analysis was realized by digital image obtained from scanner (300 dpi) over one quantity of 100 aggregate disposed over one tray punctured without ordination with purpose of preserve the randomized experiment principle. The image was analyzed using QUANTPORO program. The features of aggregate evaluated were: area, perimeter, roughness and aspect. Date obtained of micro morph metric analyses of soil aggregate was submitted at Frequency distribution analyses, Chi-square test and nonparametric correlation of Spearman' test. In management system where that sowing are realized in absence water over soil, aggregate was, even smaller size than in CON Systems, but has a tendency to have more square shape "blocky peds", and more roughness surface. But, ROT System was of that showed higher frequency of greater size aggregate, and tendency to increase in periphery roughness. With base in main micromorphometrics features of smaller size aggregates (2 a 4,76 mm), the conclusion was that in conventional system, aggregates has mostly smaller, more rounded shape and more smooth surface.

**Keywords:** Micromorphometric, rice crops, soil physical

## INTRODUÇÃO

O que se tem discutido na orizicultura ao nível mundial atualmente é a busca por alternativas de manejo mais sustentáveis dos solos sob arroz irrigado. Segundo Gomes et al. (1992), os grandes avanços seriam, além da maior eficiência no controle do arroz vermelho, procedimentos econômicos mais viáveis que propiciam o uso mais intensivo do solo. O cultivo do arroz tem um forte impacto sobre os atributos físicos do solo, em especial pela utilização de implementos que revolvem continuamente o sistema solo, além de práticas, como a sistematização, que atuam sobre camadas do mesmo. Isso vai contrariamente as afirmações de Hudson (1977), que diz que a melhor prática de manejo é aquela que utiliza o máximo dos recursos disponíveis, sem causar degradação das propriedades do solo.

Nessa linha de raciocínio, a caracterização do sistema poroso do solo é muito importante nas investigações sobre armazenamento e movimento de gases e água, no estudo de desenvolvimento de raízes de plantas, nos problemas concernentes com a infiltração e retenção de calor e nas investigações da resistência dos solos (Vomocil, 1965 e Pereira, 2001). De acordo com Silva e Mielniczuk (1997), a presença de camadas compactadas decorre de uma degradação estrutural, com o aumento da densidade, redução da porosidade total e tamanho médio dos agregados, prejudicando a taxa final de infiltração de água no solo.

A dinâmica da água bem como sua disponibilidade tem sido citada por muitos autores como um indicador da qualidade estrutural dos solos. Lal (1976) considera que os atributos físicos do solo são os principais limitantes no processo de produção agrícola.

No trabalho de construção do conhecimento qualitativo acerca da estrutura de um solo, surgem os estudos das análises digitais de agregados, caracterizando-os segundo suas formas geométricas por meio de índices e medidas, técnica essa conhecida como micromorfometria. O desenvolvimento de tecnologias de obtenção, processamento e quantificação de imagens baseadas no uso de microcomputadores e de seus periféricos, segundo Viana (2001), permite que as etapas lentas do processo de análise de imagens em geral, como por exemplo, as de agregados do solo, sejam efetuados de forma rápida e automática. Conway e Jenkins (1983) relatam que essas tecnologias de obtenção e análise de imagens por

microcomputadores, apresentam a vantagem adicional do baixo custo e da compatibilidade com os recursos da maioria dos usuários, além da facilidade de uso.

As características morfométricas a tempos são utilizadas nos estudos de sedimentologia. A forma e o arredondamento dos grãos de areia e dos seixos têm sido usados para decifrar histórias de depósitos sedimentares (Suguio, 1973). Para este mesmo autor, uma descrição da forma geométrica de partículas envolve normalmente vários conceitos relacionados. De um lado têm-se os fatores de forma, que dependem dos comprimentos dos eixos principais perpendiculares entre si e, de outro, a angularidade ou arredondamento das partículas. A forma ou as relações de comprimento dos eixos controlam parcialmente o comportamento dos seixos durante o transporte e a deposição, enquanto o arredondamento ou rugosidade, são decorrentes da distância e o rigor do transporte.

É importante neste sentido que se tenha um processo simples e objetivo que permita expressar numericamente a forma e tamanho das estruturas, não somente para fins descritivos, mas também para execução de estudos quantitativos de vários fatores envolvidos na evolução, até a forma final da partícula ou do fragmento.

A forma e distribuição dos poros em diferentes sistemas de preparo de solo, por meio de imagens em preto e branco, têm sido estudadas por diferentes autores, tais como Schaefer et al. (2001) e Barros et al. (2000). Esses últimos analisaram a transformação e reversibilidade da estrutura de solo por morfologia quantitativa, utilizando-se de análise de imagens obtidas por câmera de vídeo acoplada a microscópio. Para Brewer (1976), a estrutura representa a própria constituição física do solo, expressa pelo tamanho, pela forma e pela distribuição ou pelo arranjo dos espaços vazios e das partículas sólidas do solo, sejam elas primárias ou secundárias. Fernandes (1982) e Dadalto et al. (1989) concluíram que os agregados mostram diferenças quanto a tamanho, forma, estabilidade e adesão entre si e que alterações nas condições naturais do solo por sistemas de manejo podem alterar o tamanho, a distribuição e a estabilidade desses agregados.

Considerando o acima exposto, realizou-se este trabalho com o objetivo de caracterizar, micromorfometricamente, os agregados de um Inceptisol sob a influência de diferentes sistemas de manejo da cultura do arroz.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Instituto Galileu Ferraris no município de Vercelli na região norte da Itália, no ano de 2005, em um solo identificado segundo a classificação americana como sendo da ordem dos Inceptisols referente à ordem dos Cambissolos no sistema brasileiro de classificação dos solos. O levantamento dos atributos do solo foi realizado em um projeto de monitoramento da cultura do arroz iniciado no ano de 2002, primeiro ano de condução, ano esse que possibilitou adequações dos equipamentos implantados para manejo da água de irrigação, bem como melhorias na canalização da água de entrada e de saída ao interno de cada tabuleiro de cultivo de arroz. Os tabuleiros eram de 100 m de comprimento por 25 m de largura que foram isolados hidraulicamente entre si, por meio de barreiras físicas levantadas com solo, tendo por objetivo analisar e monitorar separadamente cada sistema de cultivo sem que ocorressem efeitos de diluição ou acúmulo devido à transferência de material de um tabuleiro a outro. Na Tabela 1, estão apresentadas às características dos diferentes métodos de cultivo de arroz.

Tabela 1. Descrição dos três manejos adotados para a cultura do arroz. UFGD, 2005 – Vercelli.

<b>Manejo</b>	<b>Manejo da palha</b>	<b>Época de aração</b>	<b>Irrigação</b>	<b>Rotação</b>
Convencional (CON)	incorporada	Outono	Sim-Semeadura submersa	Não
Sequeiro (SEQ)	incorporada	Primavera	Sim-Semeadura em sequeiro	Não
Rotacionado (ROT)	incorporada	Primavera	Não	Sim

O tabuleiro com o sistema de manejo ROT foi caracterizado pela presença do milho em um ciclo trienal. O histórico de cultivo nesses tabuleiros, ao longo dos anos foi: Tabuleiro ROT: ano de 2002 = milho; 2003 = arroz; 2004 = arroz e 2005 = milho. No Tabuleiro CON e SEQ, monocultivo da cultura do arroz com seu respectivo sistema de cultivo. O esquema de distribuição a campo dos tabuleiros com suas respectivas dimensões, e manejo da água de irrigação, esta demonstrado na Figura 1. Os pontos relativos de coleta de dados dos diferentes sistemas de cultivo, para fins de caracterização do solo, seguiram os pontos Alto, Médio e Baixo como estão apresentados na Figura 1.

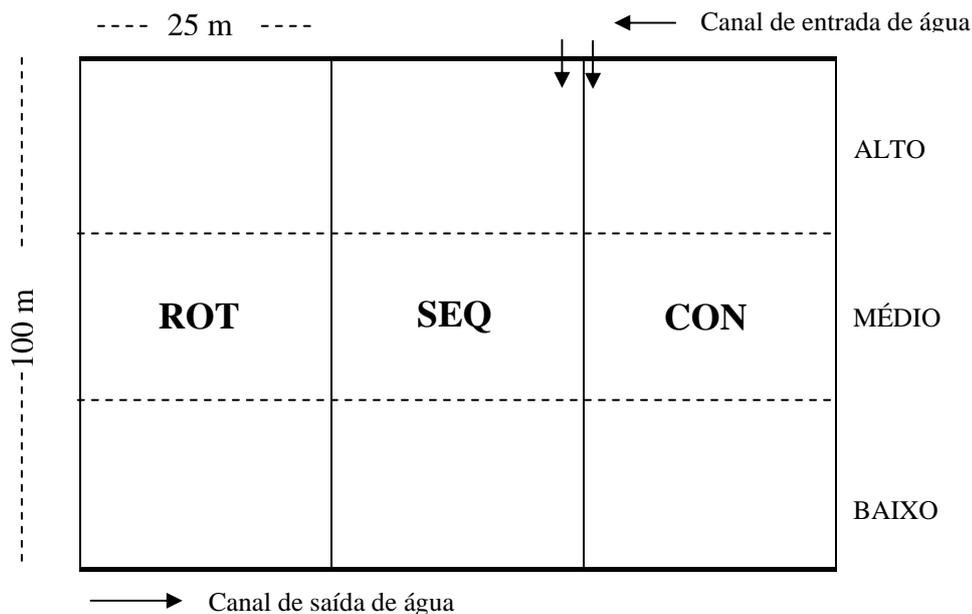


Figura 1. Representação dos Tabuleiros com seus respectivos sistemas de cultivo de arroz.

Em março de 2003 deu-se o primeiro ano de caracterização do solo, sendo realizada uma caracterização química e granulométrica, apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química e granulométrica de três horizontes de solo em cada tabuleiro no início do projeto. UFGD, 2005 – Vercelli.

Tabuleiros	Profundidade (cm)	CON			SEQ			ROT		
		25	50	90	25	50	90	25	50	90
Areia	%	46,5	56,9	66,1	34,8	21,3	21,3	37,1	26,5	17,8
Silte	%	41,2	33,5	24,3	54,7	59,7	59,1	52,9	59,5	61,3
Argila	%	12,3	9,6	9,5	10,5	19,0	19,6	10,0	14,0	20,9
pH	água	6,7	6,8	7,1	6,4	7,4	7,2	6,7	7,3	7,3
CaCO <sub>3</sub> tot.	%	0,8	0,3	0,8	0,0	1,2	1,5	0,0	1,2	0,9
C. org.	dag kg <sup>-1</sup>	0,7	0,5	0,1	1,1	0,3	0,2	1,2	0,6	0,4
N Total	g kg <sup>-1</sup>	0,59	0,44	0,16	0,87	0,21	0,16	1,18	0,62	0,37
C/N		10,5	11,7	9,0	12,5	14,3	12,8	10,5	9,5	9,4
CTC	cmol <sub>c</sub> cm <sup>-3</sup>	11,2	10,7	9,8	11,2	15,9	19,5	12,5	14,0	18,8
K	mg dm <sup>-3</sup>	45,6	34,4	19,8	41,6	13,2	25,0	40,0	24,9	22,5
P	mg dm <sup>-3</sup>	26,5	25,3	17,2	32,3	12,2	9,9	40,0	13,3	6,2

É importante ressaltar que um dos objetivos dessa experimentação foi o de servir de “vitruve” para disseminação de novas tecnologias de cultivo de arroz no

norte da Itália, sendo essa a principal razão pela qual os tabuleiros são de grandes dimensões (100 m de comprimento por 25 m de largura). Sendo assim a repetibilidade de cada tratamento seria inviável em termos de espaço para a realização das práticas culturais além da dificuldade de implantação do sistema de monitoramento permanente da água e determinação do balanço hídrico. Nesse contexto, optou-se por um levantamento dos atributos do solo em cada sistema de cultivo cujas repetições para cada atributo ou planta analisada se deram em três pontos ao interno de cada tabuleiro (alto, médio e baixo) como observado na Figura 1.

A amostragem do material destinado à análise química e micromorfométrica deu-se no mês de março de 2005 quando não havia nenhuma cultura a campo. As análises químicas foram realizadas segundo metodologia padrão (SIA, 2000). Os agregados foram amostrados na profundidade de 0 a 20 cm e coletados os agregados retidos no intervalo de 2 a 4,76 e entre 4,76 e 9,52 mm de diâmetro, por meio de um jogo de peneiras padrão. Foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 40 x 40 cm nos três pontos alto, médio e baixo de cada unidade experimental e no momento da coleta das amostras os agregados foram separados mediante peneiramento através de movimentos leves e com quantidades pré-estabelecidas (movimentos de vai e vem manual, por dez vezes). Os agregados foram acondicionados em frascos de plástico liso e posteriormente levados para análise no laboratório. As amostras foram secas ao ar antes de serem submetidas a qualquer tratamento ou análise.

O estudo dos agregados iniciou-se com a obtenção de imagens dos agregados usando um *scanner* (HP 6100C, com capacidade de resolução ótica de 1.200 dpi) e posterior processamento destas imagens pelo programa computacional QUANTPORO. Uma amostra de 100 agregados de cada tabuleiro foi distribuída sobre o *scanner*, sendo os mesmos separados mediante utilização de uma plataforma de madeira projetada com furos desencontrados.

O programa QUANTPORO tem capacidade para processar e analisar diferentes imagens e medir ou avaliar características morfológicas de objetos em geral. Para o estudo em questão optou-se por uma resolução de 300 dpi para obtenção das imagens. Utilizou-se do sistema de cores RGB na preparação das imagens para posterior análise, onde as cores são formadas a partir da combinação dos comprimentos de onda vermelho verde e azul. Segundo Viana (2001), estas cores

são combinadas para produzir a imagem colorida, e a informação contida em cada pixel é composta pelos valores relativos destas. Depois de obtida a imagem RGB, a mesma foi submetida a uma filtragem por meio do filtro de mediana que opera substituindo os valores de cada pixel pelo valor da mediana dos pixels da vizinhança. Seu efeito principal consiste na redução de pixels isolados, grande parte destes ruídos ou artefatos, que ocasionam distorções principalmente nas medidas de perímetro. Todas as imagens ainda foram convertidas em sua forma binária, ou seja, constituída apenas pelas cores preta e branca por meio do comando threshold do programa. A obtenção das imagens pode ser feita com o uso de qualquer programa de imagens e após o processamento pelo QUANTPORO, as medidas estão disponíveis em unidades do Sistema Internacional. As características analisadas de cada agregado foram:

1. **Área (cm<sup>2</sup>):** é medida com o número de pixels no polígono;
2. **Perímetro (cm):** o comprimento da projeção do limite exterior do Agregado;
3. **Aspecto:** fornece o resultado entre 0 e 1, e, quanto maior o valor, maior o grau de arredondamento. É calculado a partir da fórmula:  $(4 \times \pi \times \text{área})/\text{perímetro}^2$ ;
4. **Rugosidade:** expressa as estrias do agregado, sendo que, quanto mais liso mais próximo de 1.

Para melhor compreensão acerca da definição de um índice e a sua aplicação a uma determinada forma geométrica, foi confeccionado um esquema de ilustração que segue no Quadro 1.

Quadro 1. Representação de figuras geométricas com seus respectivos valores de Aspecto (grau de arredondamento) e Rugosidade, obtidos por meio do programa QUANTPORO. UFGD, 2005 – Vercelli.

Formas Geométricas	Aspecto	Rugosidade
	1,00	0,90
	0,85	0,80
	0,40	0,65

Percebe-se que quando uma figura geométrica é perfeitamente redonda, conseqüentemente o seu valor de aspecto atinge o máximo que é 1,00. Esta característica expressa o quão arredondado é o agregado analisado. Já o valor de rugosidade, que expressa às estrias da forma geométrica, é 0,90. Quando se analisa uma forma geométrica perfeitamente quadrada, obtém-se um valor de aspecto de 0,85 e de rugosidade de 0,80. Nesse ponto é que a escala do gráfico se torna de fundamental importância, uma vez que a diferença de um agregado redondo para um agregado quadrado é mínima dentro de uma escala de 0 a 1.

Os dados obtidos das análises micromorfológicas dos agregados do solo foram submetidos ao teste de distribuição de frequências, sendo as classes definidas segundo a fórmula de Stunges ( $K = 1 + 3,22 * \log n$ ). As distribuições foram testadas segundo o teste de Qui-quadrado, teste de mediana e correlação não paramétrica de Spearman.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas análises de distribuição de frequência dos agregados, constatou-se que os dados se distribuíram em seis classes distintas (Figura 2). As dimensões dos agregados variaram de maiores que 0,15 cm<sup>2</sup> a menores que 0,55 cm<sup>2</sup>, dentro de uma faixa de peneiramento entre 4,76 e 9,52 mm de diâmetro de malha e maiores que 0,07 cm<sup>2</sup> a menores que 0,15 cm<sup>2</sup>, dentro de uma faixa de peneiramento entre 2,00 e 4,76 mm de diâmetro de malha (Figura 2). Foi aplicado o teste de Qui-quadrado para as diferentes distribuições de frequências e constatou-se que não existiram diferenças significativas para a variável área na avaliação dos agregados de maior diâmetro, significando que as tendências de aparecimento de classes de agregados é igual em ambos os tratamentos (Figura 2a). Já na análise dos agregados de menor diâmetro constatou-se uma diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Qui-quadrado (Figura 2b). O tratamento SEQ foi o que proporcionou o maior aparecimento de agregados menores, concentrando maior parte dos agregados na faixa de 0,07 a 0,09 cm<sup>2</sup>. O tratamento CON também seguiu uma tendência de apresentar agregados de tamanho menores, com maior concentração na classe de 0,09 a 0,11 cm<sup>2</sup> de área. Já o sistema ROT, foi o que se diferenciou dos demais por proporcionar tendência de agregação, sendo que a maior frequência dos agregados deu-se na faixa >0,15 cm<sup>2</sup>.

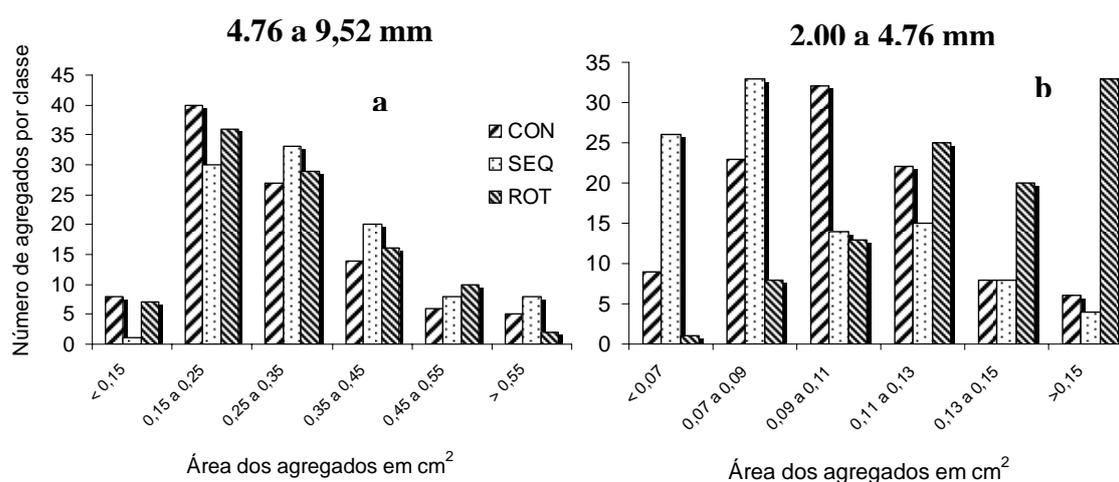


Figura 2. Frequência de agregados nas diferentes classes de tamanho.

Sendo assim, verificou-se que os sistemas que mantiveram água durante todos os anos de cultivo 2002 a 2005 propiciaram incrementos no número de agregados menores. Isso pode estar vinculado ao fato de apresentar menor teor de matéria orgânica e carbono orgânico (Tabela 3). Segundo Roscoe e Machado (2002) sistemas onde o fluxo de carbono é mais intenso, tendem a ter uma atividade biológica maior e, conseqüentemente, um processo de ordenação biológica que favorece a estruturação do solo, provavelmente o ocorrido no sistema ROT.

Outra inferência que se pode fazer é a respeito do efeito da água como agente desagregador na estrutura do solo, principalmente pela presença constante de uma lâmina d'água sobre o solo. Esse efeito pode estar associado à necessidade de realização das práticas agrícolas como aração, gradagem e tratos culturais em que o implemento transita na área com o solo úmido, incrementando possíveis efeitos de compactação e desagregação (Taylor e Burt, 1987; Hakansson e Danfort, 1981).

Tabela 3. Caracterização química do solo, março de 2005. UFGD, 2005 – Vercelli.

		Tratamentos		
		CON	SEQ	ROT
pH (H <sub>2</sub> O)		6,27	6,17	6,10
M.O.	dag kg <sup>-1</sup>	1,36	1,67	2,04
C.O.	dag kg <sup>-1</sup>	0,79	0,97	1,19
N total	dag kg <sup>-1</sup>	0,08	0,08	0,11
C/N		10,37	11,57	11,00
CTC	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	9,50	9,40	10,23
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,84	4,50	4,84
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,71	0,79	0,78
K	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,15	0,14	0,13
V	%	49,54	57,83	56,18
P	mg dm <sup>-3</sup>	34,62	31,72	41,92

Esses resultados corroboram os dados de Cremon et al. (2007) e Olszewski et al., (2004) que analisando a micromorfometria de agregados de um Latossolo de textura argilosa, comparando diferentes sistemas de manejo (plântio direto e convencional), constataram que as diferenças de área dos agregados se devem em parte ao aporte de material vegetal no solo e ao não revolvimento do mesmo. Resultados semelhantes foram obtidos por Cremon (2004), que constatou que o aporte de material vegetal de milho com leguminosas consorciadas, incrementou a área dos agregados, porém com a ressalva de que esses resultados foram para solos tropicais.

A presença de agregados de maiores dimensões confere ao solo uma melhoria na porosidade do solo, propiciando um melhor desenvolvimento do sistema radicular das plantas. Segundo Hillel (1982), é importante manejar o solo com o objetivo de obter agregados de maior diâmetro, pois uma adequada condição estrutural do solo afeta acentuadamente os regimes de água, ar e calor do solo. Os sistemas convencionais de cultivo, nos quais são realizadas arações e gradagens, são os que provocam maiores impactos na matéria orgânica do solo, por promoverem alterações na temperatura, umidade e aeração, rompimento de agregados, aumento no grau de fracionamento e incorporação dos resíduos vegetais e diminuição da cobertura do solo (Bayer e Mielniczuk, 1999).

Os agregados analisados neste trabalho foram os da camada de 0-20 cm, porção mais afetada pelas práticas agrícolas e pelos agentes erosivos, mesmo em manejos conservacionistas onde esses efeitos são menos pronunciados. Olszewski et al. (2004) analisando imagens digitais de agregados oriundos de diferentes sistemas de cultivo, ressaltam que sistemas que se utilizam de grades, arados de discos e/ou aivecas, promovem a pulverização dos agregados do solo.

O perímetro é uma característica que expressa o comprimento da borda dos agregados (cm) e tem uma intrínseca relação com a área dos mesmos. Nas Figuras 3 e 4, pode-se observar a distribuição dos agregados para cada tratamento, sendo que se verificaram diferenças significativas com ( $p < 0,01$ ) pelo teste de Mediana. Nos agregados de maior diâmetro (Figura 3) o tratamento SEQ foi o que apresentou maior frequência de agregados com maior perímetro e o tratamento CON, maior frequência de agregados com menor perímetro. Nos grupos de agregados de menor diâmetro (Figura 4), constatou-se que o tratamento ROT foi o que apresentou maior número de agregados com perímetro maior.

Observou-se que no sistema ROT há um incremento na área dos agregados e maior comprimento do entorno das estrias dos mesmos, característica essa que pode estar relacionada à maior resiliência dos agregados ou tendência a agregação. Segundo Olszewski et al. (2004) acredita-se que sistemas de manejo que promovam menor revolvimento do solo devam apresentar maiores valores para a variável perímetro, graças à maior proporção de agregados de tamanho e rugosidade externa maiores.

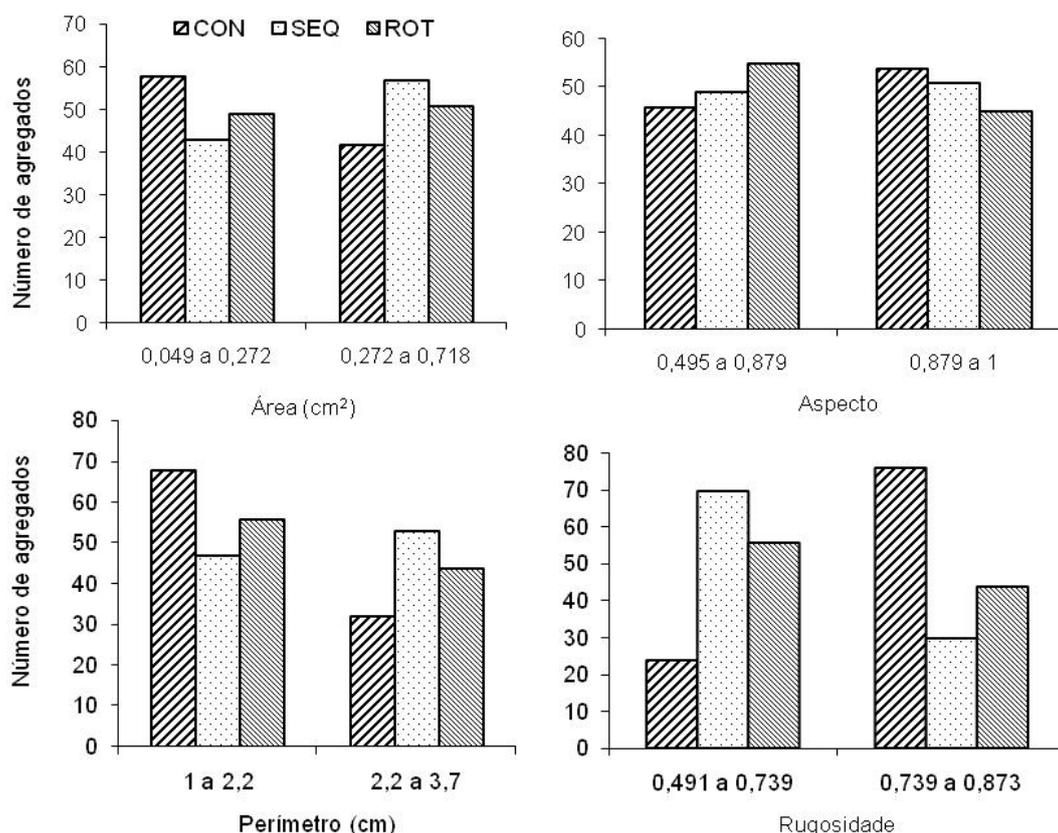


Figura 3. Área, Perímetro, Rugosidade e Aspecto dos agregados do intervalo de 4,76 a 9,52 mm, separados segundo o Teste de Mediana.

Para a característica aspecto, que expressa o grau de arredondamento dos agregados, constatou-se não haver diferenças significativas pelo teste de Mediana para os agregados grandes (Figura 3). Em todos os sistemas ocorreu uma tendência de aparecimento de agregados arredondados. Lembrando que índices que variam de 0,83 a 0,90 são agregados de forma preponderantemente quadrados tendendo ao arredondamento ou com vértices arredondados (Quadro 1).

Diferentemente dos agregados grandes, os agregados menores apresentaram tendências diferenciadas para cada sistema de cultivo analisado (Figura 4). O tratamento CON foi o que apresentou maior parte dos agregados perfeitamente redondos e os tratamentos SEQ e ROT apresentaram maiores proporções de agregados preponderantemente quadrados ou alongados. Segundo Olszewski et al. (2004) para o índice de arredondamento, os sistemas de manejo que provocam menor revolvimento do solo devem apresentar menores valores para a variável arredondamento, pois este é dependente da medida de perímetro. Logo, maiores valores de arredondamento deverão ser encontrados para os agregados provenientes

de sistemas de manejo mais agressivos à estrutura, pois eles tenderão a perder a rugosidade da superfície externa, diminuindo assim o valor do perímetro. Supõe-se também que sistemas que provoquem menor revolvimento do solo em condições de umidade elevada, devam apresentar menores valores para a variável aspecto, em razão da menor quebra sofrida pelos agregados e posterior tendência do agregado à circularidade.

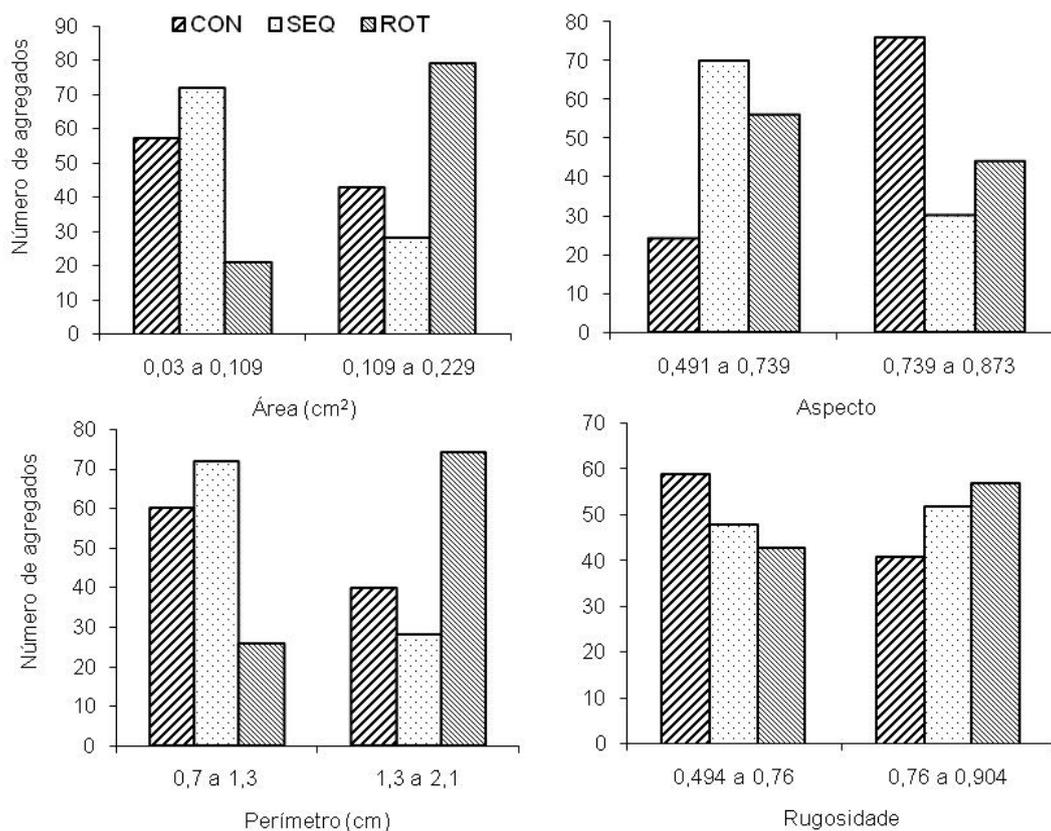


Figura 4 Área, Perímetro, Rugosidade e Aspecto dos agregados do intervalo de 2,00 a 4,76 mm, separados segundo o Teste de Mediana.

Com relação à variável rugosidade, é definido que o índice 1 indica uma superfície perfeitamente arredondada. Constatou-se que para os agregados maiores o tratamento CON apresentou a grande maioria dos agregados com índice de rugosidade entre 0,73 e 0,87 (Figura 3). Por outro lado os tratamentos SEQ e ROT apresentaram maior frequência de agregados com maior número de estrias (rugosidade), sendo essas distribuições diferentes estatisticamente ( $p < 0,01$ ) pelo teste de Mediana. No grupo dos agregados de menor diâmetro essa diferença estatística não foi constatada sendo que todos os agregados apresentaram a mesma tendência de

rugosidade (Figura 4). Análises micromorfométricas têm demonstrado que sistemas de manejo que promovam menor revolvimento do solo devam apresentar maiores valores ou proporções de agregados de tamanho e rugosidade externa maiores. Sendo assim, o aparecimento dessas diferenças entre os tratamentos CON, SEQ e ROT somente nos agregados maiores pode ser um indicativo de degradação em fase inicial, nesse caso relacionado à presença de água no solo e a utilização de práticas constantes de revolvimento.

Ao se analisar conjuntamente todos os agregados (Tabela 4), a correlação não paramétrica entre as variáveis analisadas, percebe-se que existe uma correlação altamente significativa ( $p < 0,01$ ) entre perímetro x área, como já era esperada, área e rugosidade e rugosidade x aspecto. Isso implica em dizer que, de maneira geral espera-se que quanto maior o agregado menos estriado e mais arredondado ele se apresenta. Como já citado anteriormente, típico de sistemas convencionais de manejo, com uso excessivo de implementos agrícolas.

Tabela 4. Correlação não paramétrica de Spearman (com 600 repetições) entre as características analisadas. UFGD, 2005 – Vercelli.

Características analisadas	área	perímetro	rugosidade
perímetro	0,989**		
rugosidade	-0,179**	-0,297**	
aspecto	0,049ns	0,014ns	0,286**

\*\* Significativo ao nível ( $p < 0,01$ ); \* Significativo ao nível ( $p < 0,05$ ); ns não-significativo.

Na Tabela 5, confirma-se através da correlação não paramétrica de Spearman, entre área e rugosidade com ( $p < 0,01$ ), que no tratamento CON quanto maior os agregados há uma tendência de alisamento ou perda das estrias dos mesmos, característica essa que expressa início de degradação da estrutura ou alisamento, provavelmente devido à utilização excessiva de implementos agrícolas. No caso em questão potencializado pelo tráfego de máquinas com solo úmido. Constatou-se que nesse sistema há uma relação entre alisamento e arredondamento dos agregados, características prejudiciais para a geometria porosa do solo (Olszewski et al., 2004).

Nos sistemas SEQ e ROT essa influência nos agregados não se observa, quanto maior o agregado há uma preservação das estrias (Tabela 5).

Tabela 5. Correlação não paramétrica de Spearman (com 200 repetições) entre as características analisadas. UFGD, 2005 – Vercelli.

Sistemas de manejo	Características	área	perímetro	rugosidade
CONV	perímetro	0,987**		
	rugosidade	0,209**	0,091 <sup>ns</sup>	
	aspecto	0,063 <sup>ns</sup>	0,009 <sup>ns</sup>	0,364**
SEQ	perímetro	0,99**		
	rugosidade	-0,388**	-0,493**	
	aspecto	0,12 <sup>ns</sup>	0,096 <sup>ns</sup>	0,237**
ROT	perímetro	0,987**		
	rugosidade	-0,340**	-0,462**	
	aspecto	-0,059 <sup>ns</sup>	-0,083 <sup>ns</sup>	0,247**

\*\* Significativo ao nível ( $p < 0,01$ ); \* Significativo ao nível ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não-significativo.

Na Tabela 6, foram analisadas as características dos agregados separados por grupos de tamanho. Constatou-se que de maneira significativa os tratamentos CON e SEQ mostraram, para os agregados maiores, correlação negativa entre área e rugosidade, o que significa que quanto maior o agregado mais rugoso, porém essa tendência não se mantém nos agregados menores. Quanto à correlação área x aspecto, percebe-se que o tratamento ROT foi o único que nos agregados menores apresentou correlação negativa significativa ( $p < 0,01$ ) o que implica em dizer que quanto maior o agregado maior a tendência da forma quadrada.

Tabela 6. Correlação não paramétrica de Spearman (com 100 repetições) entre as características analisadas. UFGD, 2005 – Vercelli.

		4,76 a 9,52 mm			2,00 a 4,76 mm		
		Área	Peri.	Rugo.	Área	Peri.	Rugo.
CON	Peri.	0,986**			0,938**		
	Rugo.	-0,201*	-0,322**		0,000 <sup>ns</sup>	-0,275**	
	aspecto	0,013 <sup>ns</sup>	-0,038 <sup>ns</sup>	0,331**	0,054 <sup>ns</sup>	-0,073 <sup>ns</sup>	0,418**
SEQ	Peri.	0,964**			0,956**		
	Rugo.	-0,242*	-0,467**		0,039 <sup>ns</sup>	-0,178 <sup>ns</sup>	
	aspecto	0,111 <sup>ns</sup>	0,049 <sup>ns</sup>	0,218*	0,073 <sup>ns</sup>	0,039 <sup>ns</sup>	0,389**
ROT	Peri.	0,971**			0,96**		
	Rugo.	-0,127 <sup>ns</sup>	-0,329**		-0,134 <sup>ns</sup>	-0,34**	
	aspecto	0,044 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,226*	-0,223*	-0,259**	0,314**

\*\* Significativo ao nível ( $p < 0,01$ ); \* Significativo ao nível ( $p < 0,05$ ); <sup>ns</sup> não-significativo.

Fazendo uma junção das principais características micromorfométricas dos agregados menores (2 a 4,76 mm), é possível inferir que: no tratamento CON os agregados são preponderantemente menores, mais arredondados e mais lisos (Figura 4). No tratamento SEQ, os agregados são ainda menores que no tratamento CON, porém tendendo a serem mais quadrados e mais rugosos (Figura 4). Já o tratamento ROT foi o que apresentou maior frequência de agregados grandes, uma faixa de tamanho arredondada e tendência de aumento na rugosidade (Figura 4).

Embora não tenha sido objetivo deste trabalho, pode-se averiguar que as análises micromorfométricas demonstraram ser muito sensíveis na detecção de pequenas variações nos agregados do solo, o que corrobora com a conclusão de Olszewski et al., (2004). Percebe-se que embora no tratamento ROT tenha sido cultivado arroz no manejo convencional nos anos de 2003 e 2004, a presença do milho, em especial da palhada do milho, no ano de 2002 e o modo com que essa parcela tenha sido manejada, propiciou detecção de características de menores impactos na morfologia dos agregados e se apresenta como um manejo menos impactante à estrutura do solo.

## CONCLUSÕES

Para os agregados de maior diâmetro (4,76 a 9,52 mm) não existem diferenças de área entre os diversos sistemas de cultivo;

Considerando os agregados menores (2,00 a 4,76 mm) o sistema rotacionado foi o que apresentou maior proporção de agregados com área maior;

O sistema que mais influenciou na qualidade dos agregados, tornando-os preponderantemente menores, mais redondos e lisos, foi o convencional;

O manejo rotacionado foi menos impactante a estrutura do solo.

## **AGRADECIMENTOS**

À UNEMAT pelo apoio na conclusão desse trabalho;

À UFGD pela oportunidade de realização do curso;

À UNITO pelo fornecimento das condições para realização da pesquisa;

À CAPES pela bolsa amparo financeiro;

Ao Programa ALFA pelo apoio financeiro no intercâmbio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, E.; CURMI, P.; HALLAIRE, V.; CHAUVEL, A. e LAVELLE, P. Role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an Oxisol during forest to pasture conversion. **Geoderma**, v.100: p.193 – 213, 2000.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, p. 9-26, 1999.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. New York, Robert Krieger, 173p, 1976.

CONWAY, J. e JENKINS, D. A simple procedure for the quantification of void shapes in soil thin sections. in: **Soil Micromorphology**. BULLOCK, P. e MURPHY, C.P., eds. Techniques and Applications. A.B. Academic Publishers, Berkhamsted, 705p, 1983.

CREMON, C. **Variação temporal dos atributos de um Latossolo vermelho, cultivado com leguminosas para adubação verde**. Viçosa: UFV, 2004, 79p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2004.

CREMON, C.; ROSA JÚNIOR, E. J; SERAFIM, M. E.; ONO, F. B. Análise micromorfológica de agregados de um Latossolo Vermelho Distroférrico sob diferentes sistemas de manejo. **Acta Scientiarum**, mar./abr. 2007. No prelo.

DADALTO, G. G.; COSTA, L. M. e MOURA FILHO, W. Alterações em características físicas de solos cultivados com pastagem. **Revista Ceres**, v.36, p.317-329, 1989.

FERNANDES, M. R. **Alterações em propriedades de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, fase cerrado, decorrentes da modalidade de uso e manejo**. Viçosa, UFV, 1982. 65p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1982.

GOMES, A. S.; CUNHA, N. G.; PAULETTO, E. A.; SILVEIRA, R. J. C.; TURATTI, A. L. **Solos de várzea: uso e manejo**. In.: MARCÂNTONIO, G. (Coord.). Solos e irrigação. Porto Alegre : Ed. da UFRGS/FEDERACITE, p.64-79. 1992.

HAKANSSON, I. e DANFORS, B. Effects of heavy traffic on soil conditions and crop growth. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF ISTVS, 7, Calgary, 1981. Proceedings. v.1, p.239-253, 1981.

HILLEL, D. **Introduction to Soil Physics**. 2. ed. New York, Academic Press, 364p, 1982.

HUDSON, N. W. **Soil conservation**. Ithaca, Cornell University Press, 1977. 320p.  
LAL, R. No-tillage effects on soil properties under different crops in western Nigéria. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.40, p.762-768, 1976.

ROSCOE, R. e MACHADO, P. L. O. A. **Fracionamento físico do solo em estudos de matéria orgânica**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 86p, 2002.

SIA. **Método Italiano di Anàlise del Suolo - Analisi chimice ed fisici del suolo**. Milano, Società Italiana di Agronomia, v.2. 2013p., 2000.

OLSZEWSKI, N.; COSTA L. M.; FERNANDES FILHO E. I.; RUIZ H. A.; ALVARENGA R. C.; CRUZ e J. C. Morfologia de agregados do solo avaliada por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 28:901-909, 2004.

PEREIRA, A. A. A.; CRUCIANI, A. D. Estimativa de variações no coeficiente relativo de difusão dos gases no solo com base na análise da curva de retenção de água. **Ciência Rural**, v. 31, n.2, 2001.

SCHAEFER, C.E.G.R.; SOUZA, C.M.; VALLEJOS, M.; VIANA, J.H.M.; GALVÃO, J.C.C. e RIBEIRO, L.M. Características da Porosidade de um Argissolo Vermelho Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 775 – 779, 2001.

SILVA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997.

SUGUIU, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo. Edgard Blucher. EDUSP, 317p, 1973.

TAYLOR, H.T. e BURT, E.C. Total axle load effects on soil compaction. **Journal Terramech**, Hannover, 24: 179-186, 1987.

VIANA, J.H.M. **Análise de imagens micropedológicas com utilização do programa Quantporo e sua aplicação ao estudo de umedecimento e secagem em amostras de Latossolos**. Viçosa, MG: UFV, 2001, 70p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.

VOMOCIL, J.A. Porosity. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**, Part1. Physical and Mineralogical Properties. Madison: American Society of Agronomy, p.299-314, 1965.

## CAPÍTULO 2

# **CARACTERIZAÇÃO DOS ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM INCEPTISOL SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE ARROZ**

## **RESUMO**

Reconhecida como uma cultura altamente impactante e estimulada pelo forte subsídio agrícola europeu, o cultivo do arroz tem estado em evidência nas discussões nos órgãos internacionais. Produzir, agregar valor, vender e consumir produtos de qualidade são palavras de ordem na agricultura Italiana, e para a cultura do arroz isso não pode ser diferente. As análises discutidas nesse capítulo são referentes ao ano agrícola de 2005, quando foi realizado o monitoramento temporal dos atributos físicos do solo. Os sistemas de cultivo foram: (CON) sistema convencional de cultivo com semeadura na água; (SEQ) sistema com semeadura realizada no sequeiro e (ROT) sistema rotacionado de milho e arroz em um ciclo trienal. Os momentos de amostragem foram quatro: inicial (antes da semeadura), primeira drenagem (para realização de adubação), durante a segunda drenagem (controle das plantas infestantes) e ao final da experimentação (retirada definitiva da água/colheita). As repetições para cada atributo do solo ou planta, analisados, se definiram em função da dimensão de espaço que essas análises requerem sem infringir os critérios de casualização no interior dos tabuleiros. As características monitoradas foram: densidade do solo, análise textural, retenção de água no solo, além da resistência do solo à penetração, nas profundidades 0-12; 12-24; 24 a 35 cm. No monitoramento das características hidrológicas, as amostras de solos foram coletadas em duas camadas diversas (0 a 12 e 12 a 24 cm) ao início e ao final do ciclo da cultura e o monitoramento no horizonte superficial foi realizado durante o desenvolvimento da cultura nos dois momentos de ausência de água. A resistência do solo à penetração foi determinada utilizando-se um penetrógrafo, obtendo-se dados até 35 cm de profundidade. Para o solo em questão constatou-se que a resistência a penetração esta ligada às oscilações no conteúdo de água no solo mais que a densidade aparente. Constatou-se a presença de duas camadas compactadas, uma entre 12 e 24 cm e outra entre 24 e 35 cm.

### **Palavras-chave:**

Física do solo, Inceptisol, arroz

CHARACTERIZATION OF SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES OF ONE  
INCEPTSOL SOIL UNDER DIFFERENT MANAGEMENT SYSTEM IN RICE  
CROPS.

ABSTRACT

Recognized as one of the crops with high impact and stimulated by the federal agricultural European subsidies, rice crops has been in evidence by international groups' discussion. To produce, to input values, to sell and to consume products of quality are the main words in Italian agriculture and for crops like rice is cannot be different. The analyses discussed in this chapter are concerned to the 2005 agriculture year, when was conducted the temporal monitoring of the soil physics attributes. The soil management system was: (CON) Conventional system with sowing in flooded place; (SEQ) System with sowing of upland rice; (ROT) Crop rotation system with corn and rice crops in triennial cycle. Collecting samples was in four times: initial (before sowing), first drainage (for fertilizer), during second drainage (for weeds control) and in the latter of experiment (for withdrawal water and harvest). The replications for each soil attributes or plant was defined in function of the space dimension that these analyses required without inflict the randomized design criterion into paddy-field. The features monitoring was: bulk density, textural analyses, water soil retention and penetration resistance, in 0-12; 12-24; 24 a 35 cm deep. In hydrology features monitoring, soil samples was collected in two layer (0 at 12 and 12 at 24 cm) on the beginning and the of crop cycle. The surface horizon monitoring was carried out during crop development in two moments of water absent. The soil penetration resistance was determined using one penetrometer, obtaining data along to 35 cm deep. For this soil studied was observed that penetration resistance is linked to wobbliness in water soil content more than the real density. Was detected the presence of two compacted layer, one between 12 at 24 cm deep and other between 24 at 35 cm deep.

Keywords : Rice crops, soil physics, Inceptisols

## INTRODUÇÃO

A história da cultura do arroz no norte da Itália fez com que se originasse os termos “arroz para consumo interno” e “arroz tipo exportação”. Tais denominações atualmente foram abolidas do dicionário do produtor, pela necessidade de agregar o máximo valor possível ao produto e seus subprodutos relacionados.

É notória a importância social e econômica da cultura do arroz, cultivado em quase todo o mundo. Essa cultura tem sido muito visada quanto ao seu aspecto contaminante, tanto que para efeito de licenciamento ambiental, tanto no Brasil quanto na Itália, a lavoura é classificada como causadora de impacto (Commissione delle Comunità Europee, 2002; Embrapa, 2004).

Em muitos países o setor orizícola é considerado o produto de maior importância econômica e o aumento crescente de seu consumo impõe aos setores produtivos a busca de novas técnicas que possam aumentar a produção sem causar maiores efeitos degradatórios.

São semelhantes os sistemas de cultivo de arroz irrigado no Brasil em relação aos adotados no norte da Itália. De maneira geral no sistema chamado de convencional a semeadura ocorre na água e a inundação permanente somente é interrompida para realização de adubações ou controle de plantas infestantes. Nesse sistema, o manejo de plantas infestantes é essencial e são realizadas operações de revolvimento do solo com implementos como Laser (sistematização) e pesados como grades aradoras e niveladoras. Um segundo sistema de cultivo pode ser adotado, em que as operações são mais superficiais. Nesse a semeadura é feita com a camada superficial do solo drenada e a entrada permanente de água acontece três a quatro semanas depois da semeadura (Embrapa, 2004).

Uma das alternativas de prática de manejo é a utilização de um sistema rotacionado de culturas em um mesmo solo, desde que haja condição de drenagem da área e preparo adequado da mesma para implantação de culturas alternativas ao arroz. Segundo Hudson (1977) práticas de manejo que privilegiem rotação de culturas, revolvimento mínimo do solo e manutenção dos resíduos vegetais tem dentre seus vários objetivos o de aumentar os níveis de matéria orgânica no solo correlacionando-se assim com incremento nos valores de CTC, aumento da agregação de partículas, melhoria na aeração, infiltração e retenção de água no solo.

A utilização de veículos pesados com o solo úmido agrava ainda mais os problemas de estrutura do solo segundo Pauletto et al. (1993). O mesmo autor relata que ações sucessivas de preparo ao longo dos anos podem trazer sérios problemas de drenagem, assim como promover a compactação subsuperficial, dificultando a movimentação da água e a aeração nesses solos.

Toda e qualquer manifestação que influencia a disposição das partículas do solo concede ação direta nos valores de densidade. Baver et al. (1972), Kiehl (1979) e Reichardt (1990) relataram que em solos não-expansivos este atributo físico varia em razão da textura, teor de matéria orgânica e do grau de compactação do solo. De acordo com Kiehl (1979) o manejo inadequado do solo e o uso indiscriminado de máquinas agrícolas pesadas aumentam a densidade pela compactação dos horizontes superficiais do solo. Centurion e Demattê (1992a, 1992b), citam que, a intensidade da compactação em diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo varia com o tipo e a profundidade de atuação dos implementos agrícolas utilizados.

Vários atributos podem ser utilizados para caracterizar o grau de compactação como a densidade e a porosidade do solo, que são comumente empregadas em análises de laboratório (Forsythe, 1975; Beltrame e Taylor, 1980; Grant e Lafond, 1993). Para avaliar o comportamento de solos de várzea em relação aos diferentes sistemas de cultivo, a densidade do solo é um dos mais importantes atributos físicos usados para caracterizar e avaliar os efeitos de diferentes sistemas de manejo na compactação do solo (Pedrotti e Dias Júnior, 1996). A densidade do solo reflete o arranjo das partículas do solo, que, por sua vez, define as características do sistema poroso.

Para cada sistema de manejo é fundamental o estudo pormenorizado dos atributos físicos do solo. Albuquerque et al. (1995) relatam que diferentes sistemas de manejo do solo afetaram diferentemente tanto a densidade do solo como a resistência mecânica à penetração. A relação direta da resistência do solo a penetração esta vinculada a certas condições de umidade e sua textura. Quantificar sua intensidade e localização implica em avaliar o impacto dos sistemas de uso e manejo dos solos e sua relação com o aparecimento de horizontes compactados (Dias Júnior e Pierce, 1996). Em especial em solos de várzea e durante o desenvolvimento da cultura do arroz irrigado.

Para Dias Junior e Pierce (1996) em uma mesma condição a propriedade que governa a deformação que ocorrerá em um solo é a umidade no momento em que ocorrem as operações mecanizadas. Portanto, é importante conhecer em diferentes classes de solos a significância de ocorrência desses efeitos. Em solos nigerianos, Ohu e Folorunso (1987) observaram que solos da classe textural areia franca foram mais susceptíveis à compactação do que os solos franco arenosos, devido ao teor de areia do primeiro ser maior do que do solo franco arenoso. Isso porque as partículas do solo com predominância de areia se rearranjam mais acirradamente do que em solos argilosos. Tais resultados corroboram com os de Pacheco e Dias Junior (1990) e Figueiredo (1998) que também observaram que a umidade ótima de compactação diminuiu e a densidade do solo máxima correspondente aumentou, à medida que o teor de areia aumentou.

Considerando a importância em se conhecer e monitorar os atributos físicos do solo, realizou-se este trabalho com o objetivo de avaliar, no tempo, os atributos físicos de um Inceptisol sob a influência de diferentes sistemas de manejo da cultura do arroz.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Instituto Galileu Ferraris no município de Vercelli na região norte da Itália, no ano de 2005. As análises discutidas nesse capítulo são referentes ao ano agrícola de 2005, quando foi realizado o monitoramento temporal dos atributos físicos do solo, identificado segundo a classificação americana como sendo da ordem Inceptisol. Na Tabela 1, são apresentadas as características de três formas de manejo utilizadas para a cultura do arroz.

Tabela 1. Descrição dos diferentes manejos adotados para a cultura do arroz. UFGD, 2005 – Vercelli.

<b>Manejo</b>	<b>Manejo da palha</b>	<b>Época de aração</b>	<b>Irrigação</b>	<b>Rotação</b>
Convencional (CON)	incorporada	Outono	Sim-Semeadura submersa	Não
Sequeiro (SEQ)	incorporada	Primavera	Sim-Semeadura em sequeiro	Não
Rotacionado (ROT)	incorporada	Primavera	Não	Sim

Os tabuleiros, com seu respectivo sistema de cultivo, são de 100 m de comprimento por 25 m de largura e isolados hidraulicamente entre si, por meio de barreiras físicas levantadas com solo. Para melhor monitoramento do fluxo de água em cada tabuleiro, foram instalados medidores de fluxo de água nas entradas e nas saídas dos tabuleiros, todos os medidores vinculados a um datalogger, com aquisição automática dos dados, proporcionando um monitoramento de vinte e quatro horas do fluxo da água. Os medidores foram instalados sobre as barreiras físicas no entorno dos tabuleiros.

Para complementar e facilitar a interpretação dos dados foi instalada uma estação meteorológica padrão com aquisição automática de dados, dotada de equipamentos específicos para o monitoramento da temperatura da água, do solo, da atmosfera, evapotranspiração e demais medidas meteorológicas padrão. Na Figura 1 podem-se observar as variações de precipitação e temperatura durante o ano de 2005.

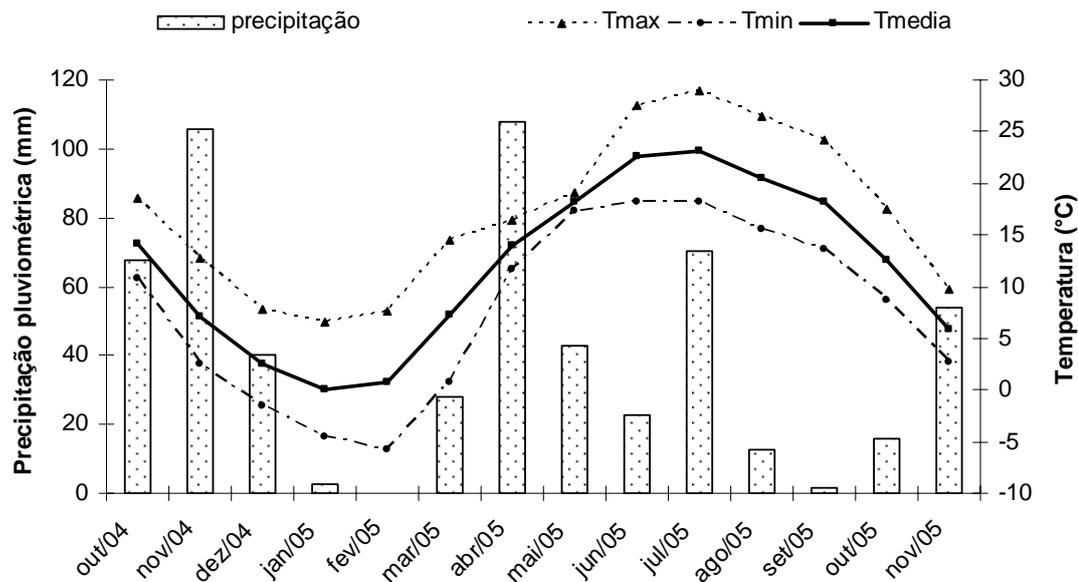


Figura 1. Precipitação e temperatura do ar no período de outubro/04 a novembro/05 da área demonstrativa de sistemas de cultivo de arroz. Vercelli, 2005.

As operações culturais realizadas nos diferentes sistemas de manejo da cultura do arroz estão elencadas na Tabela 2.

As amostragens dos materiais para determinação dos atributos físicos do solo foram realizadas em momentos estratégicos durante o desenvolvimento da cultura e realizadas em pontos diferentes (alto, médio e baixo) ao interno do tabuleiro conforme Figura 2.

Para caracterização e melhor interpretação dos resultados referente ao solo, as análises de densidade de partículas e granulometria foram realizadas em um único momento, antes da implantação da cultura.

Na descrição metodológica das análises é importante ressaltar que, devido à presença quase constante de água nos tabuleiros (CON e SEQ), as análises e coletas de dados foram realizadas nos períodos de drenagem, no decorrer do ciclo da cultura, aguardando o tempo necessário para que o solo se encontrasse não saturado ou próximo da capacidade de campo. Os momentos de amostragem foram quatro: inicial (antes da semeadura), primeira drenagem (para realização de adubação), durante a segunda drenagem (controle das plantas infestantes) e ao final do ciclo da cultura (retirada definitiva da água/colheita).

Tabela 2. Operações culturais previstas durante o desenvolvimento da cultura do arroz. UFGD, 2005 – Vercelli.

OPERAÇÕES	DATA	DESCRIÇÃO DAS TÉCNICAS CULTURAIS
1.	05/04	Aração de toda a área;
2.	07/04	Aplainamento do terreno com implemento a laser;
3.	29/04	Adubação nitrogenada, semeadura e controle de plantas daninhas no milho;
4.	10/05	Aplicação de herbicida (Glifosat);
5.	13/05	Adubação nitrogenada, cultivo do arroz;
6.	16/5	Semeadura em suco da variedade “Loto”, no trat. SEQ. Controle de plantas daninhas no tratamento sequeiro e submersão;
7.	25/5	Submersão do tabuleiro CON.
8.	27/5	Semeadura em água (a lanço), emergência em sequeiro;
9.	31/5	Aplicação de ghibli + callisto (herbicidas) no milho;
10.	3/6	Retirada da água em todos os tabuleiros;
11.	6/6	Aplicação da uréia e cultivo do milho;
12.	17/6	Submersão do tabuleiro 2;
13.	21/6	Submersão do tabuleiro 4;
14.	22/6	2º aplicação de uréia no milho;
15.	22/6	<b>DRENO I:</b> Retirada da água dos tabuleiros com arroz inundado;
16.	24/6	Aplicação dos herbicidas e algicidas: aura + dash 400+700 effettive (370+750 com 270 L/ha de água);
17.	27/6	Aplicação de herbicidas Stam80+Londax;
18.	28/6	Adubação com uréia;
19.	29/6	Submersão de todos os tabuleiros;
20.	22/7	<b>DRENO II:</b> Retirada da água de todos os tabuleiros;
21.	2/8	Adubação com uréia;
22.	3/8	Submersão de todos os tabuleiros;
23.	6/9	Retirada da água em definitivo;
24.	13/10	Colheita;

As repetições para cada atributo do solo ou planta analisado, na caracterização de cada tabuleiro, se definiram em função da dimensão de espaço que as análises requerem sem infringir os critérios de casualização ao interno de cada tabuleiro.

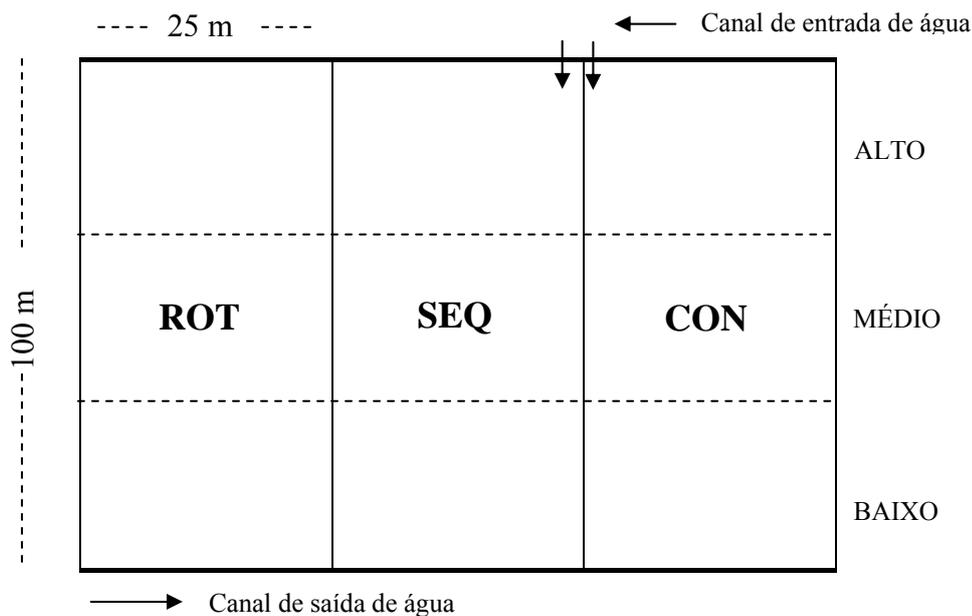


Figura 2. Representação dos tabuleiros com seus respectivos sistemas de cultivo de arroz.

Na Tabela 3 são fornecidas as quantidades de repetições para cada análise realizada, definidas em função da quantidade de área explorada por cada método em quatro momentos diferentes durante o ciclo da cultura. É importante ressaltar que as análises em profundidades diferentes, requerem aberturas de sulcos no interior dos tabuleiros para coleta de material, causando excessivo caminhar na área experimental podendo influenciar nas medições temporais.

A densidade aparente do solo foi realizada segundo a metodologia do anel volumétrico (SIA, 2000), em duas profundidades 0 a 12 e 12 a 24 cm. Na profundidade de 12 a 24 cm foram realizadas amostragens no início e ao final do experimento, por motivos da presença de água durante o desenvolvimento das culturas (irrigação).

A análise granulométrica e a análise de densidade de partículas, visto que são atributos não modificados em curto espaço de tempo, foram caracterizados somente no início da experimentação nas profundidades 0 a 12 e 12 a 24 cm. A análise granulométrica foi realizada segundo normativas e metodologias propostas pela Sociedade Italiana de Ciência do Solo (SIA, 2000).

Tabela 3. Número de repetições para cada atributo analisado, durante o desenvolvimento da cultura do arroz e em três profundidades diversas. UFGD, 2005 – Vercelli.

Determinações	Momento	Profundidades			Rep.
		0 a 12	12 a 24	24 a 35	
Dp e Textura	Inicial	X	X	X	6
Densidade do solo (método do anel volumétrico)	Inicial	X	X	X	6
	Dreno I	X			6
	Dreno II	X			6
	Final	X	X		6
Curva de retenção (Panela de pressão – Richards)	Inicial				
	Dreno I	X			6
	Dreno II	X			6
	Final	X	X		6
Resistência a penetração (Penetrógrafo)	Inicial	X	X	X	6
	Dreno I	X	X	X	6
	Dreno II	X	X	X	6
	Final	X	X	X	6

A metodologia usada na determinação da densidade de partículas foi segundo Embrapa (1997).

Para confecção da curva de retenção da água no solo, dois métodos diferentes foram adotados segundo o potencial matricial aplicado. O primeiro método é o da “Caixa de Stackman”, destinado a medições de potenciais próximos a saturação, ou seja, submetido a baixas tensões. Tem como fundamento, apoiar as amostras de solo em um leito de areia compacto e inicialmente saturado que por meio de um sistema de vasos comunicantes se aplica tensões diferenciadas de modo que a tensão seja transmitida às amostras de solo, a fim de extrair a água retida a uma tensão inferior, em valores absolutos, em relação àquela aplicada no leito de areia. Quando as amostras atingem o equilíbrio, são pesadas e, por diferença com o peso seco, obtido após a secagem, determina-se a umidade remanescente das amostras e sua relação com a saturação (umidade volumétrica relativa). As tensões aplicadas foram de 0,2; 0,5; 1, 2, 5, 6, 10 kPa (Klute, 1986).

O segundo método usado foi o da panela de pressão de Richards (Klute, 1986), que consiste em posicionar as amostras sobre as placas de cerâmica com porosidade calibrada, colocadas na panela e submetidas à pressão. As placas de

cerâmica têm como característica estarem em constante troca com o meio exterior sendo condutoras de água, mas não permitem a passagem de ar, devido ao seu sistema capilar. Dessa forma, é expelida toda a água retida a uma determinada tensão no solo, em valores absolutos inferiores à pressão em que são colocadas as amostras. Uma vez atingido o equilíbrio, os procedimentos são análogos àqueles descritos para as amostras submetidas à caixa de Stackman. As pressões aplicadas foram de 33; 100; 400 e 1500 kPa.

Na realização do monitoramento dos atributos hidrológicos, as amostras de solos foram coletadas em duas camadas (0 a 12 e 12 a 24 cm) no início e no final do experimento e o monitoramento na camada superficial foi realizado durante o ciclo da cultura em dois momentos de ausência de água. As amostras coletadas no início e no final foram analisadas em todos os pontos da curva de retenção já as amostras coletadas nos períodos intermediários do ciclo da cultura, foram analisadas até a pressão de 33 kPa, correspondente à “capacidade de campo” (Cassel e Nielsen, 1986).

Para monitorar o grau de compactação do solo, em diferentes horizontes do perfil e em diferentes momentos do ciclo da cultura, utilizou-se de um penetrógrafo manual, desenvolvido por Walczak (1973) que tem como característica, a expressão do grau de compactação na forma de gráficos até a profundidade de 35 cm.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1 estão os dados de análise textural nas diferentes profundidades, realizada no ano agrícola de 2005. O solo apresenta naturalmente poucas variações nos teores de argila até 50 cm de profundidade. O único tabuleiro que se diferenciou foi o SEQ com 12,77 % de argila na profundidade de 25 a 35 cm.

O solo segundo a classificação textural Italiana se enquadra como Franco Siltoso, apresentando elevados índices de silte na sua constituição. Segundo Klein (2000) os fatores que alteram a dinâmica da água no solo e a disponibilidade da mesma às culturas, são: a estrutura do solo, por determinar o arranjo das partículas e a distribuição do diâmetro dos poros e a textura. Analisando o Quadro 1 admite-se que toda e qualquer modificação dos atributos físicos e hidrológicos fugirão do contexto granulométrico, visto a notória homogeneidade do solo em todos os tabuleiros analisados.

Quadro 1. Análise textural de um Inceptisol em três profundidades diferentes, nos três sistemas de cultivo de arroz. UFGD, 2005 – Vercelli.

<b>Trat.</b>	<b>Prof.</b>	<b>Argila</b>	<b>Silte</b>	<b>Areia Grossa</b>	<b>Areia Fina</b>	<b>Areia Total</b>
	cm	----- dag kg <sup>-1</sup> -----				
CON	0 a 12	65	421	244	269	513
	12 a 25	69	446	207	276	484
	25 a 35	53	314	359	272	632
SEQ	0 a 12	63	459	201	276	476
	12 a 25	65	464	195	275	470
	25 a 35	127	514	94	264	358
ROT	0 a 12	49	451	212	286	498
	12 a 25	51	445	192	309	502
	25 a 35	61	468	155	315	470

O monitoramento no tempo, dos atributos físicos do solo, na profundidade de 0 a 12 cm (Figura 3) demonstrou que existia uma preponderante influência da umidade do solo sobre os valores de resistência do solo a penetração, muito mais que pelos valores de densidade. Pequenas variações nos valores de umidade incrementam os valores de resistência a penetração. Os valores encontrados

pontualmente de resistência a penetração, seguiram uma tendência de serem cada vez menores em virtude da maior presença de água nos diferentes sistemas de manejo.

Alterações na umidade do solo são dinâmicas e ocorrem em curto e longo período de tempo, principalmente na camada superficial do solo. Alterações temporais estão associadas a fatores como manejo do solo e de culturas, tipo de cultura e fatores ambientais (Kay, 1990). A relação direta da resistência do solo à penetração esta vinculada a certas condições de úmida e textura. Para Dias Júnior e Pierce (1996) quantificar sua intensidade e localização implica em avaliar os sistemas de uso e manejo dos solos e ainda sua relação com o aparecimento de camadas compactadas.

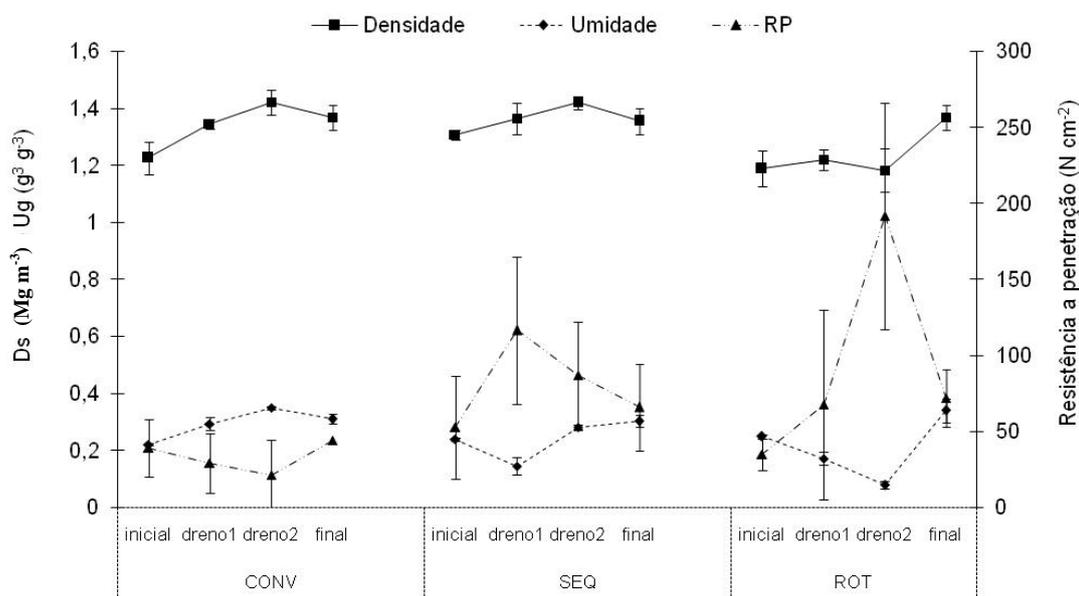


Figura 3. Variação no tempo dos valores de densidade do solo (Ds), umidade gravimétrica (Ug) e resistência do solo à penetração na profundidade de 0 a 12 cm, nos diferentes sistemas de cultivo de arroz.

Analisando o tratamento CON e SEQ (Figura 3) observa-se que nos momentos durante o desenvolvimento da cultura (dreno I e II), ocorreram aumentos de densidade do solo, quando da entrada da água no sistema. Já no tratamento ROT os valores de densidade aparente se mantiveram constantes nos três momentos iniciais sendo aumentado no final. Segundo Rusanov (1991) com a modernização da agricultura, tem-se aumentado o peso das máquinas e implementos agrícolas além da

intensidade de uso do solo, processo esse, que não foi acompanhado por uma tecnologia de preservação dos atributos do solo, resultando em maior tendência de compactação. Flowers e Lal (1998) relatam que a principal causa da compactação em solos agrícolas é o tráfego de máquinas em operações de preparo do solo, semeadura, tratos culturais e colheita. O tratamento ROT foi o que mais se diferenciou, apresentando um decréscimo de umidade, pela ausência de irrigação, e concomitante aumento de resistência a penetração, atingindo seu máximo no momento Dreno II, momento esse de menor registro da umidade. Os valores de densidade variam de 1,18 no início do cultivo a  $1,4 \text{ Mg m}^{-3}$  no final.

Na profundidade de 12 a 25 cm observou-se a presença de uma camada compactada (Tabela 4), típica de sistemas que empregam o preparo “convencional” do solo em virtude da ação contínua dos implementos e ao trânsito de máquinas agrícolas, a qual também foi relatada por Centurion e Demattê (1992a, 1992b), Hammel (1989) citado por Grant e Lafond (1993) e Raper et al. (1994) (Tabela 4). Na profundidade de 25 a 35 cm, constatou-se um estrato ainda mais adensado, provavelmente devido à ação cumulativa dos implementos agrícolas (pé-de-grade).

Estes resultados evidenciam que os sistemas que envolvem maior mobilização do solo e em especial na cultura do arroz com a utilização de implementos de nivelamento do solo, levam à obtenção de valores mais elevados de densidade. Pressupõe-se que a água tenha um papel importante na desagregação das partículas, tornando os agregados mais susceptíveis a desagregação. Ainda na Tabela 4 observa-se que com o tempo os valores de porosidade total decresceram na profundidade superficial (0 a 12 cm) em todos os sistemas de cultivo.

Tabela 4. Valores de densidade do solo e densidade de partículas do solo, em profundidades e momentos diferentes. UFGD, 2005 – Vercelli.

<b>Momento</b>	<b>Tratamento</b>	<b>Prof</b>	<b>Ds*</b>	<b>Dp*</b>	<b>Pt*</b>
		<b>cm</b>	<b>Mg m<sup>-3</sup></b>	<b>Mg m<sup>-3</sup></b>	<b>%</b>
Inicial	CON	0 a 12	1,23	2,57	52,2
		12 a 25	1,56	2,59	39,8
		25 a 35	1,63	2,59	37,1
	SEQ	0 a 12	1,31	2,62	50,1
		12 a 25	1,58	2,60	39,2
		25 a 35	1,79	2,56	30,2
	ROT	0 a 12	1,19	2,59	54,2
		12 a 25	1,49	2,58	42,4
		25 a 35	1,70	2,59	34,5
Final	CON	0 a 12	1,37		46,7
		12 a 25	1,46		43,5
	SEQ	0 a 12	1,35		48,3
		12 a 25	1,59		38,9
	ROT	0 a 12	1,37		47,0
		12 a 25	1,55		40,0

\* Ds = densidade do solo; Dp = densidade de partículas; Pt = porosidade total.

Os valores obtidos de densidade do solo nos diferentes tratamentos e profundidades estudadas (Tabela 4) estão relativamente altos (Reichardt, 1990). Contudo a maioria dos solos alagados possui naturalmente valores de densidade mais elevados, e esta condição adversa pode ser agravada quando o solo é submetido ao sistema de preparo convencional, comprometendo o rendimento da cultura, principalmente quando se quer introduzir culturas de sequeiro em um sistema rotacionado (Gomes et al., 1992).

Densidade aparente com valores entre 1,27 e 1,57 Mg m<sup>-3</sup> é restritiva ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo (Hudson, 1977; Alvarenga et al., 1996 e Corsini e Ferraudo, 1999). O solo apresentou na sua camada intermediária (12 - 24 cm), condições restritivas ao crescimento do sistema radicular de culturas de sequeiro. De maneira geral, o valor de 1,40 g cm<sup>-3</sup> é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (Arshad et al., 1996).

A resistência a penetração (RP) é influenciada pela densidade e conteúdo de água no solo, como já discutido anteriormente. Na Figura 4 estão representadas as curvas de resistência do solo a penetração, obtidas com o penetrógrafo nas condições reais de campo, sem considerar a umidade do momento.

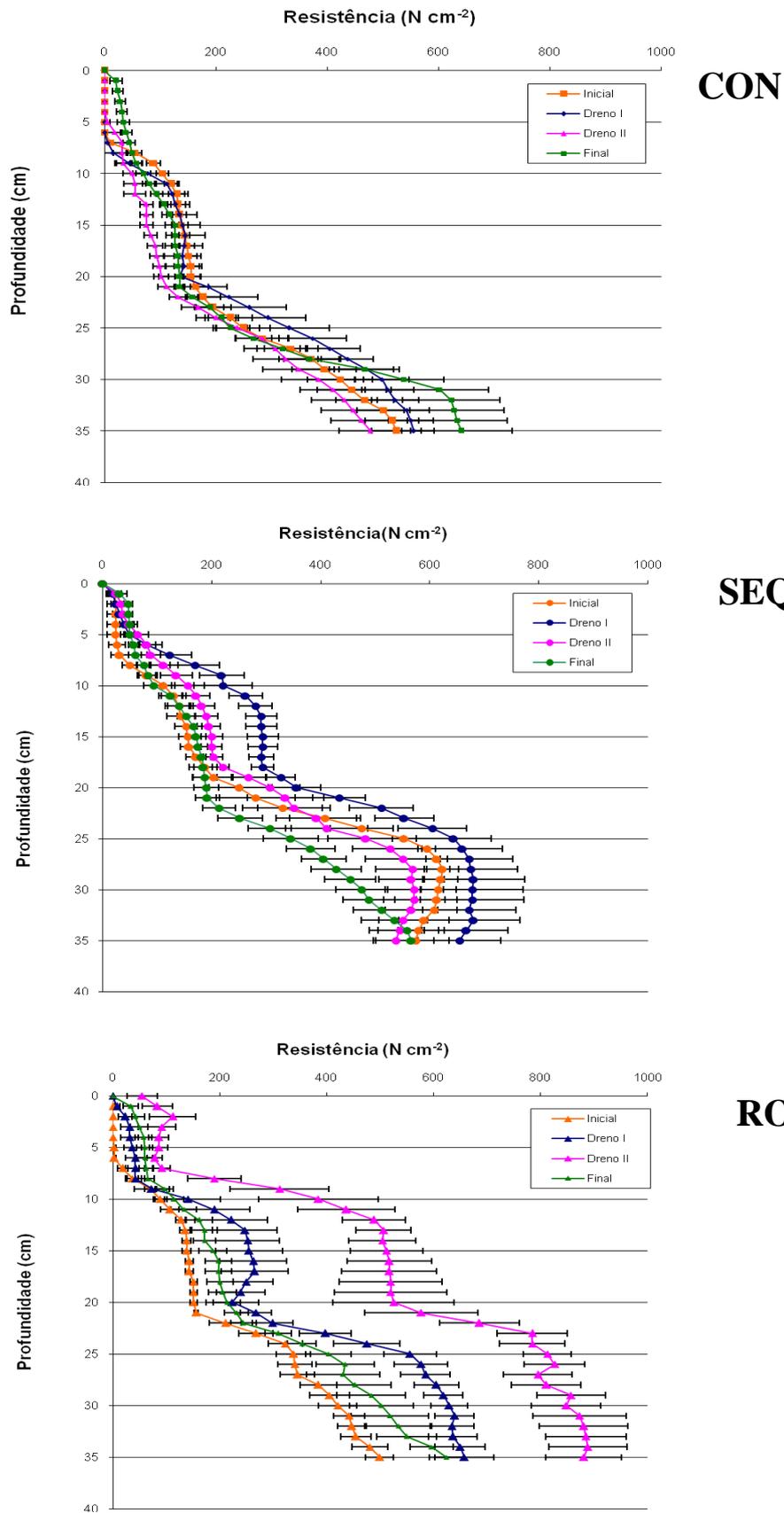


Figura 4. Análise temporal da resistência do solo à penetração nos diferentes sistemas de cultivo de arroz.

Nota-se claramente a presença de três camadas de compactação, em todos os sistemas de cultivo, os quais são entre 0 a 12, de 12 a 25 e de 25 a 35 cm de profundidade. No sistema CON as curvas de resistência a penetração são mais suavizadas pela presença de umidade, mas os estratos característicos de compactação estão presentes. A presença de areia fina, em solos arenosos, pode elevar a densidade a valores de até  $2 \text{ g cm}^{-3}$  em função do arranjo das partículas, dificultando o desenvolvimento radicular (Fontes, 1984).

Acréscimos nos valores de densidade do solo à medida que aumenta a profundidade do mesmo podem ocorrer por pressões exercidas pelas camadas subjacentes em relação às subjacentes, como também pela translocação das partículas mais finas dos horizontes superiores para os inferiores, aumentando a quantidade de matéria sólida por unidade de volume, reduzindo o espaço poroso total e ocasionando impedimento físico ao desenvolvimento do sistema radicular (Grohmann, 1972; Kiehl, 1979).

Todos os níveis de resistência a penetração estão abaixo do limite crítico (2 MPa) para o desenvolvimento das culturas, no horizonte superficial (Taylor et al., 1966 e Nesmith, 1987) indicando que a condição de desenvolvimento do sistema radicular foi igual para todos os sistemas de manejo e cultivos de arroz. Segundo Staff (1993), a maior parte do sistema radicular, que faz a absorção de água e nutrientes, encontra-se na camada superficial do solo. Souza et al. (2005) em um Neossolo Quartzarênico encontrou uma resistência à penetração na camada superficial do solo (0,1 m) inferior a 1,2 MPa, classificada como moderada. Segundo Arshad et al. (1996), a resistência mecânica do solo à penetração pode ser restritiva ao crescimento radicular, quando varia de 2 a 4 MPa. Na verdade, não há um consenso sobre o real valor dessa característica dos solos.

As produtividades obtidas das culturas tanto do milho quanto do arroz, neste trabalho, são consideradas média-alta dentro dos padrões Europeus de produção, embora os atributos físicos analisados tenham atingido os limites críticos para o bom desenvolvimento das plantas. (Tabela 5).

Embora o aumento da densidade do solo e conseqüentemente da resistência do solo a penetração nos diferentes sistemas de cultivo seja preocupante e mereça atenção a fim de evitar complicações futuras nestas áreas, que possam demandar práticas onerosas (aração, subsolagem) para restabelecimento do potencial produtivo, a adoção do valor de 2 MPa como restritivo ao desenvolvimento radicular

em áreas sob estes sistemas de cultivo, parece ser um valor inadequado. Segundo Tisdall e Oades (1982) e Pedroti et al. (2001) a resistência real, exercida pelo solo à penetração radicular é, geralmente, menor que a resistência medida pelo penetrógrafo, já que as raízes procuram os caminhos de menor resistência durante o seu crescimento.

Tabela 5. Produtividade de milho e arroz em parcelas demonstrativas, nos três sistemas de cultivo de arroz. UFGD, 2005 – Vercelli.

		MS* grãos	MS palha	MS total
		----- t ha <sup>-1</sup> -----		
Arroz	CON	4,83	4,70	9,53
Arroz	SEQ	5,58	5,70	11,28
Milho	ROT	10,80	-	-

\* MS = massa seca

Segundo Serafim (2007), esse aspecto está relacionado com a continuidade dos poros, resultante da decomposição das raízes, da liberação de exudatos radiculares, da atividade biológica do solo mais efetiva, proporcionando maior estabilidade dos agregados. Segundo Grant e Lanfond (1993); Serafim (2007) a arquitetura dos poros com maior continuidade e alinhamento apresentando diâmetro acima de 10  $\mu\text{m}$  é favorável a expansão radicular, porém, ignorada por hastes metálicas utilizada nos testes de resistência à penetração, inúmeras vezes maior ao de uma raiz em expansão, estimando valores de resistência a penetração superiores aos realmente impostos pelo solo às raízes.

Foram confeccionadas curvas de retenção da água no solo, nos diferentes momentos, somente até a tensão de 33 kPa (correspondente a capacidade de campo) na profundidade de 0 a 12 cm, o que se justifica pela presença do lençol freático muito próximo da superfície. Sendo assim, observa-se na Figura 5 que no sistema convencional (CON) as curvas exibiram aspecto próximo do retilíneo, assintótico ao eixo da ordenada, a exemplo do que foi relatado por Resck et al. (1991), indicando a existência de ultramicroporos com baixa capacidade de armazenamento de água. Isso se deve provavelmente ao efeito desagregador da água, compactação e, por conseguinte redução no diâmetro dos poros.

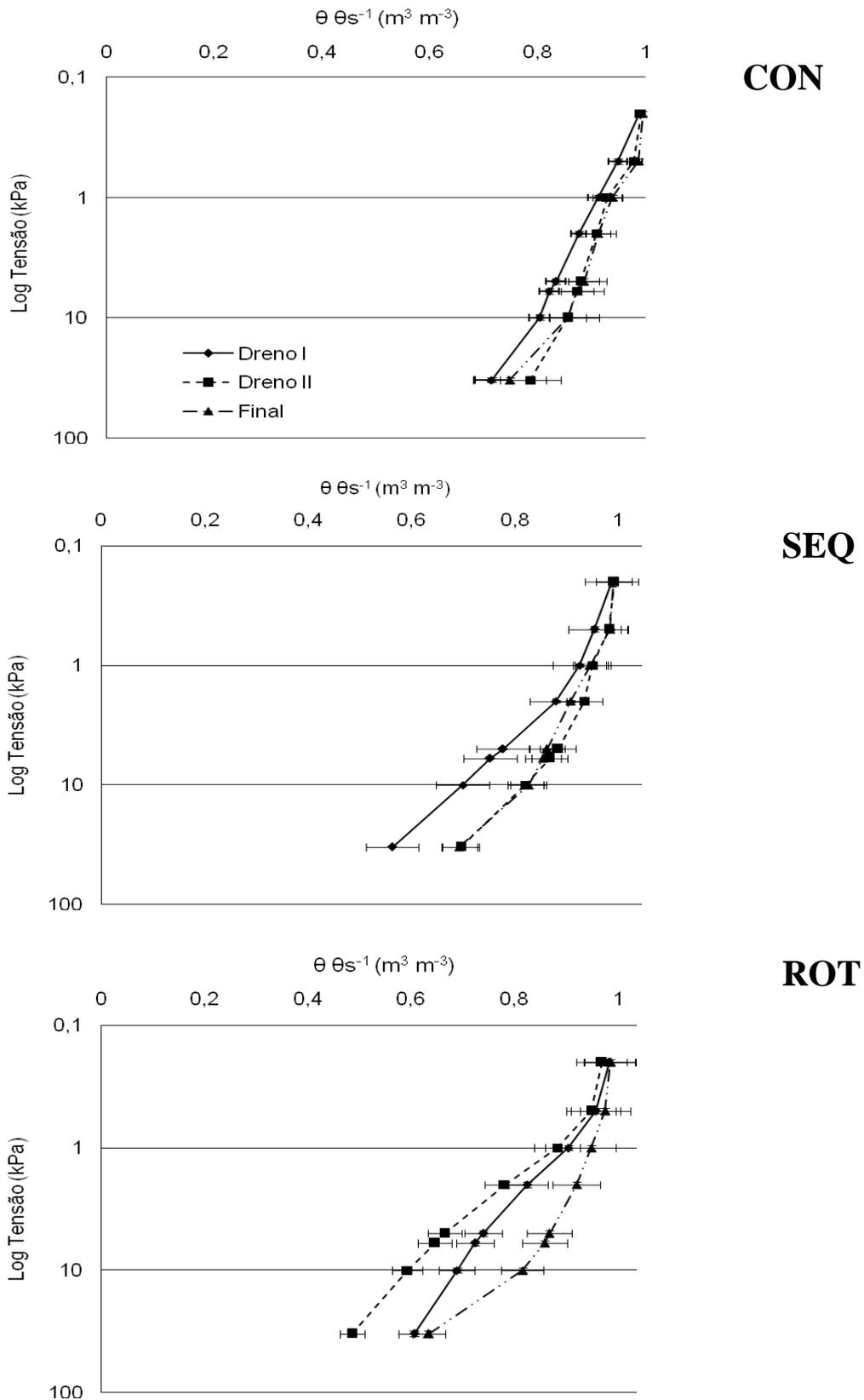


Figura 5. Avaliação temporal da curva característica de água em um Inceptisol Italiano, na profundidade 0 a 12 cm, sob diferentes sistemas de cultivo de arroz.

Essa maior homogeneidade de poros, em termos práticos significa que em se aplicando uma tensão de 33 kPa consegue-se retirar pouca água do solo, menor disponibilidade hídrica para as plantas, além de diminuição na qualidade estrutural do solo, menor porosidade. Resultados semelhantes foram encontrados por Medeiros (1977) que constatou elevada retenção de água em solos arenosos em tensões de 0,06 atm, em função da predominância da areia fina com diâmetro inferior a 0,2 mm, atribuindo esse fato a um melhor arranjo das partículas.

No tratamento SEQ (Figura 5) o que se observa é que no primeiro momento (Dreno I) o solo se apresentava mais estruturado ou com maior proporção de poros com diâmetro grande, entre 50 e 9,0  $\mu\text{m}$  de diâmetro (água retida sob tensões entre 6 e 33 kPa), o que é benéfico (valores médios) por significar água mais facilmente disponível para as plantas no sistema SEQ, no momento inicial, nessa profundidade. Com o passar do tempo observou-se uma redução nesses poros de maior diâmetro, com as curvas exibindo aspecto próximo do retilíneo.

O tratamento ROT foi o que mais se diferenciou dos demais (Figura 5), em especial por apresentar no momento (dreno II) uma melhoria nas condições de estruturação do solo, com maior porosidade, sendo que no momento final a curva se apresenta igual aos demais tratamentos, tendendo a homogeneização dos poros. Para o entendimento desse processo é importante observar os dados de umidade do solo.

Observa-se na Figura 2 um decréscimo da umidade nos momentos dreno I e dreno II e na Figura 5 por sua vez, um incremento de porosidade, o que pode ser um indício de ciclos de umedecimento e secagem desse solo influenciando na qualidade estrutural do mesmo. Essa hipótese foi aventada por Carvalho (1991) e Maltoni (1994) que afirmaram que diversos são os fatores que interferem na agregação do solo, podendo incluir, também, os ciclos de umedecimento e secagem como importante fator ambiental. Essa inferência pressupõe um comportamento comum nos solos de clima temperado, em especial por poderem apresentar vermiculitas e montmorilonitas na composição da fração argila, que são argilas expansivas.

Quando da presença de água, as argilas aumentam de tamanho e, somado aos efeitos de desestruturação da água e trânsito de máquinas, incrementam os valores de densidade do solo e resistência a penetração. Com a retirada da água do sistema e a diminuição do lençol freático, as argilas tendem a se contraírem e assim diminuir seu tamanho acarretando maior porosidade no sistema, diminuindo os

índices de densidade e aumentando a condutividade hidráulica do solo. Em se analisando a porosidade oriunda de ciclos de umedecimento e secagem, Santos (2000) evidenciou a formação de crostas estruturais e fendilhamento, associados à migração de colóides e hidratação diferencial, em experimento com variação dos tempos de secagem entre ciclos de umedecimento.

Na faixa de tensão entre 100 e 1500 kPa, nos três sistemas de cultivo, na profundidade de 12 a 24 cm (Figura 6), as curvas exibiram aspecto curvilíneo indicando a existência de microporos com relativa capacidade de armazenamento de água. Isso provavelmente se deve ao fato da presença de areia fina ocasionando rearranjo das partículas no perfil do solo, com a translocação das partículas mais finas dos horizontes superiores para os inferiores. Considerando o diâmetro de 50  $\mu\text{m}$  (tensão de 6 kPa) como o limite entre macroporos e microporos (retenção de água) (Oliveira, 1968 e Ferreira et al., 1999), observa-se, pela análise das Figuras 5 e 6 que, no tempo, o solo apresentou redução na macroporosidade e aumento na porosidade de retenção de água, em toda a profundidade analisada, concordando com Bertol et al. (2001) que trabalhou com um Cambissolo Húmico. Este resultado está coerente com os maiores valores de densidade observados (Figura 1) e corroboram com as sugestões de Resende et al. (1999). Assim como para a camada superficial, na camada de 12 a 24 cm se observou uma redução da porosidade do solo (Figura 6).

Os poros de maior diâmetro diminuíram em função do tempo com as três práticas de cultivo adotadas. Sistemas que se utilizam de sistematização do terreno, aração, gradagens são os que mais alteram a estrutura do solo, evidenciado, pela maior densidade do solo (Figura 3), menor macroporosidade (Figura 5) e maior deslocamento, tendendo ao retilíneo, da curva característica de água na faixa de tensões entre 0 e 6 kPa e entre 6 kPa e 100 kPa. Entretanto, nesta profundidade (12 a 24 cm), nos três sistemas analisados, a alteração da estrutura do solo (Figura 5 e 6) ocasionou benefícios em termos de disponibilidade de água para as plantas.

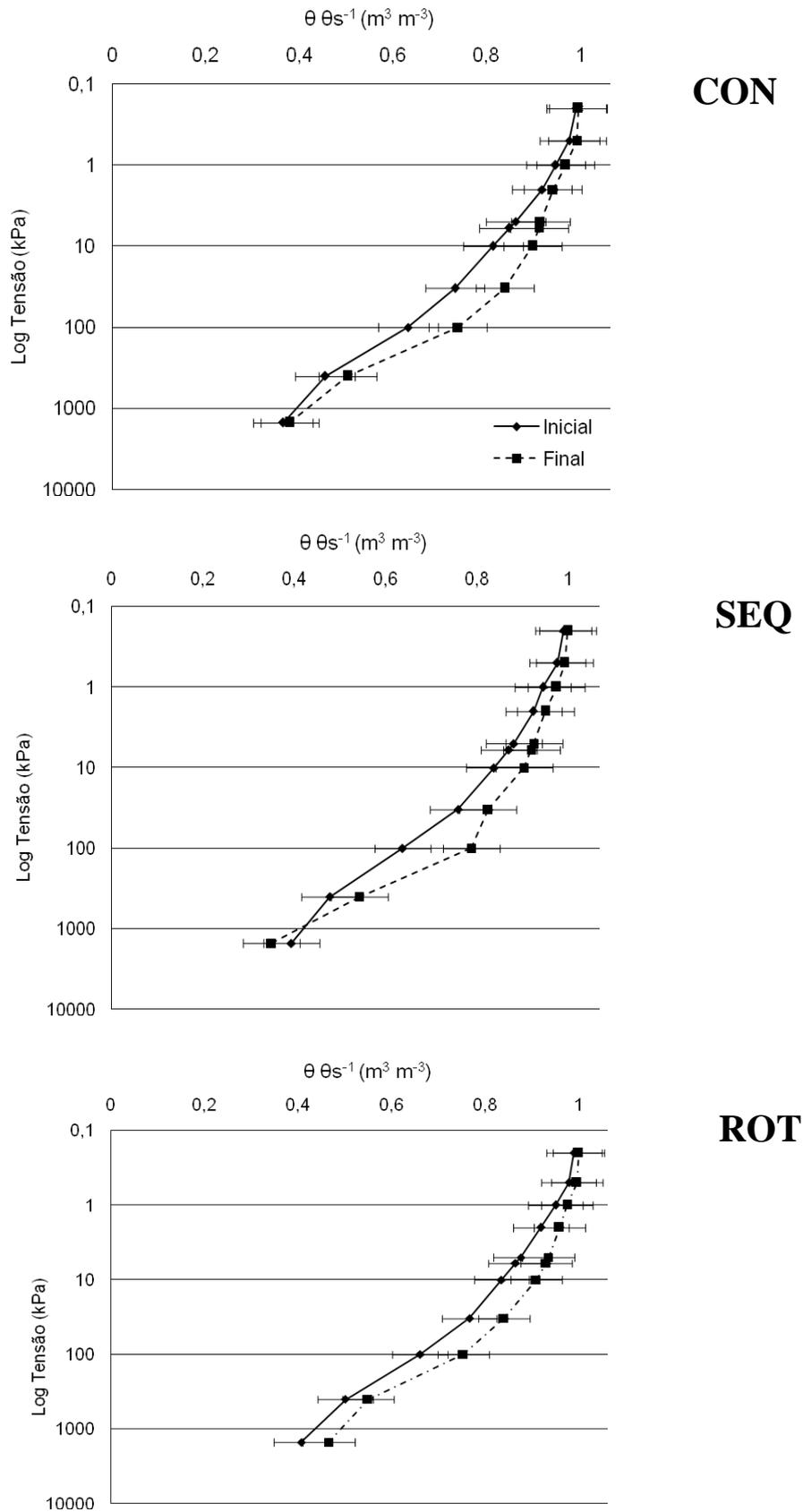


Figura 6. Avaliação, em função do tempo, da curva característica de água em um Inceptisol Italiano, na profundidade 12 a 24 cm, sob diferentes sistemas de cultivo de arroz.

## **CONCLUSÕES**

Observou-se maior influência nos valores de resistência do solo à penetração devido às variações na umidade do que à densidade do solo;

Três camadas, com diferentes resistências à penetração, foram detectadas, entre 0 – 12, 12 - 24 e entre 24 - 35 cm de profundidade,

Houve variação temporal na retenção da água no solo nos diferentes sistemas de manejo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDEL, J.; PETRERE, J. e FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Rev. Bras. Ci. Solo**, 19:115-119, 1995.

ALVARENGA, R. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W.; REGAZZI, A. J. Crescimento de raízes de leguminosas em camadas de solo compactadas artificialmente. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.20, p.319-326, 1996.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Ed.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of America, 1996. p.123-141. (SSSA special publication, 49).

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. H. **Física del suelo**. México: Hispano Americano, 1972. 529 p.

BERTOL, I.; BEUTLER, J. F.; LEITE, D. e BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetado pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, 58:555-560, 2001.

CARVALHO, A. F. **Emprego da agitação horizontal na avaliação da estabilidade de agregados de cinco solos da região sudeste**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1991. 73p. (Tese de Mestrado)

CASSEL, D. K. e NIELSEN, D. R. Field capacity and available water capacity. In: KLUTTE, A., ed. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, **Soil Sc. Soc. Agr.**, 1986. p.901-926.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Efeito de sistemas de preparo nas propriedades físicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 9, n. 3, p. 263-266, 1992a.

CENTURION, J. F.; DEMATTÊ, J. L. I. Sistemas de preparo de solo de cerrado: efeito nas propriedades físicas e na cultura do milho. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 315-324, fev. 1992b.

COMMISSIONE DELLE COMUNITÀ EUROPEE. Communications from the Commission to the Council and the European Parliament, COMM (2002).394p.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesq. Agrop. Bras.**, v.34, p.289-298, 1999.

DIAS JUNIOR, M. S.; PIERCE, F. J. Revisão de literatura: O processo de compactação do solo e sua modelagem. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, v. 20, p. 175-182, 1996.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas do arroz e do feijão. Sistemas de Produção, n.3, ISSN 1679-8869 Versão eletrônica, Nov/2004. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoTocantins/index.htm>> Acessado em: 09.dez.2005.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B. e CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Rev. Bras. Ci. Solo**. v.23:515-524, 1999.

FIGUEIREDO, L. H. A. **Propriedades físicas e mecânicas de um Latossolo Roxo submetido a diferentes sistemas de manejo**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 68p,1998. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).

FLOWERS, M. D.; LAL, R. Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic achraqualf in northwest Ohio. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.48, p.21-35, 1998.

FORSYTHE, W. **Física de suelos: manual de laboratorio**. San José : IICA, 212p, 1975.

FONTES, H. R. **Efeitos de sistemas de manejo de solo sobre o desenvolvimento de coqueiros (*Cocos nucifera* L.) em areia quartzosa marinha**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 81p, 1984. (Dissertação de mestrado).

GOMES, A. S.; CUNHA, N. G.; PAULETTO, E. A.; SILVEIRA, R. J. C.; TURATTI, A. L. Solos de várzea: uso e manejo. In.: MARCÂNTONIO, G. (Coord.). **Solos e irrigação**. Porto Alegre : Ed. da UFRGS/FEDERACITE, p.64-79, 1992.

GRANT, C. A.; LAFOND, G. P. The effects of tillage systems and crop sequences on soil bulk density and penetration resistance on a clay soil in southern Saskatchewan. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 73, p. 223-232,1993.

GROHMANN, F. Compacidade. In: MUNIZ, A.C. (ed.) **Elementos de pedologia**. São Paulo: Polígono, p.93-99, 1972.

HUDSON, N.W. **Soil conservation**. Ithaca, Cornell University Press, 1977. 320p.

KAY, B.D. Rates of change of soil structure under different cropping systems. **Advances in Soil Sciences**. v.12, p. 1-41, 1990.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia: relação solo-planta**. São Paulo: Agronômica Ceres, 273p, 1979.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P.L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria. V.30, n.6, p.959-964, 2000.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: **Methods of soil analysis - Part 1: Physical and mineralogical methods**. Am. Soc. of Agronomy and Soil Sci. Soc. Am. Publ., v.2, n.Madison, p.1188. 1986.

MALTONI, K. L. **Estudo da compactação e, ou, adensamento em subsuperfície de latossolos sob diferentes usos**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 73p, 1994. (Tese de Doutorado)

MEDEIROS, L. A. R. **Caracterização e gênese de solos derivados de calcário e de sedimentos terciários na região de Jaíba, norte de Minas Gerais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 107p, 1977. (Dissertação de Mestrado).

NESMITH, D. S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. **Society of America Journal**, Madison, v.51, p. 183-186, 1987.

OHU, J. O; AYOTAMUNO, M. B. ; FOLORUNSO, O. A. Compaction characteristics of prominent agricultural soil in Borno State of Nigeria. **American Society of Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 30, p. 1575-1577, 1987.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformada. **Pesq. Agrop. Bras.**, 39:197-200, 1968.

PACHECO, A. A. R. ; DIAS JUNIOR, M. S. Estudo comparativo de métodos de campo e laboratório aplicados à confecção de blocos em adobe. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 14, n.2, p. 176-190, 1990, maio/ago. 1990.

PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; FRANZ, A. F. H.; SOUZA, R. O. Manejo de solo e água em arroz irrigado. In: PESKE, S.; NEDEL, J.; BARROS, A. (Ed.). **Produção de sementes de arroz**. Pelotas : Ed. da UFPel, v.1, p.64-144, 1993.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E. A.; GOMES, A. S.; TURATTY, A. L.; CRESTANA, S. Sistemas de cultivo de arroz irrigado e a compactação de um Planossolo. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v. 36, n.4, p.709-715, 2001

PEDROTTI, A.; DIAS JÚNIOR, M. S. Compactação do solo: como evitá-la. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v.9, n.4, p.50-52, 1996.

RAPER, R. L.; REEVES, D. W.; BURTH, E. C.; TORBERT, H. A. Conservation tillage and traffic effects on soil condition. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.37, n.3, p.763-768, 1994.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo : Manole, 171p, 1990.

RESCK, D. V. S.; PEREIRA, J. e SILVA, J. E. Dinâmica da matéria orgânica na região dos cerrados. Planaltina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 22p, 1991. (série documentos, 36)

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B. e CORRÊA, G. F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 3.ed. Viçosa: NEPUT, 304p, 1999.

RUSANOV, V. A. Effects of Wheel and track traffic on the soil and crop growth and yield. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.19, p.131-143, 1991.

SANTOS, C. S. V. **Formação de camadas superficiais adensadas em solo argiloso em resposta a flutuações de umidade**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 70p, 2000. (Tese de Doutorado)

SIA. Método Italiano di Anàlise del Suolo - **Analisi chimice ed fisici del suolo**. Milano, Società Italiana di Agronomia, v.2. 2013p, 2000.

SERAFIM, M. E. **Desenvolvimento de um penetrógrafo de bancada visando a determinação do intervalo hídrico ótimo em diferentes sistemas de produção**. 2007. 68f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal da Grande Dourados/Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados, MS.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesq. Agrop. Bras.**, Brasília, v.40, n.11, p.1135-1139, 2005.

STAFF, S. S. Soil survey manual. Washington: USDA-SCS, 245p, 1993.

TAYLOR, H. M.; ROBERSON, G.M. e PARKER Jr., J. J. Soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. **Soil Science**, 102:18-22, 1966.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation form prediction the hydraulic conductivit of unsaturated soils. **Soil Sc. Soc. Am. J.**, v.44: p.892-98, 1980.

WALCZAK, R.; ORLOWSKI, R.; PUKOS, A. A manual spring-penetrometer of soil with a recorder. **Polish Journal of Soil Science**, v.6, p.87-94. 1973.

## CAPÍTULO 3

# MONITORAMENTO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA DE UM INCEPTISOL SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE ARROZ

## RESUMO

O monitoramento do fluxo contínuo de água no sistema solo tem como um dos objetivos, detectar a presença de camadas compactadas e assim quantificar sua influência na dinâmica da água no solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar no tempo a condutividade hidráulica ( $K$ ) com dois métodos distintos, em um Inceptisol sob a influência de diferentes sistemas de manejo da cultura do arroz. As análises foram realizadas no ano agrícola de 2005, quando foi realizado o monitoramento temporal da ( $K$ ). Os sistemas de cultivo foram: (CON) sistema convencional de cultivo com semeadura na água; (SEQ) sistema com semeadura realizada no sequeiro e (ROT) sistema rotacionado de milho e arroz em um ciclo trienal. Para a determinação da condutividade hidráulica próxima da saturação, usou-se do método do infiltrômetro de tensão, cujos momentos de avaliação foram quatro: inicial (antes da semeadura), primeira drenagem (para realização de adubação), durante a segunda drenagem (controle das plantas infestantes) e ao final da experimentação (retirada definitiva da água/colheita), nas tensões de 0,2; 0,1 e 0,05 kPa. Com o método do duplo anel a condutividade hidráulica saturada ( $K_{Sat}$ ) foi determinada nos momentos inicial e final do ciclo da cultura. As repetições para cada atributo do solo ou planta analisado se definiram em função da dimensão de espaço que essas análises requerem dentro de cada tabuleiro, cujas dimensões são de 100 m de comprimento por 25 m de largura. Os dados foram submetidos a análise de variância e as médias temporais comparadas pelo teste de SNK com ( $p < 0,05$ ). Os valores de ( $K_{Sat}$ ) aumentaram com o tempo nos tratamentos CON e SEQ, passando da classificação de média-baixa para alta; O tratamento ROT se manteve sempre nos limites de ( $K_{Sat}$ ) classificado como médio. Observaram-se variações temporais na macroporosidade do solo, diminuindo com o tempo na profundidade de 0 – 12 cm e com variações em função da umidade do solo.

### **Palavras-chave:**

Condutividade hidráulica    Inceptisol    Arroz

## HIDRAULIC CONDUCTIVITY MONITORING OF ONE INCEPTSOL SOIL UNDER DIFFERENTS MANAGMENT SYSTEMS IN RICE CROPS

### ABSTRACT

The continuous water's flow monitoring in soil system has one objective to detect compacted layer presence and then could to quantifier its influence in the dynamic of soil water. The aim of this work was to evaluate in time the hydraulic conductivity ( $k$ ) using two methods on one Inceptisol under different soil management system influence of rice crops. The analyses were made in 2005 agricultural year, when was carried out the  $k$  temporal monitoring. The soil management system was: (CON) Conventional system with sowing in flooded place; (SEQ) System with sowing of upland rice; (ROT) Crop rotation system with corn and rice crops in triennial cycle. For determination of hydraulic conductivity near saturation, was used tension infiltrometer methods in four times: initial (before sowing), first drainage (for fertilizer), during second drainage (for weeds control) and in the latter of experiment (for withdrawal water and harvest crops), in to 0,2; 0,1 and 0,05 kpa rate tension. Using double ring infiltrometer methods to determine the saturated hydraulic conductivity ( $K_{sat}$ ) was conduct in the initial and the end crops cycle. Replications for each soil attributes or plant was defined in function of space dimension that these analyses required into of each paddy-field, with dimension was 100m of length and 25m of width. Data was submitted variance statistical analyses and temporal average compared using SNK test with ( $p < 0,05$ ). The  $K_{sat}$  values increased with time in CON and SEQ treatments going to medium-low for high range level. In ROT system, the  $K_{sat}$  always kept to medium range border. Was observed that the temporal variation in soil macroporosity decreasing, with time, in 0-12 cm deep and suffer variation by soil moisture function.

Keywords : hydraulic conductivity, rice crops, Inceptisols

## INTRODUÇÃO

A planície Padana constitui o maior reservatório de água subterrânea da Itália e essa característica fez com que o desenvolvimento sócio-econômico dessa região fosse totalmente influenciado por essa característica. A legislação Italiana nos últimos anos tem buscado discutir e monitorar todos os aspectos ligados a contaminação da água subterrânea, tendo como prioridade a manutenção de uma água potável e de um ambiente protegido (Merafina, 2003).

O solo é o reservatório natural de água para as plantas e todas as práticas de manejo na agricultura visam promover condições ideais para o crescimento das culturas. Por ser um reservatório aberto para a atmosfera e para os horizontes ou camadas mais profundas do perfil do solo, muitos pesquisadores têm procurado quantificar a capacidade de armazenamento desse reservatório (retenção de água), como também os fluxos que ocorrem tanto na superfície (infiltração e evaporação) quanto na profundidade no solo (drenagem interna). Esses fluxos que ocorrem dentro do solo fazem parte de importantes processos do ciclo hidrológico (Loyola, 2003).

Os ambientes mais sensíveis do ponto de vista da preservação agrícola são os campos alagados de produção de arroz e segundo Chen (2002) precisam ser analisados do ponto de vista ecológico tal como a conservação de um ambiente natural.

A caracterização do sistema poroso é muito importante nas investigações sobre armazenamento e movimento de gases e água, no estudo de desenvolvimento de raízes de plantas, nos problemas concernentes com a infiltração e retenção de calor e nas investigações da resistência dos solos (Vomocil, 1965). Para Dalla Rosa (1981), a redução na taxa de infiltração de água no solo é a propriedade que melhor reflete o grau de degradação do sistema poroso. Todas estas propriedades do espaço poroso, que influenciam a condutividade, podem ser reunidas no termo único “geometria porosa dos solos” (Libardi, 1999).

A condutividade hidráulica do solo não saturado pode ser descrita como uma função  $K(q)$ , onde  $q$  = umidade volumétrica do solo, que traduz o quanto ele conduz de água em dada umidade. A contribuição que este fluxo pode representar para a região das raízes das plantas é, ainda, mais importante e foi estudado por Jong Van Lier e Libardi (1997) que observaram que uma raiz individual de uma planta de arroz é capaz de retirar água do solo de uma distância de mais de 0,1m no intervalo

de alguns dias. Esses resultados concordam com os de Hulugalle e Willatt (1983) que destacam que, em condições de baixa densidade de raízes, deve-se utilizar uma condutividade hidráulica crítica em vez de uma umidade crítica na avaliação do desenvolvimento das plantas.

Muitos experimentos foram conduzidos e inúmeras simulações foram testadas para quantificar a perda de água em campos de produção de arroz, procurando assim compreender melhor essa complexa interação água-solo (IRRI, 1965; Walker, 1984).

Um dos objetivos em se monitorar o fluxo contínuo de água no sistema solo é o de detectar a presença de camadas compactadas e assim quantificar sua influência na dinâmica da água no solo. De acordo com Silva e Mielniczuk (1997), a presença de camadas compactadas em subsuperfície reflete uma degradação estrutural, com o aumento da densidade, redução da porosidade total e tamanho médio dos agregados, com a taxa final de infiltração de água no solo sendo prejudicada. Segundo Prihar et al. (1985) com a formação de uma camada compactada, ocorre a diminuição da condutividade hidráulica com quedas graduais nesse gradiente o que é notório em horizontes subsuperficiais não saturados, que apresentam alta resistência ao fluxo vertical da água.

Muitas são as técnicas usadas para tentar entender melhor a complexidade do sistema poroso do solo e sua inter-relação com o ambiente. Em experimentos de percolação da água com perdas verticais na camada arável, podem-se usar vários métodos (Huang, 2003). Dentre esses métodos podemos citar o método do duplo anel (Nigrelli, 1996) que é comumente empregado com a finalidade principal de se detectar a presença de barreiras ao fluxo vertical, em condições de saturação, em estudo de classificação de terras para irrigação, bem como em investigações de drenabilidade.

Um método novo no estudo da macroporosidade tem sido os infiltrômetros com tensões controladas (White e Perroux, 1989). A funcionalidade desse instrumento propicia investigar o efeito diferenciado de práticas de manejo diversas na hidrologia dos solos e assim por meio de uma tensão imposta pelo operador, monitorar o comportamento da água no sistema (Dixon, 1975; Messing e Jarvis, 1993). O infiltrômetro de tensão mede a velocidade de ingresso de um fluido em um meio poroso, por exemplo, água no solo (Schut, 1976). Em particular o infiltrômetro de tensão, mediante a tensão imposta pelo operador, permite determinar

a condutividade hidráulica para diferentes valores de potencial matricial. Todos os testes de condutividade hidráulica de campo baseiam-se, em seus princípios gerais, na lei de Darcy para o movimento de água através de um meio saturado.

Tendo em vista o acima exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar no tempo a condutividade hidráulica com dois métodos distintos, em um Inceptisol de Vercelli-Itália, sob a influência de três sistemas de manejo da cultura do arroz.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no Instituto Galileu Ferraris no município de Vercelli na região norte da Itália, no ano de 2005, em um solo identificado segundo a classificação americana como sendo da ordem dos Inceptisols. Na Tabela 1, são apresentadas às características de três formas de manejo utilizadas para a cultura do arroz.

Tabela 1. Descrição dos diferentes manejos adotados para a cultura do arroz. UFGD, 2005 – Vercelli.

<b>Manejo</b>	<b>Manejo da palha</b>	<b>Época de aração</b>	<b>Irrigação</b>	<b>Rotação</b>
Convencional (CON)	incorporada	Outono	Sim-Semeadura submersa	Não
Sequeiro (SEQ)	incorporada	Primavera	Sim-Semeadura em sequeiro	Não
Rotacionado (ROT)	incorporada	Primavera	Não	Sim

Os tabuleiros, com seu respectivo sistema de cultivo, eram de 100 m de comprimento por 25 m de largura e isolados hidraulicamente entre si, por meio de barreiras físicas levantadas com solo.

Nos tratamentos CON e SEQ a presença de água é característica primordial desses sistemas de cultivo, sendo assim, foram realizadas as medições de condutividade hidráulica em momentos de drenagem para realização de alguma prática agrícola, quer seja adubação ou controle de plantas infestantes (Figura 1). Nesses momentos de retirada da água o solo se encontrava não saturado ou próximo da capacidade de campo.

Os momentos de amostragem foram quatro para determinar a condutividade hidráulica próxima da saturação ( $K_{p_0}$ ) com o método do infiltrômetro de tensão: inicial (antes da semeadura); primeira drenagem (para realização de adubação e controle de plantas infestantes); durante a segunda drenagem (adubação) e ao final da experimentação (retirada definitiva da água/colheita); Com o método do duplo anel a condutividade hidráulica saturada ( $K_{Sat}$ ) foi determinada nos momentos iniciais e finais do ciclo da cultura.

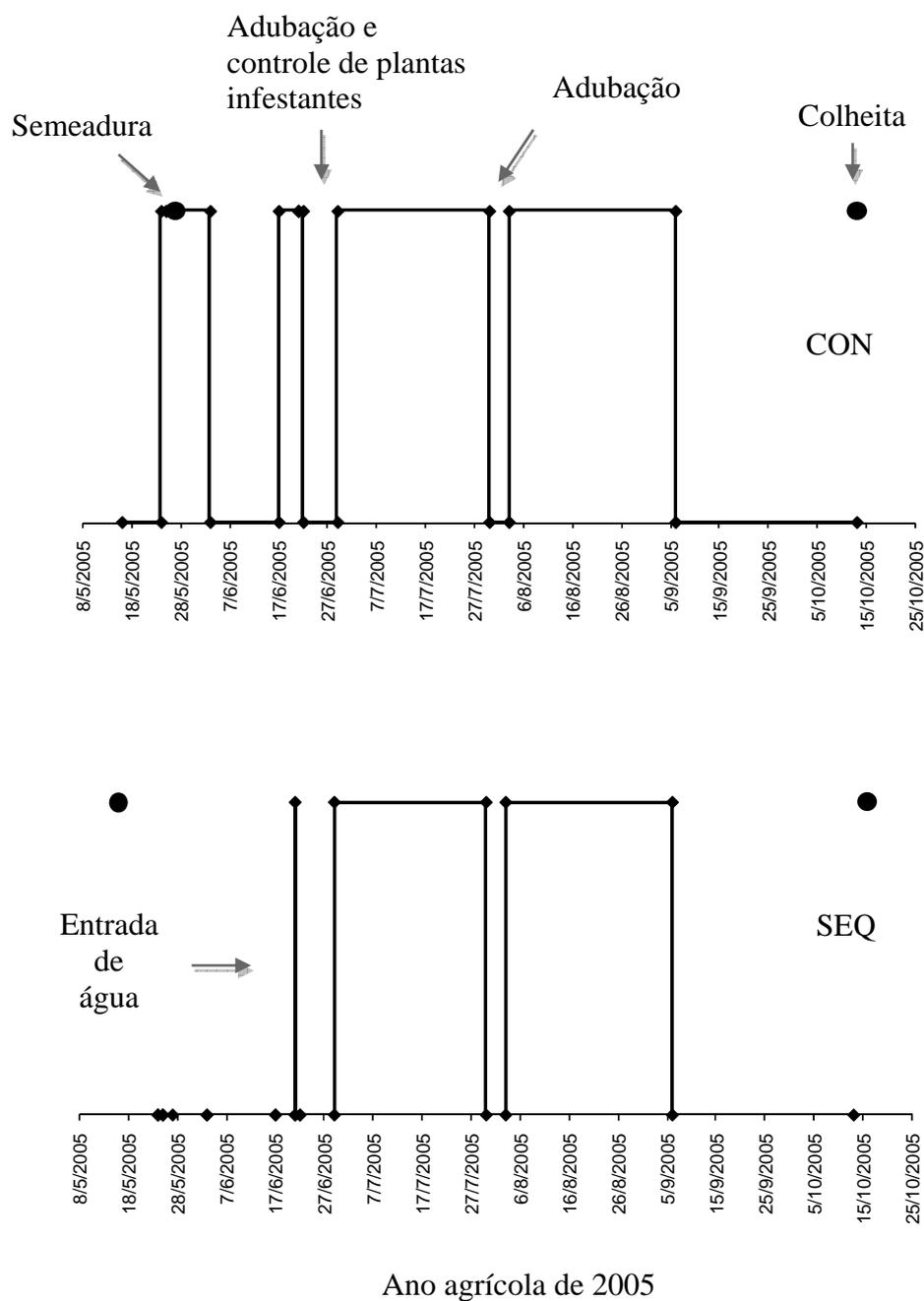


Figura 1. Esquema de entrada e drenagem da água nos diferentes tratamentos durante o cultivo de arroz. Vercelli, 2005.

As repetições para cada método de determinação de condutividade hidráulica do solo estão descritos na Tabela 2. As repetições para cada atributo do solo ou planta analisado se definiram em função da dimensão de espaço que essas análises requerem dentro de cada tabuleiro, em função da quantidade de área

explorada por cada método. É importante ressaltar que as análises em profundidades diferentes, requerem aberturas de sulcos no interior da parcela para coleta de material além da metodologia de determinação da condutibilidade hidráulica com duplo anel, que requer amplo espaço explorado.

Tabela 2. Número de repetições para cada atributo analisado, durante o desenvolvimento da cultura do arroz e em três profundidades diversas. UFGD, 2005 – Vercelli.

Determinações	Momento	Profundidades		
		0 a 12	12 a 24	Rep.
Condutividade hidráulica (Infiltrômetro de tensão)	Inicial	X	X	4
	Dreno I	X		4
	Dreno II	X		4
	Final	X	X	4
Condutividade hidráulica (Duplo anel)	Inicial	X		4
	Dreno I			4
	Dreno II			4
	Final	X		4

O infiltrômetro de tensão quantifica e caracteriza a estrutura do solo, conduzindo essa medida de um fluxo estacionário a propriedade hidráulica do terreno (Ankeny, 1991). O instrumento é constituído de um reservatório de água em que o nível diminui de acordo com o fluxo de água no terreno, um regulador de carga negativa de alimentação hidráulica e de uma placa porosa que faz a conexão hidráulica com o terreno. A pressão negativa exercida pela água elimina do processo de infiltração o efeito dos poros com diâmetro superior a um valor de tensão escolhido.

O Infiltrômetro de tensão (Figura 3) foi usado para medir a condutividade hidráulica nas profundidades de (0-12; 12-24 cm) no início e no final do desenvolvimento da cultura. O monitoramento em superfície foi realizado, também, nos dois momentos intermediários de crescimento da cultura. As tensões aplicadas foram de 0,2; 0,1 e 0,05 kPa, calibradas no aparelho. A determinação da condutividade hidráulica com o infiltrômetro de tensão, são medidas baseadas em um fluxo tridimensional na geometria porosa dos solos, para conversão desses dados em fluxo monodimensional e assim obter a condutividade hidráulica, utilizou-se do método de interpolação de Ankeny et al., (1992).



Figura 3. Determinação do ( $K_{p_0}$ ) com “infiltrômetro de tensão” em diferentes momentos de desenvolvimento da cultura e em diferentes profundidades.

O método do duplo anel foi usado para medir a quantidade de água que, em unidade de tempo, atravessa certa superfície, ou seja,  $K_{Sat}$  do solo. Esse atributo é comumente empregado com a finalidade de se detectar a presença de barreiras ao fluxo vertical da água, em condições de saturação, em estudo de classificação de terras para irrigação, bem como em investigações de drenabilidade.

A profundidade de solo explorado foi de 12 cm com uma lâmina d'água superficial de 10 cm (carga hidráulica) o que corresponde à altura da água no tabuleiro no cultivo do arroz em condições normais. Consiste basicamente na medição da variação de nível de água da lâmina de inundação no anel interno com o tempo. Na tentativa de minimizar as perdas laterais deste anel, de modo a reproduzir uma infiltração a mais vertical possível, foi aplicado um volume de água no anel externo até que os níveis de água em ambos os anéis se igualaram durante a duração do teste. Os diâmetros dos anéis concêntricos são de 30 cm (anel interno) e 60 cm (anel externo). Todas as especificações do aparelho se encontram no documento do Instituto para a Mecanização Agrícola do CNR (Nigrelli, 1996).

Para manter constante a altura de água no cilindro interno e para facilitar a leitura no tempo da  $K_{Sat}$ , foram adaptadas colunas de acrílico como reservatório de água e ligada ao cilindro interno por um sistema de vasos comunicantes (Figura 4).

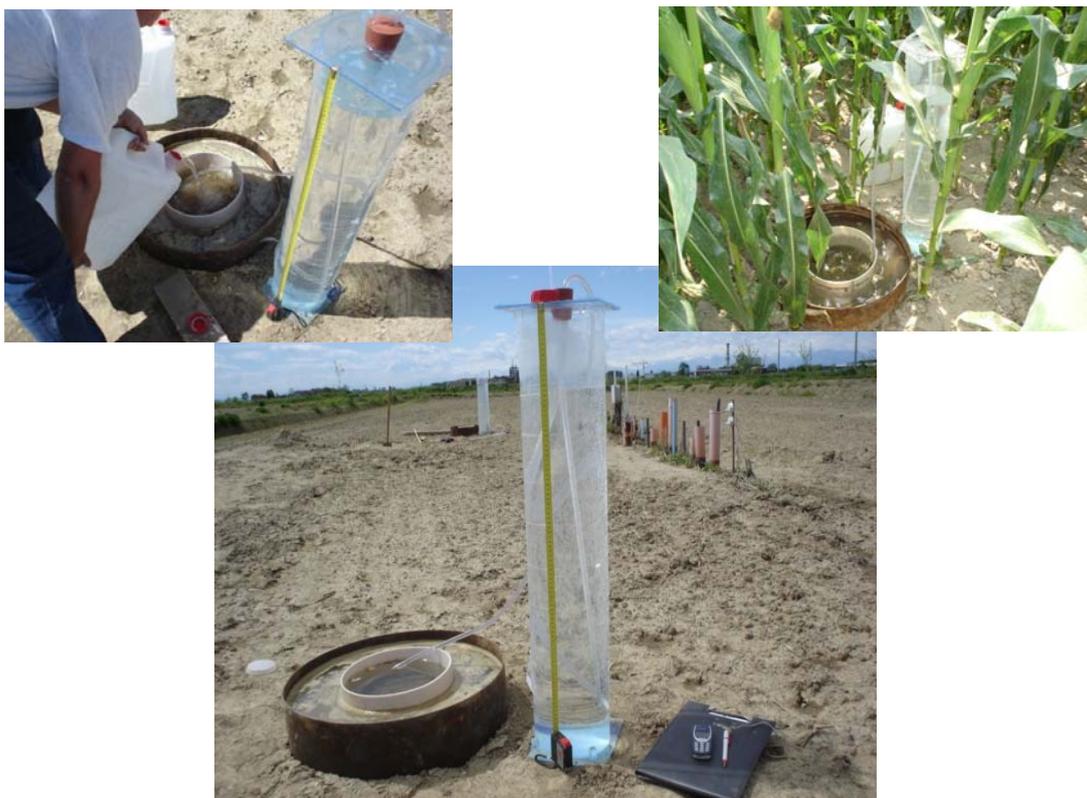


Figura 4. Determinação do ( $K_{Sat}$ ) com o método do duplo anel. Vercelli, 2005.

Os dados foram submetidos à análise de variância e quando se encontraram diferenças significativas, as médias de cada ponto de tensão foram comparadas no tempo segundo o teste de SNK com ( $p < 0,05$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sabendo que a condutividade hidráulica ( $K_{Sat}$ ) é a propriedade de um solo em se deixar atravessar pela água, os valores encontrados para os diferentes sistemas de cultivo estão apresentados na Figura 5.

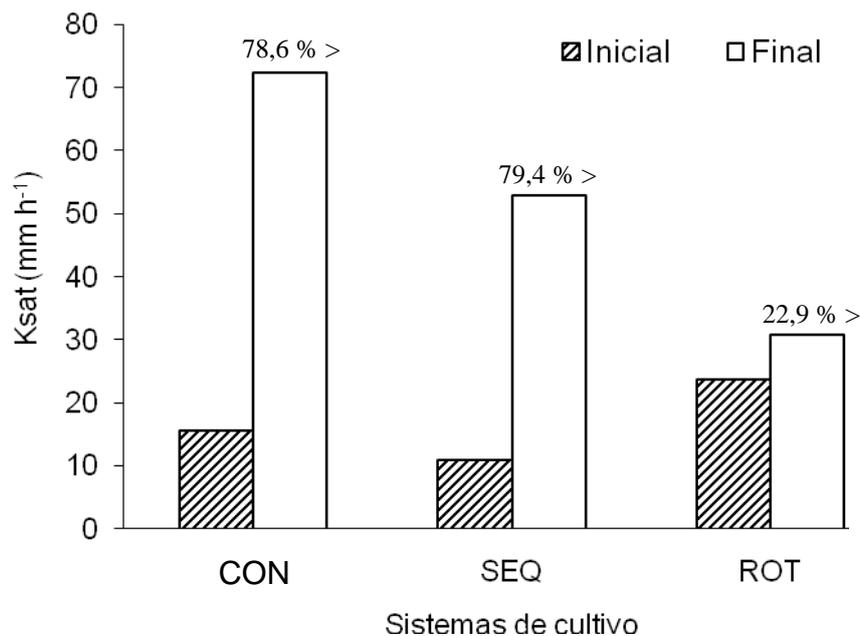


Figura 5. Condutividade hidráulica saturada do solo, ao início e ao final do ciclo em três sistemas de manejo da cultura do arroz. Vercelli, 2005.

Na análise temporal da ( $K_{Sat}$ ) observou-se que ao início da experimentação os tabuleiros CON e SEQ apresentavam uma condutividade hidráulica semelhante, sendo classificado segundo O'Neal (1952) e Black (1965) como sendo de ( $K_{Sat}$ ) media-baixa. Tendo passado cinco meses de cultivo irrigado de arroz, constatou-se ao final da experimentação um aumento de (78,6 e 79,4%, respectivamente) que segundo a mesma classificação os coloca como na classe de condutividade hidráulica alta. O tratamento ROT se manteve sempre nos limites de ( $K_{Sat}$ ) classificado como médio segundo os mesmos autores.

Esse aumento nos valores de ( $K_{Sat}$ ) está provavelmente ligado a utilização de implementos agrícolas que fazem constantemente o revolvimento do solo, propiciando a desagregação do mesmo, acelerando a decomposição da matéria orgânica e pulverizando o mesmo. Em sistemas onde foi realizado a prática da

sistematização do terreno com o implemento “Laser”, nos tratamentos SEQ e CON, o aumento no ( $K_{sat}$ ) foi mais acentuado, isso provavelmente está ligado ao maior efeito desagregador dessa prática, tão habitual em sistemas de cultivo de arroz, aliada ao rompimento de camadas compactadas com a aração e gradagem.

Esses resultados corroboram com os de Riquelme et al. (2003) que analisando os valores de ( $K_{sat}$ ) em diferentes sistemas de manejo do solo constataram que os valores dos tratamentos que se utilizam do revolvimento do solo, foram significativamente maiores quando comparados com os tratamentos sem revolvimento. É verdadeiro que a prática da sistematização do terreno proporciona a distribuição uniforme da lâmina de água nos tabuleiros e facilita a drenagem superficial (Embrapa, 2005). Porém em solos do oeste de Arkansas, Brye et al. (2003) observaram que o nivelamento ou a sistematização do terreno pode afetar a relação entre as propriedades físicas (densidade e textura) e as biológicas (biomassa bacteriana e fúngica). Reichert et al. (2006) ressaltam ainda que considerando que a sistematização pode alterar a variabilidade espacial (vertical e horizontal) do solo, estudos envolvendo práticas de manejo que visem à melhoria ou à manutenção das propriedades físicas são cada vez mais importantes em solos de várzeas.

Vários são os fatores intervenientes na  $K_{sat}$  do solo, sendo eles associados às propriedades físicas do solo, à própria água, principalmente quanto a sua viscosidade e aos íons passíveis de permutação com as partículas, e ao manejo do solo (Araújo Filho e Ribeiro, 1996; Oliveira Sales et al., 1999). O valor da  $K_{sat}$  varia, inclusive, em relação ao método utilizado de medição de infiltração (Araújo Filho e Ribeiro, 1996). Assim, textura, estrutura (Resende et al., 1997), tamanho e disposição do espaço poroso (Baver et al., 1972), manejo do solo, mineralogia (Ferreira, 1988) e umidade inicial para solos com argila expansiva (Araújo Filho e Ribeiro, 1996; Jabro, 1996), além da metodologia adotada no teste de  $K_{sat}$  (Brito et al., 1996), são algumas das causas mais importantes de variação.

Segundo Reichardt e Timm (2004), em um solo de estrutura estável a  $K_{sat}$  é uma característica constante do material. A condutividade hidráulica é, obviamente, afetada pela estrutura e textura do solo, sendo maior em solo altamente poroso, fraturado ou agregado e menor em solos densos e compactados. A  $K_{sat}$  não depende apenas da porosidade total, mas, em especial, das dimensões dos poros e da atividade das argilas que o formam.

Uma segunda inferência que se pode fazer é que solos que estão sujeitos a ciclos de umedecimento e secagem, promovem variações nos valores de  $K_{sat}$ , sendo menores nos períodos úmidos e maiores nos períodos secos (Bentley et al., 1989). Essa diferenciação sazonal também pode ser verificada no trabalho em questão, em que a avaliação inicial foi realizada em Maio (período úmido) e a final realizada em Outubro (período seco). Nesse sentido, Barreto et al. (2000) verificou que os valores de  $K_{sat}$  num perfil superior de solo variaram com o tempo, por causa da secagem do perfil superior durante a estação seca ou após a ação da drenagem (natural ou artificial). Acrescentam ainda que a variabilidade sazonal ocorre principalmente, devido a mudanças periódicas na estrutura e porosidade do solo, que dependem, fundamentalmente, das condições prevalentes dos subsistemas água-solo.

Ao se analisar os dados temporais de condutividade hidráulica próximo da saturação ( $K_{p_0}$ ) para o tratamento CON, pode-se observar, na profundidade superficial (Figura 5), que para a menor tensão 0,05 kPa, referente a poros de 5,96 mm, não se observaram diferenças significativas ao nível de ( $p < 0,05$ ) pelo teste de SNK, dos dados no tempo. O que implica em dizer que embora as médias se apresentem bem diferenciadas, a variabilidade dos dados é muito alta, colocando os momentos estatisticamente em ordem de igualdade.

As diferenças estatísticas se observam a partir das maiores tensões (menor diâmetro de poros) (Figura 5). A partir da Tensão de 0,075 kPa (poros de 3,97 mm) houve diferença entre a ( $K_{p_0}$ ) do momento inicial para os demais, indicando que, com o tempo, houve uma significativa redução dos poros de maior diâmetro, reduzindo assim a ( $K_{p_0}$ ) até as respectivas tensões. Com a eventual compactação, ocorrem reduções significativas, principalmente no volume de macroporos, enquanto os microporos permanecem praticamente inalterados (Hillel, 1982). Isso afeta a infiltração da água no solo, que está relacionada diretamente com a macroporosidade do solo. Os macroporos são também importantes para o crescimento das raízes (Wang et al., 1986) e para o movimento de solutos (Beven e Germann, 1982).

O que se observa é que no momento inicial o solo apresentava certo grau de estruturação, responsável por maior ( $K_{p_0}$ ) até o limite estabelecido de 0,2 kPa (poros de 1,49 mm). Com o tempo, a ( $K_{p_0}$ ) diminuiu, conseqüentemente houve uma perda de estrutura com a entrada de água no tabuleiro. Assim, a medição e a caracterização da transmissão de água nos macroporos do solo podem ser usadas

para avaliar mudanças no grau de compactação. A pressão mecânica exercida sobre os agregados pela compactação pode ter provocado a sua ruptura, facilitando a aproximação das partículas, cuja consequência imediata foi à redução da porosidade total, pela diminuição dos poros maiores e com aumento no número de poros menores.

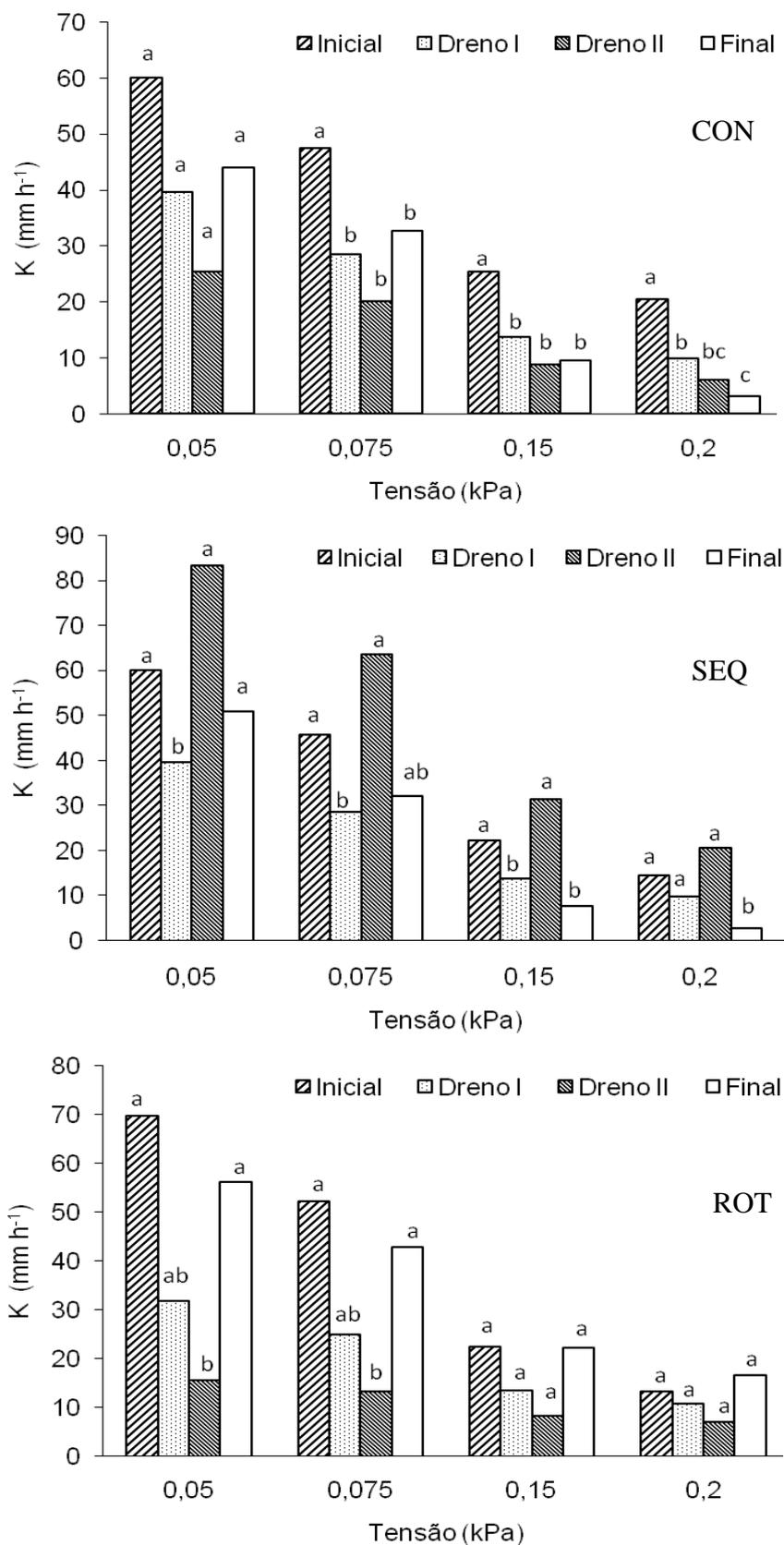


Figura 5. Condutividade hidráulica próxima da saturação, na camada de 0-12 cm, em quatro momentos diferentes durante o ciclo da cultura. (Médias seguidas de mesma letra, para cada tensão, não diferem pelo teste de SNK ( $p < 0,05$ )).

Analisando-se os poros de maior diâmetro, referentes às tensões de 0,05 e 0,075 kPa (Figura 5), observou-se no tratamento CON uma tendência de estruturação no momento final, com a retirada da água e secagem do solo. Essa “re-estruturação” em curto espaço de tempo provavelmente se deve à característica de umedecimento e secagem do solo (expansibilidade das argilas), quando o solo inicia o processo de secagem, as argilas se contraem aumentando a ( $K_{p_0}$ ).

Os valores de condutividade no tratamento SEQ seguiram a mesma tendência temporal do tratamento CON, com a diferença no momento Dreno II (Figura 5). Observa-se que para a tensão 0,05 kPa não se observaram diferenças significativas entre os momentos Inicial, Dreno II e Final, e o único momento diferente dos demais foi o Dreno I. Essas diferenças temporais de ( $K_{p_0}$ ) são atribuídas basicamente pelas oscilações no teor de umidade do solo. O momento dreno II apresenta menor valor de umidade que o momento final, sendo 0,281 e 0,311, respectivamente. Uma vez em menores condições de umidade o solo tende a formar fendas que potencializam a condutividade. Assim como para o tratamento CON, observou-se uma tendência de diminuição da estrutura do solo considerando o momento inicial e final, em especial quando se analisa os poros de menor diâmetro referente a tensão de 0,2 kPa (poros de 1,49 mm). Somente o momento final se apresenta diferente estatisticamente pelo teste de SNK ( $p < 0,05$ ). Essa diminuição da ( $K_{p_0}$ ) indica maior diminuição do tamanho de poros e sinais de desestruturação.

Embora o tratamento ROT não tenha recebido água em submersão, constata-se a mesma tendência dos demais em termos de variações de ( $K_{p_0}$ ) no tempo (Figura 5). Os valores de ( $K_{p_0}$ ) em todos os pontos de tensão não se diferenciaram nos momentos inicial e final, porém com significativas diminuições durante o ciclo da cultura, somente para os poros de maior diâmetro. É importante notar que essa região tem como característica a presença do lençol freático muito próximo da superfície nos meses de julho a setembro, característica essa, visível em toda a Planície Padana do Norte Italiano. Sendo assim, é provável que esse comportamento esteja ligado a presença do lençol freático aliado aos efeitos compactantes dos implementos agrícolas utilizados.

Na camada de 12 – 24 cm a ( $K_{p_0}$ ) analisada no momento inicial e final (Figura 6) demonstraram poucas variações significativas entre os tratamentos. No tratamento CON, a condutividade aumentou significativamente pelo teste de SNK ( $p < 0,05$ ) no tempo, somente para os poros de grosso calibre, referente às tensões de 0,05 e 0,075 kPa. Pressupõe-se que com a sistematização e demais implementos utilizados promovam uma compactação da camada 12 - 24 cm, provavelmente sendo a responsável pela menor condutividade no momento inicial visto que a amostragem deu-se posteriormente a sistematização. Com o tempo foi recriada uma estrutura nessa camada, graças a característica de expansibilidade das argilas, incrementando a ( $K_{p_0}$ ) com o tempo. Outra inferência para essa profundidade pode se feita pensando no desenvolvimento do sistema radicular do arroz, formando galerias que podem incrementar o fluxo vertical da água.

Nos tratamentos SEQ e ROT (Figura 6), não se observaram diferenças significativas pelo teste de SNK ( $p < 0,05$ ), demonstrando que a ( $K_{p_0}$ ) não variou significativamente com o tempo. No sistema ROT a variabilidade dos dados foi mais acentuada que no tratamento SEQ, porém não significativamente diferenciáveis.

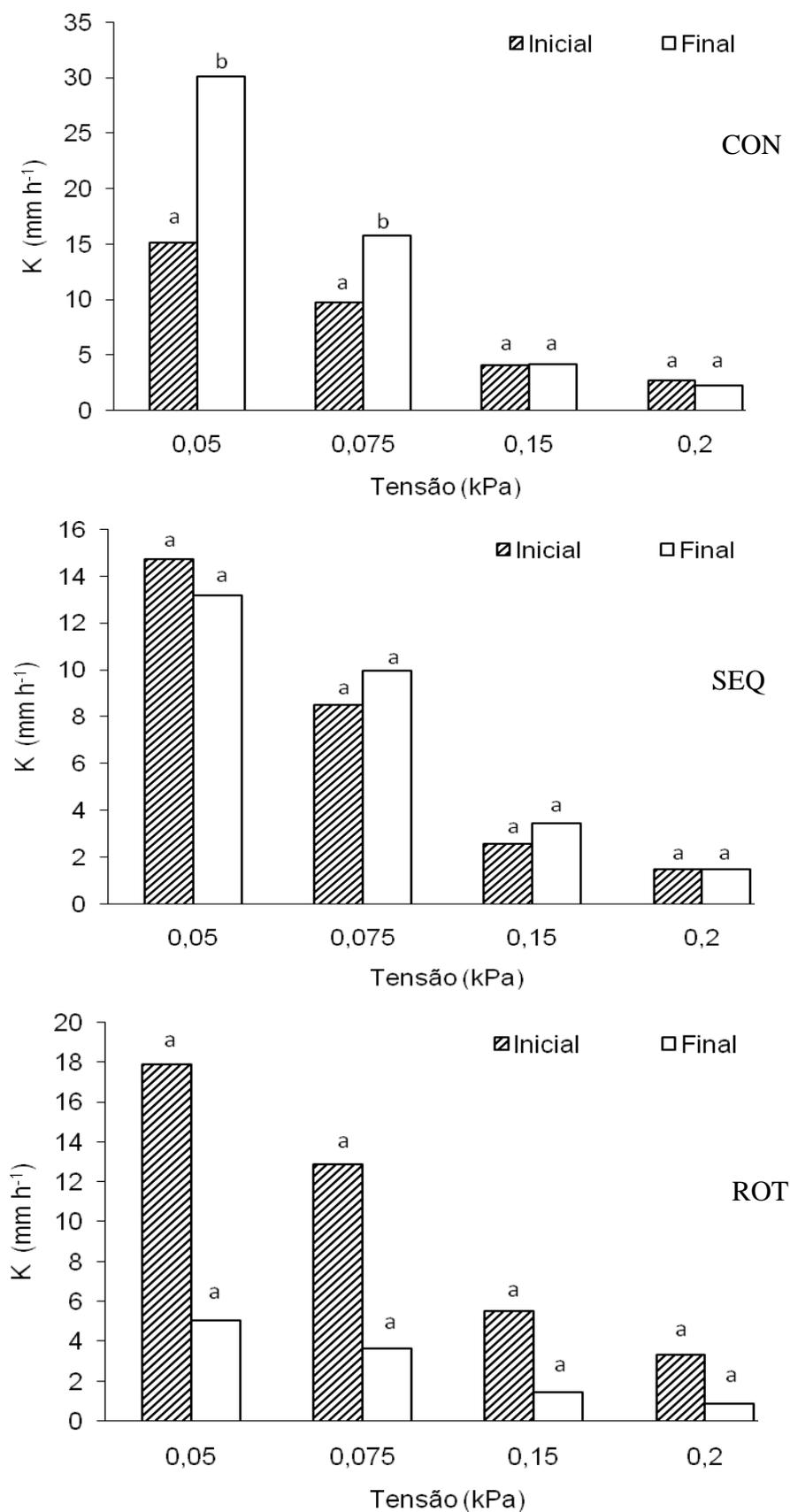


Figura 6. Condutividade hidráulica próxima da saturação, na camada de 12-24 cm, ao início e ao final da experimentação. (Médias seguidas de mesma letra, para cada tensão, não diferem pelo teste de SNK ( $p < 0,05$ )).

## CONCLUSÕES

Os valores de ( $K_{Sat}$ ) aumentaram com o tempo nos tratamentos CON e SEQ, passando da classificação de média-baixa para alta;

O tratamento ROT se manteve sempre nos limites de ( $K_{Sat}$ ) classificado como médio;

Observaram-se variações temporais na macroporosidade do solo, diminuindo com o tempo na profundidade de 0 – 12 cm e com variações em função da umidade do solo;

Na profundidade de 12 -24 cm somente o tratamento CON houve diferenças na ( $K_p$ ) e somente para poros de maior diâmetro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANKENY, M. D.; AHMED, M.; KASPAR, T. C.; HORTON, R. Simple field method determining unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**. v.55, p.467-470, 1991.

ARAÚJO FILHO, J. C. de; RIBEIRO, M. R. Infiltração da água em Cambissolos do Baixo de Irecê (BA). **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.20, p.363-370, 1996.

BARRETO, A. N.; OLIVEIRA, G. R.; NOGUEIRA, L. C.; IVO, W. M. P. M. Condutividade hidráulica saturada em um solo aluvial do perímetro irrigado de São Gonçalo, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.152-155, 2000.

BAVER, L. D.; GARDNER, W. H.; GARDNER, W. H. **Física del suelo**. México: Hispano Americano, 529 p, 1972.

BENTLEY, W. J.; SKAGGS, R.W.; PARSONS, J.E. The effect of variation in hydraulic conductivity on watertable drawdown. Technical Bulletin, North Carolina Agricultural Research Service. North Carolina State University, 288, Raleigh, 23p. 1989.

BEVEN, K.J.; GERMANN, R.F. Macropores and water flow in soils. *Water Resources Research*, **Washington**, v.18, p.1311-1325, 1982.

BLACK, C. A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, pt.1, p.374-390, 1965.

BRITO, L.T. de L.; LOUREIRO, B.T.; DENICULI, W.; RAMOS, M.M.; SOARES, J.M. Influência do método na determinação da velocidade de infiltração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.20, n.3, p.503-507, 1996.

BRYE, K.R. et al. Short-term effects of land leveling on soil physical properties and microbial biomass. **Soil Science Society of America Journal**, v.67, p.1405-1417, 2003.

CHEN, S. K., LIU, C. W. Analysis of water movement in paddy rice fields. Experimental studies. **Journal Hydrology**. v.260, p.206-215, 2002.

DALLA ROSA, A. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas do solo degradado pelo cultivo no solo Santo Ângelo: Latossolo roxo distrófico**. Porto Alegre: UFRGS - Faculdade de Agronomia, 138p, 1981. Dissertação.

DIXON, R. M. Design and use of closed-top infiltrometers. **Soil Science Society of America Journal**. v.39, p.755-763. 1975.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas do arroz e do feijão. Sistemas de Produção, No. 3, ISSN 1679-8869 Versão eletrônica, Nov/2004. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoTocantins/index.htm>> Acessado em: 09.dez.2005.

FERREIRA, M. M. 1988, **Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos brasileiros**. Viçosa, UFV, 1988, 79p. Tese de Doutorado (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de Viçosa.

HILLEL, D. **Introduction to Soil Physics**. 2. ed. New York, Academic Press, 364p, 1982.

HUANG, H. C.; LIU, C. W.; CHEN, S. K.; CHEN, J. S. Analysis of percolation and seepage through paddy bunds. **Journal of Hydrology**. v.284, p.13–25, 2003.

HULUGALLE, N. R.; WILLAT, S. T. The role of soil resistance in determining water uptake by plant root systems. **Australian Journal of Soil Research**. v.21, p.571-574, 1983.

IRRI. International Rice Research Institute. Annual Report; Los Nanos – Philippines, 335p. 1964.

JABRO, J. D. Variability of field – saturated hydraulic conductivity in hagerstown soil as affected by initial water content. **Soil Science**, v.161, n.11, p.735- 739, 1996.

JONG VAN LIER, Q. de, LIBARDI, P.L. Extraction of soil water by plants: development and validation of a model. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.212, p.535-542, 1997.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. 2.ed. Piracicaba : O autor, 497p, 1999.

LOYOLA, J. M. T.; PREVEDELLO, C. L. Modelos analíticos para predição do processo da redistribuição Da água no solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.27, p.783-787, 2003.

MERAFINA, P. **Monitoraggio della dinamica dei nitrati nel mezzo insaturo in un'area vulnerabile della provincial di Parma e applicazione del modelo di simulazione CropSyst**. Parma-Itália, USP, 2003, 183p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Università degli Studi Di Parma, 2003.

MESSING, I.; JARVINS, N.J. Temporal variation in the hydraulic conductivity of a tilled clay soil as measured by tension infiltrometers. **Journal of Soil Science**. v.44, p.11-24, 1993.

NIGRELLI G. L'infiltrometro a doppio cilindro. Caratteristiche tecniche, modalità di utilizzo e parametri rilevabili. Torino-Itália: (Circular Técnico 96.6), Istituto per la meccanizzazione agricola, 1996.

OLIVEIRA SALES, L. E. de; FERREIRA, M. M.; OLIVEIRA, M. S. de; CURI, N. Estimativa da velocidade de infiltração básica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.34, n.11, p.2091-2095, 1999.

PRIHAR, S. S.; GHILDYAL, B. P.; PAINULI, D. K. SUR, H. S. Physical properties of mineral soils affecting rice-based cropping systems. Soil Physics and rice. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines. p.57-70, 1985.

REICHARDT, K. e TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP. Manole, 478p. 2004.

REICHERT, J. M.; LIMA, C. L. R.; DALMOLIN, R. S.; REINERT, D.J.; GONÇALVES, C.; NUNES, M. Agregação de um planossolo sistematizado há um ano e sob cultivo de arroz irrigado. **Ciência Rural**. vol.36, n.3, 2006.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S. B.; CORRÊA, C. R. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 2ª. ed, Viçosa, NEPUTI, 1997.

RIQUELME, U.F.B.; SANTI, G.R.; REICHERT, M.; REINERT, D.J. **Curvas de retenção de água e condutividade hidráulica do solo em sistemas de manejo do feijoeiro**. Santa Maria, UFSM, 2003. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Santa Maria.

SCHUT, G. H. Review of Interpolation Methods for Digital Terrain Models. **The Canadian Surveyor**. v.30, n.5, 1976.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.21, p.113-117, 1997.

VOMOCIL, J. A. Porosity. In: BLACK, C.A. (Ed.). **Methods of soil analysis**, Part1. Physical and Mineralogical Properties. Madison: American Society of Agronomy, p.299-314, 1965.

WALKER, S. H.; RUSHTON, K.R. Verification of lateral percolation losses from irrigated rice field by a numerical model. **Journal Hydrology**. v.71, p.335-351, 1984.

WANG, J.; HESKETH, J. D.; WOOLLEY, J. T. Preexisting channels and soybean rooting patterns. **Soil Science**, Baltimore, v.141, p.432-437, 1986.

WHITE, I.; PERROUX K.M.; Measurement of surface-soil hydraulic properties: disk permeameters, tension infiltrómetros and other techniques. In TOPP, G.C. **Advances in measurement of soil physical properties: bringing theory into practice**, Madison (WI), SSSA spec. publ. 30, 69-103, 1992.