

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**CAMPUS JATAÍ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM PLINTOSSOLO  
HÁPLICO SOB UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE USO  
AGRÍCOLA EM CAMPO DE MURUNDU**

**José Henrique da Silva**

Engenheiro Agrônomo

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Setembro de 2011



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS**  
**CAMPUS JATAÍ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM PLINTOSSOLO  
HÁPLICO SOB UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE USO  
AGRÍCOLA EM CAMPO DE MURUNDU**

**José Henrique da Silva**

Orientador: Dr. Raimundo Rodrigues Gomes Filho

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Goiás – UFG, Campus Jataí, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal)

JATAÍ – GOIÁS – BRASIL

Setembro de 2011

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**JOSÉ HENRIQUE DA SILVA** – Filho de Aristides da Silva Isidoro e Teresinha Ferreira da Silva, nascido no município de Goiânia, Goiás, em 06 de junho de 1979. Em 2004 ingressou na Universidade Federal de Goiás, onde, em 2008, obteve o título de Engenheiro Agrônomo. Atualmente trabalha no Ministério do Desenvolvimento Agrário, onde ocupa o cargo de Engenheiro Agrônomo da Secretaria da Agricultura Familiar. Em março de 2009 iniciou-se o curso de Mestrado em Agronomia na UFG/Campus Jataí.

*"Nossas dúvidas são traidoras e nos fazem perder o que, com frequência, poderíamos ganhar, por simples medo de arriscar."*

William Shakespeare

A minha esposa Ana Cristina e minhas filhas Ana Beatriz e Ana Luiza,  
pelo carinho, compreensão, apoio e confiança

**Dedico e Ofereço**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus em primeiro lugar.

Aos professores Raimundo Rodrigues Gomes e Helder Barbosa Paulino, pela orientação, dedicação, paciência, conselhos e apoio para que esse trabalho fosse realizado.

Aos professores Carlos Alexandre Gomes Costa, Marco Aurélio Carbone Carneiro e Hildeu Ferreira da Assunção, pela amizade e ajuda prática.

Ao CNPq pela concessão da bolsa e financiamento do projeto.

Ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da UFG – Campus Jataí pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

## SUMÁRIO

Página

## LISTA DE FIGURAS

Página

## LISTA DE TABELAS

Página

## **ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DE UM PLINTOSSOLO HÁPLICO SOB UMA CRONOSSEQUÊNCIA DE USO AGRÍCOLA EM CAMPO DE MURUNDU**

**RESUMO** – Na região dos chapadões no estado de Goiás, os microrrelevos em campos brejosos, ou campos de murundus, também denominados covais, cocorutos, morrotes e monchões, constituem áreas extensas onde predominam Plintossolos Háplico. Muitas destas áreas foram incorporadas aos sistemas agrícolas de produção, sem que os impactos nas características físico-hídricas fossem avaliados. Assim o objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto da cronossequência de uso agrícola no movimento da água no solo no campo de murundus através dos parâmetros: condutividade hidráulica, velocidade de infiltração e resistência do solo a penetração. Avaliar, também, o desempenho entre os valores da infiltração obtidos em campo e os valores calculados através dos modelos empíricos de Kostiakov, Horton e Kostiakov-Lewis para os testes de infiltração. Para isso foram selecionadas quatro áreas, das quais, três estão sob cronossequência de uso agrícola e uma área totalmente preservada. Para determinação da velocidade de infiltração foi utilizado cilindro infiltrômetro, para a condutividade hidráulica o permeâmetro de carga constante e para a resistência do solo à penetração foi utilizado o penetrógrafo. Nas áreas preservadas foram obtidos valores de velocidade de infiltração básica de 242 e 170  $\text{mmh}^{-1}$ , para as partes baixa e alta dos murundus, respectivamente, e valores de 2  $\text{mmh}^{-1}$  para as áreas com uso agrícola. Os valores da condutividade hidráulica foram 42,33  $\text{cmh}^{-1}$ , 12,97  $\text{cmh}^{-1}$ , 13,95  $\text{cmh}^{-1}$ , 13,38  $\text{cmh}^{-1}$  e 5,79  $\text{cmh}^{-1}$  respectivamente para as partes alta e baixa dos murundus, cinco, dez e quinze anos de uso agrícola. Os testes de resistência do solo à penetração (RSP) mostraram que na área preservada ocorreram os menores valores de RSP; 0,73 Mpa na parte alta e 0,80 Mpa na parte baixa dos murundus, os maiores valores foram encontrados nas áreas com quinze, dez e cinco anos de uso agrícola, respectivamente 6,62, 5,78 e 3,95 Mpa. Observou-se uma redução da qualidade estrutural avaliada pela condutividade hidráulica, velocidade de infiltração básica e resistência do solo a penetração para a área com interferência antrópica em sistema de plantio direto.

**Palavras chave:** condutividade hidráulica, velocidade de infiltração, covais

## HYDRO-PHISICAL ATTRIBUTES OF A HAPLIC PLINTHOSOLS OF UNDER A CHRONOSEQUENCE OF AGRICULTURAL USE AT MOUND FIELDS

**ABSTRACT** – In the region of the plains in the state of Goiás, the microrelief in marshy fields, or fields of mounds, also called covais, cocorutos and monchões, where large areas are predominantly Haplic Plinthosols. Many of these areas were incorporated into the agricultural systems of production, without the impact on hydro-physical characteristics were evaluated. Thus the objective of this study was to evaluate the impact of chronosequence anthropogenic interference in the soil water movement in the field of mounds through the parameters hydraulic conductivity, infiltration rate and soil resistance to penetration. For that four areas were selected, of which three are under chronosequence of agricultural use and a completely preserved. To determine the rate of infiltration cylinder infiltrometer was used for the hydraulic conductivity of the permeameter constant load and the resistance to penetration of the penetrometer was used. In areas without anthropogenic interference values were obtained from steady state infiltration rate of 242 and 170  $\text{mmh}^{-1}$  for low and high parts of the mounds, respectively, and values of 2  $\text{mmh}^{-1}$  for areas with anthropogenic interference. The hydraulic conductivity values were 42.33  $\text{cmh}^{-1}$ , 12.97  $\text{cmh}^{-1}$ , 13.95  $\text{cmh}^{-1}$ , 13.38  $\text{cmh}^{-1}$  and 5.79  $\text{cmh}^{-1}$  shares respectively for high and low mounds, five, ten and fifteen years of human interference. Tests of soil resistance to penetration (RSP) showed that in the area without human interference occur the lowest RSP, 0.73 MPa in the upper and 0.80 in the lower part of the hillock, the highest values were found in areas with fifteen, ten and five years of human interference, respectively, 6.62 Mpa, 5.78 Mpa and 3.95 Mpa. There was a reduction of the structural quality as assessed by hydraulic conductivity, steady state infiltration rate and soil resistance to penetration into the area with human interference in no-tillage system.

**Key words:** hydraulic conductivity, infiltration rate, covais

## 1 - INTRODUÇÃO

O Brasil possui cinco grandes tipos de províncias vegetacionais – Floresta Amazônica do Norte, Cerrado do Brasil Central, Caatinga do Nordeste, Floresta Atlântica e as Pradarias de campo limpo gramíneo do Sul. Em cada província, o tipo principal cobre de 75 a 90% da área, sendo o restante ocupado por outros tipos de vegetações terrestres ou brejosas, determinadas por condições especiais do substrato, como por exemplo, o campo de murundu (Eiten, 1990).

Na região dos chapadões no estado de Goiás, os microrrelevos em campos brejosos, ou campos de murundus, também denominados covais, cocorutos e monchões, constituem áreas extensas onde predominam Plintossolos Háplicos.

Estes solos são importantes, pois tem a função de abastecimento de água para o lençol freático e manutenção dos níveis de água nos córregos e rios das bacias onde estão localizados.

Nas últimas décadas, no estado de Goiás, estas áreas foram incorporadas aos sistemas agrícolas de produção. Nesse processo de ocupação, as transformações da paisagem vão além da perda de biodiversidade e das alterações climáticas, podendo modificar a própria estrutura dos solos. As consequências, em termos de compactação e erosão dos solos, assoreamento dos cursos d' água e comprometimento dos recursos hídricos, são amplamente observáveis, mas o seu desenvolvimento e consequências econômico-ambientais são ainda desconhecidos.

Fato notável é o rebaixamento do nível freático de campos de murundus, por meio da escavação de uma rede de canais de drenagem visando ampliar as áreas agrícolas, como vem ocorrendo em vários municípios da região, a exemplo de Jataí, município situado na região sudoeste do estado de Goiás. O resultado em muitos casos tem sido o ressecamento excessivo do solo e conseqüentemente o endurecimento do horizonte plíntico criando desta forma uma barreira a infiltração e escoamento natural da água e também do desenvolvimento radicular além do fato da redução de córregos e menor fluxo de água para os rios da microbacia onde está localizado.

Assim, pelas características das áreas (elevado teor de matéria orgânica, argila, relevo e possibilidade de mecanização) essas áreas têm apresentado ao longo dos anos altas produtividades, o que tem feito com que os produtores incorporem anualmente mais áreas ao sistema de produção, sem que a pesquisa

avaliar o efeito dessa incorporação seja com relação às alterações nos atributos dos solos, bem como ao ambiente, haja vista a importância dessas áreas para o sistema hidrológico do Brasil.

Essa forma de ocupação e manejo do solo vem se constituindo cada vez mais em uma questão polêmica junto aos diversos setores atuantes na região, especialmente no que diz respeito às relações custo/benefício ambiental, ao tempo de duração do benefício, à reversibilidade das transformações negativas ou impactos negativos e dos possíveis impactos ecológicos que podem se manifestar ao nível da estrutura pedológica, mudanças climáticas, recursos hídricos, conservação da biodiversidade e, conseqüentemente, ao desenvolvimento sustentável.

A relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo comportamento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. O monitoramento da qualidade do solo pelos atributos físico-hídricos é importante para a manutenção e avaliação da sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar atributos físico-hídricos de qualidade do solo: condutividade hidráulica, velocidade de infiltração e resistência do solo à penetração, de um Plintossolo Háplico presente na fitofisionomia Campo de Murundu no cerrado da região de Jataí – GO, sob uma cronosequência de uso agrícola. Avaliar, também, o desempenho entre os valores da infiltração obtidos em campo e os valores calculados através dos modelos empíricos de Kostiakov, Horton e Kostiakov-Lewis para os testes de infiltração.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Campo de Murundus

O campo de murundus é constituído por uma área plana, inundável no período das chuvas, onde se encontram inúmeros murundus. A área plana e os murundus menores são cobertos por vegetação campestre e os maiores, por vegetação lenhosa do Cerrado (Oliveira-Filho, 1992). A atividade de cupins, juntamente com processos erosivos, parece moldá-los a uma formação arredondada ou elíptica, apresentando altura máxima de um a dois metros (Ponce & Cunha, 1993).

Os campos de murundus caracterizam-se por constituírem extensas áreas brejosas ou alagadiças vegetada com gramíneas nativas, freqüentemente em ilhas esparsas de cerrado, nucleados por cupins importantes sob o ponto de vista da ecologia, pois apresentam indícios da evolução do gradiente vegetacional do cerrado, relações entre fauna e flora e ligação com a perenização das nascentes e dos cursos d'água e interdependência com o regime climático (Mathews, 1977; Pullan, 1979).

Os murundus dos campos brejosos de encosta foram definidos como concentração de termiteiros. Essa teoria pressupõe três fases distintas: 1ª) uma espécie de cupim mais tolerante aos solos úmidos instala-se no campo durante o período seco, construindo um pequeno ninho na base do tufo de uma gramínea; 2ª) essa colônia de cupins morre, o cupinzeiro se desestrutura, e o monte de terra continua a ser aumentado nas estações úmidas por outra espécie de cupim e por minhocas, podendo ser colonizado por plantas menos tolerantes aos encharcamentos; 3ª) nos montes de terra maiores e durante as estações secas mais prolongadas, uma terceira espécie de cupim se instala, construindo cupinzeiros bem mais volumosos e pouco tolerantes aos encharcamentos, exigindo uma plataforma maior e mais seca. A partir daí os cupinzeiros permanentemente atacados e destruídos total ou parcialmente por predadores (tamanduás e tatus) e constantemente reparados ou reconstruídos pela mesma colônia ou por novas,

durante longos períodos, formando montes de terra cada vez maiores ao redor dos cupinzeiros, que passam a ser ocupados por plantas lenhosas de cerrado, que fornecem abrigo e alimentação para os cupins e outros animais. Especialmente nos períodos de alagamento. A uniforme distribuição dos murundus nos campos brejosos reflete a divisão dos territórios de forrageamento, que são hostis entre si (Mathews, 1977).

Atualmente, a utilização destas áreas para a produção agrícola está associada à abertura de drenos artificiais, para extrair lâmina de água que naturalmente recobre o solo destes campos. Isso tem provocado segundo alguns agricultores da região a “morte” de seus córregos que anteriormente tinham água em abundância, pela redução da quantidade armazenada nessas áreas que supriam lentamente os mananciais da região.

## 2.2 Impacto do uso agrícola no solo

Dos componentes do manejo, o preparo do solo é a atividade que mais influi no seu comportamento físico, pois atua diretamente na sua estrutura. Além das modificações na porosidade e densidade, o manejo provoca alterações na estrutura do solo, que afetam a retenção de água e a resistência mecânica, entre outros efeitos (Stone & Silveira, 2004). Atualmente, no Brasil e no mundo, há grande preocupação com o aumento das áreas agrícolas com problemas de compactação, o que se deve em grande parte às operações mecanizadas realizadas sem considerar a umidade ideal do solo.

O sistema plantio direto, no qual a semeadura é realizada em solo coberto por palha e, portanto, com o mínimo de revolvimento da camada superficial do solo, tende a minimizar a formação de camadas compactadas no solo; apesar disso, a utilização continuada do plantio direto pode resultar em aumento da densidade do solo. As operações agrícolas, quando realizadas fora da condição de umidade do solo ideal, provocam aumento da sua área compactada, o que pode reduzir a infiltração e, conseqüentemente, a disponibilidade de água para as plantas, comprometendo a produtividade (Secco, 2003).

Na região do cerrado, os sistemas convencionais de manejo do solo promovem a diminuição da dinâmica da matéria orgânica e da atividade biológica, destruindo a frágil condição estrutural dos solos tropicais e afetando seu comportamento e processos aí presentes, tendo como consequência a pulverização excessiva da camada arável, o encrostamento superficial e a formação de camadas coesas ou compactadas denominadas pé-de-grade ou pé-de-arado (Freitas, 1994). Como forma de proteger o ambiente e dar sustentabilidade à exploração agrícola, os agricultores têm adotado o sistema plantio direto (SPD). Baseado na ausência de movimentação do solo e na manutenção de resíduos orgânicos na superfície do solo, esse sistema provoca alterações na dinâmica da matéria orgânica e da atividade biológica, modificando, principalmente, os processos intrínsecos do solo, provocando alterações na estrutura e na dinâmica físico-hídrica do solo.

Apesar dos benefícios oriundos do SPD, de sua ampla difusão na região Sul do Brasil e de seu rápido avanço para as regiões do cerrado brasileiro, há trabalhos que indicam um aumento do estado de compactação dos solos submetidos a esse sistema (Tormena & Roloff, 1996; Silva, 2003; Secco, 2003).

A compactação do solo é um processo inerente ao SPD e, portanto, sempre será observada com maior ou menor intensidade. Entretanto, esse sistema possui características que podem ser maximizadas com vistas a reduzir o processo de compactação e suas consequências. Dentre essas, destaca-se a contínua adição superficial de resíduos vegetais, que formam uma cobertura morta e enriquecem as camadas superficiais com matéria orgânica.

A matéria orgânica tem grande influência sobre o comportamento físico do solo, quando submetido a tráfego; ela diminui a densidade e o grau de compactação; por outro lado, aumenta a porosidade e, em algum grau, o espaço aéreo do solo, quando o mesmo é submetido à compactação pelo trânsito de máquinas (Arvidsson, 1998). Como consequência, para um mesmo nível de tráfego, a produtividade é maior nos solos com maiores teores de matéria orgânica. Assim, com o passar dos anos, a densidade do solo sob plantio direto pode diminuir, devido, em parte, ao aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, melhorando a estrutura do solo (Reeves, 1995).

Com a aplicação de cargas ao solo, ocorre sua compactação, resultando em modificações na sua estrutura, com aumento da densidade e da resistência à penetração, redução da porosidade total e alteração na distribuição do tamanho de poros, com aumento dos microporos e redução dos macroporos, ou porosidade de aeração, além de afetar diversos atributos do solo, como a condutividade hidráulica, permeabilidade do solo, infiltração de água e outras características ligadas à porosidade (Tormena & Roloff, 1996; Stone et al., 2002). Essas alterações físicas, provocadas pela compactação, afetam o fluxo ou a concentração de água, oxigênio, dióxido de carbono, nutrientes e temperatura, que podem limitar o crescimento e desenvolvimento das plantas e causar problemas ambientais (Guimarães et al., 2002). A compactação do solo, ao reduzir a infiltração de água, aumenta o risco de erosão e de déficit hídrico e nutricional das plantas, fazendo com que as raízes se desenvolvam na superfície. Em função disso, a compactação do solo tem provocado perda de sua produtividade, levando-o à degradação (Moraes et al., 1995).

Håkansson & Voorhees (1997) consideraram a intensidade do tráfego e as características da máquina (massa, carga por eixo, tipo de pneus e pressão de inflação) como as principais causas da compactação dos solos agrícolas. O processo de compactação é influenciado, ainda, pela matéria orgânica, pela estrutura, pelo teor de água e pela densidade do solo (Carpenedo, 1994).

O SPD fundamenta-se na ausência de revolvimento do solo, em sua cobertura permanente e na rotação de culturas. A não mobilização do solo favorece o acúmulo de material orgânico pela sua menor taxa de decomposição e menores perdas por erosão. Esses dois fatores, não-revolvimento e acúmulo de matéria orgânica, provocam alterações nos atributos físico-hídricos do solo.

Nas condições do cerrado, o solo sob plantio direto apresenta maior densidade, menores macroporosidade e porosidade total e maior resistência à penetração que o sob preparo convencional. Entretanto, o fato de não haver mobilização do solo contribui para sua maior agregação, expressa pela porcentagem de agregados maiores que 2 mm e pelo diâmetro médio ponderado dos agregados (Stone & Silveira, 2004).

O não revolvimento do solo, as pressões causadas pelo tráfego de máquinas e/ou animais e acomodação natural das partículas elevam o estado de compactação

do solo. Essa compactação pode atingir níveis prejudiciais ao desenvolvimento das plantas e à produção das culturas (Peña et al., 1996). Segundo Carpenedo (1994), as pressões médias normalmente aplicadas sobre a superfície do solo pelos pneus de tratores e colhedoras estão entre 100 e 200 kPa, enquanto as carretas agrícolas exercem pressões que, dependendo da carga, podem chegar a valores próximos de 600 kPa. A pressão máxima sobre o solo é entre duas a três vezes a pressão de inflação dos pneus. Quando a pressão interna do pneu é de 108 kPa, a pressão no solo corresponderá a faixa de 216 a 324 kPa, o que é maior que a tensão de cisalhamento de muitos solos em uma tensão de água de 33 kPa. A resistência ao cisalhamento normalmente é definida como a resistência que o solo oferece para ocorrer uma nova deformação.

A compactação também pode causar modificações na retenção de água do solo, decorrentes de alterações sofridas na distribuição do diâmetro dos poros, principalmente redução da macroporosidade. O aumento da retenção de água no solo sob plantio direto tem sido observado por alguns autores (Stone & Silveira, 1999). Todavia, a disponibilidade de água para as plantas vai depender do nível de compactação e da distribuição do diâmetro de poros resultante.

Um dos primeiros indicativos da ocorrência do processo de compactação é a redução do tamanho dos poros, haja vista que a macroporosidade se forma pela união de agregados grandes por forças eletrostáticas, pela atividade microbiana e crescimento de raízes. A estrutura do solo é modificada em função da compactação, sendo os macroagregados destruídos e, conseqüentemente, o solo apresenta uma estrutura maciça (Tavares Filho et al., 2001). Essa estrutura maciça pode impedir o crescimento de raízes e diminuir o volume de solo explorado pelo sistema radicular. Entretanto, é possível que no SPD, devido ao sistema de poros mais estável, o limite de resistência à penetração seja superior àquele para sistemas convencionais de preparo do solo. De Maria et al. (1999) verificaram que maiores valores de resistência à penetração e densidade do solo não determinam, necessariamente, redução da densidade de raízes (cm de raiz por cm<sup>3</sup> de solo) sob plantio direto. Tavares Filho et al. (2001) observaram que valores de resistência do solo à penetração apresentados na literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular (2 a 3,5 MPa) não restringiram o do milho sob plantio direto ou convencional, tendo o

SPD apresentou melhores condições de continuidade estrutural para o desenvolvimento radicular. Richter et al. (1990) observaram maior produção de raízes em culturas em plantio direto que no preparo convencional. No entanto, no plantio direto, a maior quantidade de raízes ficou concentrada nos primeiros 15 cm do solo. Stone & Silveira (1999) também constataram maior concentração de raízes do feijoeiro na camada até 20 cm no plantio direto em relação ao preparo do solo com arado. Silva et al. (2000) verificaram que o milho cultivado no SPD apresentou, na camada até 10 cm, maior densidade de raízes do que no sistema de preparo convencional de solo, enquanto que, na profundidade de 0 a 40 cm, o SPD apresentou menor densidade de raízes.

No SPD, a combinação do efeito da palhada na superfície do solo e uma rede de macroporos contínuos em profundidade proporcionam um aumento da infiltração de água, quando comparado ao sistema convencional de preparo do solo. Mas, quando o sistema plantio direto é comparado com a condição natural, verifica-se que ainda há um decréscimo na quantidade de água infiltrada no solo (Kertsmann, 1996). Kertsmann (1996), utilizando cilindros duplos concêntricos, em Latossolo Roxo, encontrou que a taxa constante de infiltração em mata nativa foi de  $196 \text{ mmh}^{-1}$  e na área com sistema plantio direto por 15 anos e cultivo intensivo com pouca cobertura morta foi de apenas  $6,3 \text{ mmh}^{-1}$ , demonstrando que, apesar de se utilizar o sistema plantio direto, houve uma drástica redução da infiltração, mais de 30 vezes, em função do manejo.

Outra consequência da eliminação do revolvimento é que, após alguns anos de cultivo no sistema, o solo adquire uma estrutura com resistência suficiente para suportar o tráfego sem apresentar compressibilidade significativa (Chaney et al., 1985). A razão para isso é que essa “nova” estrutura se diferencia daquela de solos não cultivados, por apresentar agregados mais densos e resistentes e que estão mais próximos entre si. Contudo, quando a adoção do SPD ocorre depois que o solo já apresenta problemas, especialmente de degradação estrutural e redução do teor de matéria orgânica, a acomodação natural das partículas desestruturadas, associada à falta de matéria orgânica e de resíduos vegetais na superfície do solo e ao tráfego de máquinas e animais resulta, certamente, em compactação em níveis prejudiciais às plantas. Como consequência da compactação, a infiltração de água

no solo pode ser reduzida e o escoamento superficial aumentado (Schäfer et al., 2001), havendo redução no desenvolvimento radicular e das plantas.

## 2.3 Parâmetros Físico-Hídricos do Solo

### 2.3.1 Resistência do solo a penetração

A compactação do solo afeta diretamente o crescimento de raízes, diminui a capacidade de infiltração de água no solo e reduz a translocação de nutrientes, resultando em uma pequena camada para ser explorada pelas raízes. Destaca-se ainda que, por depender de vários fatores, como a variabilidade temporal da umidade do solo na zona do crescimento das raízes, o efeito da compactação na produção das culturas é difícil de ser quantificado. (Freitas, 1994).

O arranjo das partículas do solo estabelece as proporções dos componentes sólidos, líquidos e gasosos, determinando a resistência à penetração das raízes e o fornecimento de água e oxigênio. A organização desses componentes determina a estrutura do solo (Kay, 1990), a qual controla a magnitude com que os seus atributos físicos interferem diretamente no crescimento das plantas. A dependência e a inter-relação entre disponibilidade de água, aeração e resistência à penetração dificultam o estabelecimento de um nível ótimo desses em relação à produtividade das culturas (Letey, 1985). A estrutura ideal do solo é aquela que possibilita uma grande área de contato raiz-solo, suficiente espaço poroso para o movimento de água e gases, além de pouca resistência do solo à penetração das raízes (Koppi & Douglas, 1991).

De maneira geral, condições físicas do solo favoráveis ao crescimento das plantas têm sido associadas com uma porosidade de aeração mínima de 10% (Bowen et al., 1996), abaixo da qual a difusão de oxigênio torna-se limitante ao funcionamento das raízes. Um valor de resistência do solo à penetração das raízes de 2,0 MPa tem sido comumente associado como impeditivo para o crescimento das raízes e da parte aérea das plantas (Weaich et al., 1996). No entanto, esse valor é muito sensível à condição estrutural do solo (Stirzaker et al., 1996).

A disponibilidade de água é mais freqüentemente utilizada como indicador da qualidade física do solo, mas adiciona apenas o efeito do potencial da água no solo

como limitação ao crescimento radicular. Num solo compactado, a taxa de difusão de oxigênio pode limitar o crescimento radicular em potenciais menores ou iguais à capacidade de campo (Eavis, 1972), enquanto a excessiva resistência à penetração pode limitar o crescimento das raízes sob condições mais secas.

O uso intensivo de terras agricultáveis para a produção vegetal e animal tem causado deformação e degradação irreversível do solo e é um problema mundial que tem aumentado devido ao crescente aumento da massa das máquinas agrícolas e frequência de tráfego. Especialmente durante condições de solo úmido, o risco de intensa compactação do solo é uma das principais preocupações, pois tem grandes conseqüências econômicas e ecológicas.

### 2.3.2 Condutividade Hidráulica do solo saturado

O marco inicial dos estudos sobre as águas subterrâneas veio à tona com o estudo experimental do engenheiro Henry Darcy. Na cidade de Dijon, na França, ele conseguiu chegar à lei que leva seu nome. Tal feito se deu através de estudos experimentais, onde, através de um conduto preenchido de material granular, ele simulou o transporte da água através do meio poroso, realizando medições do volume de água transportado através deste conduto. Ao mesmo tempo ele realizava medições de pressão entre dois pontos. O esquema apresentado na Figura 01 mostra como o experimento foi montado.

Figura 01 – Esquema do experimento montado por Darcy.

Batista et al., (2001).

Através deste experimento, Darcy chegou à conclusão que a vazão por este conduto é diretamente proporcional à área de sua seção transversal, à diferença de pressão entre dois pontos, e inversamente proporcional ao comprimento (L) da coluna do meio poroso que a mesma percorria tudo isto multiplicado pela constante de proporcionalidade, denominada de condutividade hidráulica. Sua fórmula apresenta-se a seguir (equação 1):

$$Q = K.A. \frac{(h_1 - h_2)}{L} \quad (1)$$

Em que:

Q – É a vazão, em  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ;

K – Constante de proporcionalidade ou condutividade hidráulica, em  $\text{ms}^{-1}$ ;

A – Área da seção transversal, em  $\text{m}^2$ ;

$(h_1 - h_2)$  – Diferença de pressão entre os pontos 1 e 2, em m;

L – Comprimento, em m;

Apesar de a condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_s$ ) ser uma propriedade de grande variabilidade amostral, dificultando a diferenciação entre manejos, ela tem sido usada para caracterizar a qualidade estrutural do solo, sendo analisada juntamente com outras propriedades físico-hídricas. Essa propriedade representa o volume de um fluido que passa por um corpo sólido em um determinado tempo (Libardi, 2005). No caso do sistema solo, o fluido é a solução, tratada aqui simplesmente como água do solo, e o corpo sólido são as partículas minerais e orgânicas. Portanto, uma vez alterada a distribuição e o arranjo dos poros do solo, as propriedades de condutividade hidráulica também variam (Bagarello, 1997).

As propriedades físicas do solo, como a textura e a estrutura, determinam o fluxo de água no solo. Nesse sentido, Ellies et al. (1997) destacam a importância da funcionalidade do sistema poroso do solo, englobando propriedades como: quantidade, tamanho, morfologia, continuidade e orientação dos poros. Todas essas propriedades do espaço poroso, que influenciam a condutividade, podem ser reunidas no termo único “geometria porosa dos solos” (Libardi, 2005). A contribuição que esse fluxo pode representar para a região das raízes das plantas é, ainda, mais importante e foi estudada por Jong Van Lier & Libardi (1997), que observaram que uma raiz individual de uma planta de arroz é capaz de retirar água do solo a uma distância de mais de 10 cm no intervalo de alguns dias. Esses resultados concordam com os de Hullugale & Willatt (1983), os quais destacam que, em condições de baixa densidade de raízes, deve-se utilizar a condutividade hidráulica crítica, em vez da umidade crítica, na avaliação do crescimento e desenvolvimento das plantas, uma vez que esta é a primeira limitante.

Segundo Sharma & Uehara (1968), a condutividade hidráulica, para Latossolos, decresce rapidamente quando pequenas tensões são aplicadas. Próximo à saturação, a condutividade foi de aproximadamente 150 mm h<sup>-1</sup>; com 10 kPa de tensão, foi reduzida para 0,1 mm h<sup>-1</sup>. Othmer et al. (1991) atribuem isso à agregação desse solo, que proporciona distribuição bimodal do diâmetro dos seus poros, os quais são classificados como poros interagregados e intra-agregados. Nessa condição, os poros interagregados são facilmente esvaziados, fazendo decrescer rapidamente a condutividade, e os poros intraagregados esvaziam-se mais lentamente, proporcionando assim condutividade menor. O comportamento da condutividade hidráulica, em solos com estrutura microagregada, próximo à saturação é diferente daquela de outros solos argilosos sem estrutura microagregada (Chen et al., 1993).

Estudando as mudanças nas características físicas do solo sob diferentes manejos, Blevins et al. (1984) concluíram que a condutividade hidráulica saturada do solo, em uma faixa de baixas tensões, foi maior para solos sob plantio direto do que em sistema de cultivo convencional. Em contraposição, Roth et al. (1988), estudando propriedades físicas e hídricas do solo em diferentes manejos, constataram que em potenciais abaixo de -20 kPa o plantio direto apresentou menores valores de condutividade hidráulica do que o manejo convencional, enquanto, acima deste potencial mátrico, apresentou valores superiores, o que, segundo os autores, é muito importante no contexto da determinação de água disponível às plantas. Essa aparente contradição pode ser explicada em função de alguns fatores, entre os quais a variação de manejos adotados dentro do plantio direto, uns com maior atividade biológica no solo, outros utilizando culturas com sistema radicular mais agressivo e profundo e a própria variação das características físicas do solo.

Avaliando a condutividade hidráulica saturada em Latossolo Roxo ácrico, submetido ao plantio direto com ou sem irrigação, comparando com o solo de mata em condição natural, Klein & Libardi (2002) concluíram que a condutividade hidráulica é diminuída por meio de alterações na estrutura do solo, como o aumento da densidade, a redução da porosidade total e a alteração da distribuição do diâmetro dos poros.

A condutividade hidráulica saturada do solo representa um parâmetro chave para análise da intensidade do deslocamento da água no solo, e, portanto de grande importância na avaliação da intervenção antrópica na fitofisionomia campo de murundus.

### 2.3.3 Velocidade de Infiltração da água no solo

A infiltração é o processo pelo qual a água penetra no solo, através de sua superfície, umedecendo-o. É caracterizada por se tratar de um processo dinâmico de penetração vertical da água, através da superfície do solo, no sentido de cima para baixo, sendo a máxima capacidade de água que o solo pode absorver em certas condições físico-hídricas e, em determinado tempo. Entre as propriedades físicas do solo, a infiltração é uma das mais importantes quando se estudam fenômenos que estão ligados ao movimento de água entre estes a infiltração e a redistribuição (Carvalho, 2000).

Reichardt e Timm (2004) afirmam que a velocidade com que a água se movimenta no solo não é única e varia muito com o diâmetro e a geometria dos poros do solo; além disso, em situações de campo e/ou em estudos hidrológicos, este processo é extremamente complicado devido às condições limites de aplicação de água e características, no qual ambos variam no tempo e no espaço.

Segundo Cabeda (1984) a taxa de infiltração de água no solo é isoladamente a propriedade que melhor reflete as condições físicas do solo, sua qualidade e estabilidade estrutural. Islan e Weil (2000) indicam a permeabilidade do solo à água como um atributo para avaliação da qualidade do solo e destaca a capacidade de infiltração de água no solo como um atributo eficaz para avaliação de manejos de solo.

Durante uma chuva, parte da água pode infiltrar e parte pode escorrer sobre a superfície do solo (Libardi, 2005). Bertoni e Lombardi Neto (1990) afirmam que quanto maior a velocidade de infiltração, menor a intensidade de enxurrada na superfície, e conseqüentemente, menor a erosão do solo. Roth et al. (1985) relatam que a determinação da infiltração é de fundamental importância, pois existe uma relação direta entre erosão e infiltração de água no solo.

No início da infiltração, quando o solo ainda está relativamente seco, o gradiente é muito grande e forças gravitacionais predominam sobre as matriciais, mas depois de longo tempo de infiltração, as forças gravitacionais vão perdendo importância em favor das forças matriciais, até que o potencial total passa a ser igual ao matricial, que são as que, finalmente, dominam todo o processo, razão por que a infiltração se caracteriza pelo fato de se tratar de um processo de desaceleração, rápido no início porém decaindo com o tempo. Quando a intensidade de aplicação de água na superfície do solo é alta, a taxa de infiltração decresce mais rapidamente com o tempo, atingindo um valor constante, denominado taxa de infiltração final ou velocidade de infiltração básica (VIB) (Reichardt e Timm, 2004).

Valores de VIB são fundamentais no dimensionamento de projetos agrícolas de irrigação, drenagem e conservação do solo e da água (Pruski, 1993) e importantes na caracterização da estrutura do solo.

Pruski (1993) obteve equações que possibilitam determinar, em regiões onde a relação intensidade-duração-frequência das precipitações é conhecida, a lâmina e a vazão máximas de escoamento superficial em solos sob condições agrícolas, a partir do conhecimento da velocidade de infiltração básica da água no solo. São necessários, entretanto, equipamentos práticos adequados para determinação da velocidade de infiltração básica em condições de campo, considerando os efeitos de precipitação sobre o solo.

Segundo Alves Sobrinho (1997) o valor da velocidade de infiltração básica apresenta grande dependência do método utilizado em sua determinação, bem como dos atributos do solo. Sidiras e Roth (1987) estudaram a taxa de infiltração em Latossolo roxo distrófico, em sistemas de cultivo convencional, cultivo mínimo e plantio direto, com o auxílio de um infiltrômetro de anéis concêntricos e um simulador de chuva. Os autores verificaram que sob cultivo convencional, as maiores taxas de infiltração foram obtidas com infiltrômetro de anéis concêntricos, enquanto que no sistema plantio direto, a maior taxa de infiltração ocorreu com simulador de chuva.

Pruski et al. (1997), em um experimento com Latossolo roxo distrófico, utilizando infiltrômetros de anéis e quatro combinações diferentes de intensidade e duração de precipitação obtidas com infiltrômetro de aspersão tipo simulador de

chuva, verificaram que a velocidade de infiltração com infiltrômetro de anéis foi superior em relação aos demais tratamentos. A velocidade de infiltração diminuiu com o número de aplicações de água ao solo e com o aumento da precipitação total aplicada, independente da intensidade da precipitação.

Brandão et al. (2006) apresenta diversos modelos matemáticos que descrevem a infiltração da água em teóricos ou empíricos. Os modelos empíricos, como: modelo de Kostiaikov, modelo de Kostiaikov-Lewis; modelo de Horton, entre outros, têm a vantagem de permitir relacionar os parâmetros do modelo a características do solo, sem que estes obrigatoriamente tenham significado físico, e englobar na determinação de suas constantes alguns fatores que são difíceis de ser considerados nos modelos teóricos, por exemplo, a heterogeneidade do solo. A principal desvantagem do emprego de equações empíricas é que os dados ajustados somente são válidos para as condições em que eles foram determinados, ou seja, não podem ser adotados em outros tipos de solo.

Um dos mais utilizados para fins de dimensionamento de sistemas de irrigação, o modelo de infiltração de Kostiaikov (equação 2) proposto em 1932 para calcular a infiltração acumulada ( $I$ ), apresenta parâmetros que não têm significado físico próprio e são avaliados a partir de dados experimentais. Com a derivação da equação 1 encontra-se a taxa de infiltração da água no solo (equação 3).

(2)

(3)

Em que  $k$  e  $\alpha$  são constantes que dependem do solo e das suas condições iniciais e  $t$  representa a variável tempo.

Este modelo apresenta o valor de taxa de infiltração inicial tendendo para o infinito e taxa de infiltração para longos valores de tempo tendendo a um valor próximo a zero, e não a um valor constante. Este valor constante corresponde à taxa de infiltração estável ( $i_r$ ), ou mesmo à condutividade hidráulica no meio saturado ( $K_s$ ). Para a infiltração no sentido horizontal isto poderia ser irrelevante, mas torna a equação completamente deficiente no caso de infiltração vertical, que é um processo fundamental nos modelos chuva-deflúvio (Hillel, 1980).

Para eliminar a deficiência da taxa de infiltração de tender a zero quando o tempo tende a infinito, foi proposta a equação de Kostiaikov-Lewis ou Kostiaikov

modificada para determinação da infiltração acumulada e taxa de infiltração de acordo com as equações 4 e 5.

(4)

(5)

Assim, quando  $t$  tende para o infinito, a taxa de infiltração tende para  $i_f$ .

Outro modelo empírico, entretanto mais consistente que o de Kostiaikov, é o desenvolvido por Horton (1940) observando que a redução na taxa de infiltração com o tempo é fortemente controlada por fatores que ocorrem na superfície do solo.

A proposta de Horton é para os casos de solos submetidos a precipitações com intensidades superiores à capacidade de infiltração, uma equação para descrever a taxa de infiltração (equação 6) da água no solo em função do tempo que leva em consideração as taxas de infiltração final e inicial da água no solo. Com infiltração acumulada expressa conforme a equação 7.

(6)

(7)

Os parâmetros  $i_i$ ,  $i_f$  e  $\beta$  podem ser determinados empiricamente a partir de pares de valores simultâneos de  $I$  e  $t$  ou de  $i$  e  $t$ , caso a infiltração seja acumulada ou instantânea.

Este processo tem se mostrado predominante em algumas regiões de clima semiárido, sendo a fonte principal na geração de picos de descarga em bacias, especialmente em área com estrutura de solos compactados ou desprovidos de cobertura vegetal (Thomaz, 2009).

Existem, também, modelos de estrutura não aleatória, desenvolvidos a partir de equações de escoamento em uma ou mais dimensões, como os de Edwards e Larson (1969), que apresentam maior precisão na estimativa da taxa de infiltração, mas precisam de inúmeros parâmetros dinâmicos na sua aplicação.

Assim alterações nestes atributos, causados pelo sistema de uso e manejo do solo pode contribuir para que haja alterações na recarga do aquífero, bem como disponibilidade de água à vegetação das áreas de estudo imprimindo assim ao ambiente, alterações que levem inclusive à seleção de espécies vegetais das áreas nativas circunvizinhas às áreas drenadas.

### 3 – MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Localização e caracterização da área experimental

O estudo foi realizado na Fazenda Boa Vista, localizada na microbacia do Rio Claro no município de Jataí – GO (Figura 02). O clima da região é do tipo Aw, tropical de savana, mesotérmico, com estação seca e chuvosa bem definidas, segundo a classificação de Köppen. A temperatura média anual varia de 18 a 32°C, com um período chuvoso estendendo-se de novembro a maio, nestes sete meses são registrados mais de 80% do total das chuvas do ano. A precipitação média anual varia entre 1600 e 1700 mm (com variação espacial gradual, sem presença de núcleos chuvosos muito diferenciados na área de estudo).

Figura 02 - Localização da área de estudo, Fazenda Boa Vista.

#### 3.2 Delineamento experimental

O presente estudo consistiu na comparação de áreas com tempo de uso agrícola (5, 10 e 15 anos) e uma área sem uso agrícola (acima e abaixo do murundu). Todas as áreas estudadas localizam-se próximas e sobre uma mesma mancha de solo (Plintossolo Háptico), de forma que as condições ambientais foram homogêneas. Por se tratar de um estudo ecológico em áreas naturais e em uso agrícola já estabelecido previamente ao presente estudo, não havia a possibilidade de aleatorização destas áreas dentro de um delineamento estatístico planejado. Sob orientação de estatísticos optou-se por casualizar os pontos de amostragem dentro de cada área e testar antes da análise de variância se havia homogeneidade de variância entre elas. Como isso foi confirmado, os dados foram analisados como um delineamento inteiramente casualizado com 30 pontos amostrais para a análise de condutividade hidráulica e 35 pontos amostrais para a resistência do solo à penetração, sendo considerados pseudorrepetições. Assim foram selecionadas cinco áreas que representam as diferentes classes de usos do solo, sendo:

- Tratamento 1 – Área situada na parte alta do murundu, área sem intervenção antrópica representada pela parte elevada da área de murunduns, a qual fica a maior parte do ano seca, formada pela ação de termitas. Apresenta vegetação típica de Cerrado *Stritus sensu*, arbustiva e gramínoide com grande diversidade de espécies vegetais. Os murunduns atingem em torno de 2 m de altura (Figura 03);
- Tratamento 2 – Área situada na parte baixa do murundu, área sem intervenção antrópica formada pela parte mais baixa das áreas de murunduns, as quais ficam encharcadas a maior parte do ano e não apresentam ação dos térmitas. Apresenta vegetação gramínoide rasteira (Figura 03);

Figura 03 - Campo de murundus preservado.

Arquivo Pessoal, (2009).

- Tratamento 3 – Área ocupada por cinco anos (2004 – 2009) de incorporação ao sistema de plantio direto. Área que sofreu intervenção antrópica desde 2003/2004. Inicialmente apresentava-se sob pastagem nativa, que em 2003 aplicou-se 5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com a incorporação utilizando arado e grade niveladora. No plantio inicial aplicou-se 0,6 t ha<sup>-1</sup> de fosfato reativo (33% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 2 t ha<sup>-1</sup> de gesso agrícola. A partir de 2004, não houve revolvimento do solo, ou seja, utilizou-se plantio direto. Nesta área a sucessão de cultura realizada foi com soja na safra e milho (ou milheto ou sorgo) na safrinha, obtendo-se uma produtividade em torno de 3,1 t ha<sup>-1</sup> para a soja e de 4,5 t ha<sup>-1</sup> para o milho, nos primeiros anos e a partir de 2007 rotação soja e milho na safra e pousio na entre safra. Em 2005/2006 e em 2008/2009 aplicou-se 1,5 t ha<sup>-1</sup> calcário dolomítico superficialmente.
- Tratamento 4 – Área ocupada por dez anos (1999 – 2009) de incorporação ao sistema de plantio direto. Área que sofreu intervenção antrópica desde 1998/1999. Inicialmente apresentava-se sob áreas nativas e pastagem nativa, que em 1998 aplicou-se 6 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com a incorporação utilizando arado e grade niveladora. No plantio inicial aplicou-se 0,6 t ha<sup>-1</sup> fosfato reativo (33% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). A partir de 1999, não houve revolvimento do solo, ou seja, utilizou-se plantio direto. Nesta área a sucessão de cultura realizada foi com soja na safra e milho na safrinha, obtendo-se uma produtividade em torno de 3,4 e 6 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, nos primeiros anos e a partir de 2006 soja seguida de pousio. Em 2002/2003 e em 2007/2008 aplicou-se 2,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente.
- Tratamento 5 – Área ocupada por quinze (1994 – 2009) anos de incorporação ao sistema de plantio direto. Área que sofreu intervenção antrópica desde 1994/1995. Inicialmente apresentava-se sob pastagem nativa degradada, que em 1994 aplicou-se 3 t ha<sup>-1</sup> de calcário

dolomítico com a incorporação utilizando arado e grade niveladora. No plantio inicial aplicou-se 1 t ha<sup>-1</sup> fosfato reativo (33% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e 2 t ha<sup>-1</sup> de gesso. A partir de 1995, não houve revolvimento do solo, ou seja, utilizou-se plantio direto. Nesta área a sucessão de cultura realizada foi com soja na safra e milho na safrinha, obtendo-se uma produtividade em torno de 3,4 e 6 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Em 2005/06 aplicou-se 1,5 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico superficialmente.

O processo de incorporação das áreas ao sistema de produção agrícola exigiu a sistematização das áreas, que apresentavam inicialmente partes com elevações de quase 2 metros de solo (murunduns), a qual foi realizada com cortes destes e distribuição nas partes mais baixas, as quais foram aplainadas, receberam aração e gradagem, alterando assim a área de uma área cheia de ondulações, para uma área plana onde não se nota mais resíduos da formação original (Figura 04).

#### Figura 04 – Área sob uso agrícola onde originalmente existiam os murunduns

Arquivo Pessoal, (2009).

Além disso, as áreas ao serem incorporadas ao sistema de produção receberam aplicação (com incorporação) de calcário no início do processo (sistematização) não tendo posteriormente recebido nenhuma outra forma de revolvimento, o que diferencia os tratamentos no que se refere ao manejo dado a cada área de estudo.

A textura argilosa das áreas; parte alta do murundu, cinco, dez e quinze anos de incorporação ao sistema de plantio direto e textura argilo-arenosa da parte baixa do murundu foram caracterizadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização textural do solo, segundo EMBRAPA (1997)

	Argila	Silte	Areia
--	--------	-------	-------

Área	(g/Kg)		
Área sem intervenção antrópica (Parte alta do murundu)	576	139	285
Área sem intervenção antrópica (Parte baixa do murundu)	434	110	456
Área com 5 anos de utilização no Sistema Plantio Direto	482	193	325
Área com 10 anos de utilização no Sistema Plantio Direto	501	185	314
Área com 15 anos de utilização no Sistema Plantio Direto	398	213	389

Para cada uma das áreas foi sorteada uma parcela de 1 ha, onde dentro de cada uma foram retiradas amostras de solo para análise granulométrica, condutividade hidráulica e também realizados os testes de infiltração e resistência à penetração.

### 3.3 Determinação da Resistência do Solo a Penetração

Para os trabalhos de coleta de dados de resistência do solo a penetração (RSP), usou-se um penetrógrafo com sensor de profundidade e de força, com capacidade de até 1.500 N.

A caracterização da camada compactada e do comportamento do solo em relação às suas propriedades físicas, como densidade, porosidade, umidade e capacidade de retenção e infiltração da água e, principalmente, a localização da camada compactada, é de extrema significância para o planejamento das técnicas modernas de produção.

Devido a esses fatos, o desenvolvimento de sensores que meçam com precisão a compactação e de técnicas que produzam mapas de resistência do solo, é de elevada importância para as operações de preparo e utilização do solo.

Vários são os tipos de penetrógrafos, variando desde os que funcionam por impacto até os mais modernos, constituídos de células de carga e programas computacionais que proporcionam melhor funcionabilidade e precisão nos dados coletados.

Os testes com o penetrógrafo foram repetidos sete vezes para cada área em estudo totalizando trinta e cinco pontos amostrais. Em cada ponto foram tomadas medidas de resistência do solo a penetração, de 0 a 60 cm, e os dados registrados a cada 10 mm, porém os valores utilizados para análise foram os valores pontuais a cada 5 cm de profundidade, totalizando 12 medidas por ponto.

### 3.4 Determinação da velocidade de infiltração da água no solo

Foi realizado um teste de infiltração em cada um dos locais de estudo, utilizando cilindro infiltrômetro duplo com 60 cm de altura e 10 e 20 cm de diâmetro para os anéis interno e externo, respectivamente (Figura 05).

Figura 05 - Método dos anéis concêntricos.

Arquivo pessoal, (2009).

O anel externo tem como finalidade reduzir o efeito da dispersão lateral da água infiltrada do anel interno. Assim, a água do anel interno infiltra no perfil do solo em direção predominante vertical, o que evita superestimativa da taxa de infiltração.

Os dois cilindros foram posicionados a 30 cm de profundidade e durante a realização dos testes dentro do cilindro interno foi mantida uma carga de água constante de aproximadamente 19 cm em relação à superfície do solo, a qual mantida por controle manual por um registro de ação rápida, devidamente ajustado a uma mangueira que alimenta o cilindro interno e o externo foi abastecido manualmente.

Os tempos em minutos de cada leitura foram: 0, 1, 2, 5, 10, 15, e 30 minutos a contar do instante zero e, com repetições a cada 30 minutos até o tempo total de duração de cada teste de 180 minutos.

Os testes foram realizados até que a taxa de infiltração, observada no anel interno, tornasse aproximadamente constante com o tempo. O critério adotado neste trabalho para condição de taxa de infiltração constante foi quando o valor de leitura da carga de água no cilindro interno se repetiu pelo menos três vezes.

A infiltração da água no solo foi determinada "in situ" através do método do infiltrômetro de anel e empiricamente por meio de modelos proposto por Horton

(1940), Kostiakov (1932) e o Kostiakov-Lewis (1945). Para avaliar o desempenho entre os valores da infiltração obtidos em campo e os valores calculados através dos modelos empíricos de Kostiakov, Horton e Kostiakov-Lewis para os testes de infiltração, foram feitas análises comparativas dos resultados estatisticamente através do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Bussab & Morettin, 2004).

Após a coleta dos dados, os mesmos foram utilizados em laboratório para elaboração das curvas segundo os modelos utilizados.

### 3.5 Determinação da Condutividade Hidráulica saturada do solo

Para o estudo da condutividade hidráulica do solo saturada ( $K_0$ ) foram utilizadas amostras com estrutura indeformada, sendo coletado um total de 30 amostras, nas áreas em estudo. Foram coletadas seis amostras por área, utilizando anéis volumétricos, de 30 cm de altura e 10 cm de diâmetro. Após as coletas esses anéis foram acondicionados em papel filme para evitar perdas de umidade.

No laboratório, procedeu-se o processo de saturação utilizando água destilada, levando no mínimo 24 horas para a completa saturação. Depois de saturadas, as amostras foram retiradas da bandeja e encaixadas nos dispositivos construídos para evitar perda de água. Em seguida, cada amostra foi submetida ao permeâmetro de carga constante para a determinação da condutividade hidráulica.

Fluxo em solo saturado e não saturado representam as formas de estudar o fluxo de água no solo. A realização de estudos hídricos favorece informações importantes da velocidade com que a água se movimenta no solo, sendo aplicado para um melhor manejo e uso do solo de uma região. Apesar da aplicabilidade dos métodos para a determinação de  $K_0$  em laboratório, alguns fatores são considerados desvantajosos, como a sua grande variabilidade e procedimentos metodológicos de laboratório durante a determinação (Marques et al., 2004), dificultando a determinação de um valor representativo para uma área e até em horizontes ao longo do perfil do solo. Além disso, em muitas situações, o interesse é quantificar o fluxo em condição não saturada, situação mais comum na natureza. Nesse caso, a condutividade hidráulica passa a ser uma função direta da umidade do solo ( $\theta$ ), isto é,  $K = K(\theta)$ .

Conforme Libardi, (2000), os permeâmetros de carga constante, aparelhos utilizados para determinação da condutividade hidráulica do solo saturada ( $K_0$ ), são recomendados para solos que apresentam alto  $K_0$ , enquanto que os de carga decrescente são descritos como adequados para solos com baixo  $K_0$ .

O método do permeâmetro de carga constante segundo Youngs, (1991) foi determinado a partir da condução das amostras a um sistema montado para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturada. O método consiste

basicamente em manter uma carga hidráulica constante, utilizando-se um Frasco de Mariotte, medindo o volume da solução drenado em função do tempo, isto é, a vazão (Q). O volume de água que passava em um tempo pré-determinado é determinado, considerando-se o equilíbrio após três medidas próximas consecutivas apresentarem valores próximos (Figura 06).

Figura 06 - Desenho esquemático do permeâmetro de carga constante para uma amostra utilizado na determinação da condutividade hidráulica do solo saturado.

Teixeira, (2005).

A equação aplicada para a determinação da condutividade hidráulica saturada do solo foi (equação 8):

$$K_s = \frac{VL}{At(L \cdot h)}$$

(8)

Em que:  $K_o$  = Condutividade hidráulica do solo saturado,  $\text{cm min}^{-1}$ ;  $V$ = Volume de água coletado,  $\text{cm}^3$ ;  $L$ = Espessura da camada de solo,  $\text{cm}$ ;  $A$ = Área da seção transversal da amostra do solo,  $\text{cm}^2$ ;  $t$ = Tempo de coleta do volume de água,  $\text{min}$ ; e  $h$ = Altura da lâmina de água,  $\text{cm}$ .

### 3.6 Análise Estatística

Os resultados obtidos a partir dos testes com o penetrógrafo e com o permeâmetro, foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o teste F a 1% e 5% de probabilidade e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resistência do Solo a Penetração

Na Tabela 2 estão listados os resultados da Resistência do Solo a Penetração (RSP), com seus respectivos coeficientes de variação. Em todas as profundidades avaliadas, as médias apresentadas nas áreas sem intervenção antrópica foram inferiores estatisticamente, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, às médias apresentadas nas áreas sob uma cronosequência de interferência antrópica.

Ao se comparar as médias dos valores obtidos na profundidade de 5 cm, foi possível detectar, diferenças estatísticas significativas, entre as duas áreas sem interferência antrópica e as demais áreas sob a cronosequência de interferência antrópica. A área explorada por cinco anos em sistema de plantio direto (SPD) apresentou média estatisticamente superior às médias apresentadas nas áreas sem intervenção antrópica e bem próxima ao valor limite de restrição ao normal desenvolvimento radicular de 2 MPa, segundo Weaich et al.,(1996). As áreas exploradas por quinze e dez anos apresentaram as maiores médias nessa profundidade, que foram inclusive superiores estatisticamente a média apresentada na área com cinco anos em SPD.

Dentro da área com cinco anos em SPD, a maior média de RSP ocorre na profundidade de 20 cm, porém se estabelece uma camada entre 10 e 35 cm dos

valores superiores e estatisticamente iguais, demonstrando que nessa camada ocorre a maior dificuldade para desenvolvimento radicular.

Dentro da área com dez anos e quinze anos em SPD, as maiores médias são encontradas na profundidade de 10 cm e estabelece uma camada com os maiores valores da RSP entre 10 e 15 cm, valores próximos a 6 MPa. Valores superiores a 2 MPa são apresentados na literatura como sendo restritivos ao crescimento radicular, porém Tavares Filho et al. (2001) observaram que valores de resistência do solo à penetração apresentados na literatura como restritivos ao desenvolvimento radicular, não restringiram o do milho sob plantio direto ou convencional, tendo o SPD apresentado melhores condições de continuidade estrutural para o desenvolvimento radicular.

Tabela 2. Comparação das médias\* da Resistência do Solo a Penetração (MPa) em função dos tratamentos, em diferentes profundidades.

Prof. (cm)	Sup. Murundu		Inf. Murundu		Cinco Anos SPD		Dez Anos SPD		Quinze Anos SPD
	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média	CV(%)	Média
5	0,93 Aa	27,55	0,80 Aa	30,45	1,89 Bbc	29,65	3,97 Cd	31,58	3,73 Cd
10	0,92 Aa	25,54	0,96 Aa	29,87	2,67 Cbc	28,65	5,78 DEd	30,69	6,62 Ee
15	0,89 Aa	24,45	1,00 Aa	28,75	2,97 Cbc	29,87	5,49 DEd	29,84	6,46 Ee
20	0,76 Aa	26,75	0,90 Aa	29,87	3,95 Cd	29,65	3,86 CDd	27,96	4,73 Dde
25	0,79 Aa	27,86	0,95 Aa	26,24	3,51 Cd	28,96	3,55 Cd	28,31	4,42 CDde
30	0,79 Aa	29,65	0,92 Aa	27,86	2,83 Cbc	29,45	3,39 Cd	29,45	3,87 CDd
35	0,77 Aa	27,55	0,95 Aa	28,89	2,69 Cbc	27,32	2,99 Cbc	29,77	3,24 Ccd
40	0,79 Aa	30,15	1,00 Aa	29,65	2,09 Bbc	26,48	2,34 Bbc	30,14	2,94 Ccd
45	0,73 Aa	28,45	0,99 Aa	27,98	2,08 Bbc	27,32	1,96 Bb	31,25	2,91 Bcd
50	0,73 Aa	27,85	1,00 Aa	28,65	2,02 Bbc	29,35	1,87 Bbc	30,89	2,70 Bbc
55	0,77 Aa	29,65	1,05 Aa	27,65	1,54 Bbc	30,87	1,70 Bbc	29,43	2,17 Bb
60	0,77 Aa	27,55	1,07 Aa	29,65	1,44 Bb	32,65	1,62 Bbc	28,63	1,72 Bb

\* Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas entre colunas e minúsculas entre linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Uma análise importante em cada tratamento está relacionada com a variabilidade dentro do perfil de cada solo (Figura 07). Na área com cinco anos de SPD é possível observar a redução gradativa da RSP à medida que vai se aprofundando no perfil do solo a partir de 20 cm. Na área com dez e quinze anos de SPD é possível observar a redução gradativa da RSP à medida que vai se aprofundando no perfil do solo a partir de 10 cm. Os maiores níveis de RSP estão

na profundidade de até 30 cm, sendo 20 cm a faixa que apresenta a maior RSP na área com cinco anos de SPD e 10 cm a faixa que apresenta a maior RSP na área com dez e quinze anos de SPD. Na camada de 20 cm a 60 cm os valores decrescem, na área com cinco anos de SPD. Nas áreas de dez e quinze anos de SPD os valores decrescem a partir da profundidade de 10 cm. Nas três áreas com intervenção antrópica podem ser observadas três camadas distintas para valores da RSP.

Os dados de RSP abaixo dos níveis considerados críticos para o crescimento das raízes se encontram a partir de 40 cm na área com cinco anos de SPD, 45 na área com dez anos de SPD e 55 cm na área com quinze anos de SPD.

Figura 07 - Curvas de resistência do solo a penetração (RSP) para as cinco áreas em estudo.

#### 4.2 Condutividade Hidráulica saturada do solo

O maior valor para condutividade hidráulica foi constatado na área que corresponde à parte superior do murundu, área sem intervenção antrópica e que apresenta grande atividade de termitas (Tabela 3).

A maior atividade da macro e micro fauna nessa região proporciona uma estrutura do solo diferenciada, caracterizada por uma maior porosidade e menor densidade aparente. A condutividade hidráulica é um coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso, que varia de solo para solo e até no mesmo solo, dependendo, portanto, das propriedades do meio e do fluido. Podem-se citar como propriedades mais importantes do solo a forma de suas partículas, a superfície específica, a porosidade, a estrutura, a compactação, ou seja, todas as propriedades que refletem a geometria porosa do solo (Libardi, 2005).

Os resultados obtidos para a velocidade de infiltração básica e condutividade hidráulica na parte superior dos murundus são coerentes, essencialmente em função da estrutura diferenciada desta área em estudo.

Para as demais áreas não se identificou diferença nos valores da Condutividade Hidráulica entre a parte inferior do murundu, área com cinco anos de utilização no Sistema de Plantio Direto e área com dez anos de utilização no Sistema de Plantio Direto (Tabela 3).

A área em estudo que apresentou menores valores de Condutividade Hidráulica foi aquela submetida ao sistema de Plantio Direto por quinze anos (Tabela 3), apresentando, inclusive, diferença significativa em relação às demais áreas antropizadas. Solos intensamente mobilizados, ou seja, aqueles submetidos a mais de um cultivo anual, sofrem alterações em sua geometria porosa, em razão da de máquinas e equipamentos durante o ciclo das culturas (Saunders et al., 1978).

Tabela 3 - Valores médios de condutividade hidráulica do solo em função das áreas em estudo com seus respectivos valores de coeficiente de variação\*

Área	Condutividade	
	Hidráulica (cmh <sup>-1</sup> )	CV (%)
Área sem intervenção antrópica (parte alta do murundu)	42,33 A	25,33
Área sem intervenção antrópica (parte baixa do murundu)	12,97 B	27,73
Área com 5 anos de utilização (plantio direto)	13,95 B	26,24
Área com 10 anos de utilização (plantio direto)	13,38 B	25,38
Área com 15 anos de utilização (plantio direto)	5,79 C	26,92

(\*) Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Pelo valor do coeficiente de variação (CV) obtido, verificam-se que esses atributos apresentam média variabilidade, segundo Warrick e Nielsen (1980), coeficientes maiores que 12% e menores que 62% representam média variabilidade e que parâmetros de movimento de água no solo, como a condutividade hidráulica do solo saturado e a taxa de infiltração básica, apresentam distribuição bastante assimétrica.

Os resultados obtidos são também concordantes com aqueles obtidos por Machado (1994), que analisando o tamanho da variabilidade por meio dos coeficientes de variação (CV), notou que os atributos que caracterizam o movimento de água no solo são os mais variáveis, principalmente na camada de 0,00 - 0,20 m.

A variação aleatória da condutividade hidráulica do solo saturado, provavelmente se deve à estratificação típica de solos hidromórficos e ao manejo do solo. Os resultados são concordantes com aqueles obtidos por Queiroz (1995), em que a elevada variabilidade dos dados de condutividade hidráulica do solo saturado pode ser explicada pela presença de raízes de plantas, atividade microbiana, rachaduras localizadas ocasionadas pelas épocas de estiagens, entre outros fatores.

O solo da parte superior do murundu apresenta alta condutividade hidráulica, ou seja, maior facilidade com que a água é transportada através dos seus poros. A destruição desses murundus e posterior incorporação para viabilizar a atividade produtiva provocam alterações na estrutura do solo e conseqüentemente mudanças significativas no processo de condutividade de água no solo.

As áreas subtraídas dos murundus apresentavam uma importância relevante para o ecossistema, evidenciada pelo alto índice de condutividade hidráulica. A remoção e incorporação dessas áreas reduziram ao valor mínimo os índices nas demais áreas, e após quinze anos de intervenção antrópica o índice foi significativamente menor. Problemas para os mananciais e para a produção agrícola serão evidentes com chuvas freqüentes e ou intensas, pois todo um ciclo natural de transporte da água nessas áreas foi significativamente alterado.

#### 4.3 Velocidade de Infiltração Básica (VIB)

Na Tabela 4 podem ser observados os valores da Velocidade de Infiltração Básica para cada um dos solos de cada área em estudo e a respectiva classificação proposta por Bernardo et al. (2006).

Tabela 4 - Valores de Velocidade de Infiltração Básica (VIB) das áreas analisadas

Área	VIB (mmh <sup>-1</sup> )	Classificação
Área sem intervenção antrópica (Parte alta do murundu)	242,0	Muito alta
Área sem intervenção antrópica (Parte baixa do murundu)	170,0	Muito alta
Área com 5 anos de utilização (plantio direto)	2,0	Baixa
Área com 10 anos de utilização (plantio direto)	2,0	Baixa
Área com 15 anos de utilização (plantio direto)	2,0	Baixa

Analisando a Tabela 4 pode-se observar que nos solos das áreas sem interferência antrópica os valores de VIB foram bastante superiores aos solos das áreas com cultivo em sistema de plantio direto, apresentando uma velocidade de infiltração classificada como muito alta de acordo com Bernardo et al., 2006. Os baixos valores da VIB das áreas cultivadas podem ser explicados pela alteração na estrutura do solo causada pela destruição dos murundus para o preparo da área para o plantio e no decorrer dos anos pela utilização de máquinas no processo de colheita das safras.

Ao se comparar a Velocidade de Infiltração Básica (VIB) e Condutividade Hidráulica ( $K_o$ ), considerando a área sem intervenção antrópica, parte baixa do murundu, e as duas áreas antropizadas pelo período de cinco e dez anos, verificam-se que os valores tanto para  $K_o$ , quanto para VIB, não são semelhantes, o que identifica uma distribuição assimétrica, conforme constatado por Libardi et al. (2005). As diferenças entre a  $K_o$  e VIB estão de acordo com Guimarães (2000), pelo fato de a equação da VIB ser uma estimativa da infiltração de água no solo sob fluxo tridimensional e a equação de  $K_o$  ser uma estimativa da condutividade em condição unidimensional, considerando as cargas hidráulicas de 0,05 m e 0,10 m.

Nas Figuras 08, 09, 10, 11 e 12 podem ser observadas as curvas de Velocidade de Infiltração da água e suas respectivas equações de ajuste em cada solo das áreas analisadas. Analisando as referidas figuras, verificou-se que na área sem interferência antrópica nas partes baixa e alta dos murundus, as equações encontradas apresentaram valores de coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,8964$  e  $R^2 = 0,8872$ ), respectivamente, os quais foram inferiores aos obtidos nas áreas com 5, 10 e 15 anos de interferência antrópica ( $R^2 = 0,9355$ ,  $R^2 = 0,9239$  e  $R^2 = 0,976$ ), respectivamente.

Figura 08 - Velocidade de Infiltração da água no solo da área sem interferência antrópica na parte baixa do murundu em função do tempo.

Figura 09 - Velocidade de Infiltração da água no solo da área sem interferência antrópica na parte alta do murundu em função do tempo.

Figura 10 - Velocidade de Infiltração da água no solo da área com interferência antrópica com 5 anos de implantação da agricultura em função do tempo.

Figura 11 - Velocidade de Infiltração da água no solo da área com interferência antrópica com 10 anos de implantação da agricultura em função do tempo.

Figura 12 - Velocidade de Infiltração da água no solo da área com interferência antrópica com 15 anos de implantação da agricultura em função do tempo.

Nas Figuras 08, 09, 10, 11 e 12 podem ser observados os valores de VI em relação ao tempo, demonstrando que em áreas sem interferência antrópica a velocidade de infiltração se encontra em teores maiores comparadas com as áreas com cultivo em sistema de plantio direto.

Nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17 podem ser observados os valores comparativos das velocidades de infiltração obtidas pelo cilindro infiltrômetro e os valores estimados pelas equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton, para as áreas sem interferência antrópica na parte alta e baixa do murundu e para as áreas com interferência antrópica com 5, 10 e 15 anos de implantação da agricultura.

Figura 13 - Velocidade de infiltração da água no solo obtida em campo pelo método do cilindro infiltrômetro e os dados estimados pelas equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton para na parte baixa do murundu.

Figura 14 - Velocidade de infiltração da água no solo obtida em campo pelo método do cilindro infiltrômetro e os dados estimados pelas equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton na parte alta do murundu.

Figura 15 - Velocidade de infiltração da água no solo obtida em campo pelo método do cilindro infiltrômetro e os dados estimados pelas equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton para a área com 5 anos de implantação da agricultura.

Figura 16 - Velocidade de infiltração da água no solo obtida em campo pelo método do cilindro infiltrômetro e os dados estimados pelas equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton para a área com 10 anos de implantação da agricultura.

Figura 17 - Velocidade de infiltração da água no solo obtida em campo pelo método do cilindro infiltrômetro e os dados estimados pelas equações de Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton para a área com 15 anos de implantação da agricultura.

Pode-se observar nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17 que em todas as áreas os modelos empíricos se comportam de forma similar, ou seja, o modelo empírico de Kostiakov-Lewis apresenta os maiores valores de velocidade de infiltração da água no solo e o modelo empírico de Horton apresenta valores de velocidade de infiltração da água no solo próximos dos valores obtidos em campo pelo método do cilindro infiltrômetro. Os valores obtidos pelo modelo empírico de Kostiakov superestimaram os valores de Horton e os obtidos em campo.

O comportamento dos modelos empíricos verificado neste trabalho foi similar aos resultados obtidos por Paixão et al. (2004) que desenvolveu um trabalho cujo objetivo foi estimar a infiltração de água no solo por meio de ajustes de funções não lineares e de modelos empíricos proposto por Horton, Kostiakov e o Kostiakov-Lewis e comparar os resultados com os dados obtidos em campo através do infiltrômetro de anel em solos de textura arenosa, no Município de Lagoa Seca, Estado da Paraíba.

Na Tabela 5 podem ser observados os valores das equações empíricas dos modelos propostos por Kostiakov, Kostiakov-Lewis e Horton para todas as áreas com e sem interferência antrópica.

Tabela 5 - Equações da velocidade de infiltração e coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos modelos empíricos para as áreas com e sem interferência antrópica.

Áreas	Modelos	Equações	Coeficiente de Determinação ( $R^2$ )
Sem interferência antrópica na parte baixa do murundu	Kostiakov	$VI = 298,5t^{-0,06}$	0,9789
	Kostiakov-Lewis	$VI = 467,43t^{-0,036}$	0,9794
	Horton	$VI = 234,35t^{-0,072}$	0,8353

Sem interferência	Kostiakov	VI = 451,86t <sup>-0,074</sup>	0,9789
antrópica na parte alta do	Kostiakov-Lewis	VI = 691,44t <sup>-0,044</sup>	0,9794
murundu	Horton	VI = 369,02t <sup>-0,095</sup>	0,8391
Com interferência	Kostiakov	VI = 37,1t <sup>-0,318</sup>	0,9789
antrópica com 5 anos de	Kostiakov-Lewis	VI = 38,105t <sup>-0,279</sup>	0,9793
implantação da agricultura	Horton	VI = 32,675t <sup>-0,606</sup>	0,899
Com interferência	Kostiakov	VI = 23,992t <sup>-0,278</sup>	0,9789
antrópica com 10 anos de	Kostiakov-Lewis	VI = 25,345t <sup>-0,233</sup>	0,9792
implantação da agricultura	Horton	VI = 19,202t <sup>-0,495</sup>	0,8901
Com interferência	Kostiakov	VI = 27,999t <sup>-0,319</sup>	0,9789
antrópica com 15 anos de	Kostiakov-Lewis	VI = 29,054t <sup>-0,269</sup>	0,9791
implantação da agricultura	Horton	VI = 28,013t <sup>-0,574</sup>	0,8966

O modelo de Horton foi o que apresentou velocidade de infiltração básica semelhante ao valor obtido no campo com o cilindro infiltrômetro duplo (Figuras 13 a 17). Este processo hortoniano tem se mostrado predominante em algumas regiões de clima semiárido, sendo a fonte principal na geração de picos de descarga em bacias, especialmente em área com estrutura de solos compactados ou desprovidos de cobertura vegetal (THOMAZ, 2009). Em solos com alta capacidade de infiltração este modelo representa melhor a infiltração ao final do evento.

A avaliação dos modelos empíricos, comparados aos dados reais levantados a campo permite aferir o modelo que melhor se aplica às condições locais que envolvem não só os atributos físico-hídricos, mas também as diversas fitofisionomias.

O comportamento do fluxo de água nas áreas sem intervenção antrópica evidencia as condições naturais de transporte das chuvas através do solo. Estas áreas naturalmente, em função das altas velocidades de infiltração básica, apresentam grande capacidade de escoamento das chuvas. Dessemelhante, as áreas antropizadas, que originalmente apresentavam essa mesma velocidade de infiltração, perderam essa capacidade e após os primeiros cinco anos já apresentam baixa velocidade de infiltração básica. Essa única característica alterada acarreta preocupação no tocante ao acontecimento comum na região de chuvas longas e ou

concentradas, que inevitavelmente provocariam escoamento superficial e consequentemente erosões.

## 5 CONCLUSÃO

Nos solos das áreas sem interferência antrópica os valores da Velocidade de Infiltração Básica (VIB) foram bastante superiores aos solos das áreas com cultivo em sistema de plantio direto, apresentando uma VIB classificada como muito alta. As áreas com cinco, dez e quinze anos dentro do processo produtivo empregando o sistema de plantio direto apresentaram VIB classificada como baixa.

Os modelos empíricos superestimaram, em média, os valores das taxas de infiltração no início do processo comparados com os dados obtidos em campo. O modelo proposto por Horton apresentou maior semelhança no valor obtido da velocidade de infiltração básica com os dados obtidos no campo.

Os valores da condutividade hidráulica foram significativamente superiores na área sem intervenção antrópica, parte alta dos murundus. A área sem intervenção antrópica, parte baixa dos murundus não apresentou diferença significativa em comparação às áreas com cinco e dez anos incorporadas ao sistema de plantio direto. A área com quinze anos de incorporação ao sistema de plantio direto foi a que apresentou o menor valor da condutividade hidráulica, diferindo estatisticamente das demais áreas.

Houve uma redução da qualidade estrutural avaliada pela velocidade de infiltração básica e resistência do solo a penetração para a área com interferência antrópica em sistema de plantio direto, enquanto que, esta redução da qualidade estrutural pode ser observada, também, pela condutividade hidráulica para área com quinze anos de utilização no Sistema de Plantio Direto.

Os impactos provocados pela interferência antrópica nos atributos avaliados, implicam numa significativa alteração do fluxo de água que naturalmente existia na fitofisionomia campo de murundus. Assim, considerando especialmente a ligação dessas áreas com a perenização das nascentes e dos cursos d'água, conclui-se que elas não devem ser incorporadas ao processo de produção agropecuário.

## 6 REFERÊNCIAS

ALVES SOBRINHO, T. **Desenvolvimento de um infiltrômetro de aspersão portátil**. Viçosa, 1997. 85 p. Tese (Doutorado) – UFV.

ARVIDSSON, J. Influence of soil texture and organic matter content on bulk density, air content, compression index and crop yield in field and laboratory experiments. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 49, n. 1/2, p. 159-170, Nov. 1998.

BAGARELLO, V. **Influence of well preparation on field-saturated hydraulic conductivity measured with the Guelph permeameter**. *Geoderma*, Amsterdam, v. 80, n. 1-2, p. 169-180, oct. 1997.

BAPTISTA, M.B. COELHO, M.M.L.P, CIRILO, J.A., 2001, **Hidráulica Aplicada**, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 23, 12:2197-2206.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. Ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2006. 625 p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. Piracicaba: Livroceres, 1990, 355 p.

BLEVINS, R.L.; SMITH, M.S. & THOMAS, G.W. Changes in soil properties under no-tillage. In: PHILLIPS, R.E. & PHILLIPS, S.H., eds. **No-tillage agriculture: Principles and practices**. New York, VNR, 1984. p.190-230.

BOWEN, H. D.; GARNER, T. H.; VAUGHN, D. H. Advances in soil-plant dynamics. In: UPADHYAYA, S. K.; CHANCELLOR, W .J.; PERUMPRAL, J. V.; SCHAFER, R. L.; GILL, W. R.; VANDENBERG, G. E. (Ed.). **Advances in soil dynamics**. St. Paul: ASAE, 1996. p. 256-274. (ASAE. Monograph, 12)

BRANDÃO, V.S., Cecílio, R.A., Pruski, F.F., Silva, D.D. (2006) **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: UFV, 120p.

CABEDA, M. S. Degradação física e erosão do solo. In: Simpósio de Manejo do Solo e Plantio Direto no Sul do Brasil, 1., **Simpósio de Conservação do Solo do Planalto 1984**, Passo Fundo. Anais... Passo Fundo: PIVCS e UPF - Faculdade de Agronomia, 1984. p.28-33.

CANTÓN, Y.; DOMINGO, F.; Solé-BENET, A.; PUIGDEFÁBREGAS, J. Hydrological and erosion response of a badlands system in semiarid SE Spain. **Journal of Hydrology**. v. 252, p 65 – 84. 2001.

CARVALLO, H.O.G. **Física dos solos**. 1º ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173 p.

CARPENEDO, V. **Compressibilidade de solos em sistemas de manejo**. 1994. 106 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CHANEY, K.; HOGDSON, D. R.; BRAIM, M. A. The effects of direct drilling, shallow cultivation and ploughing on some soil physical properties in a longterm experiment on spring barley. **Journal of Agricultural Science**. v. 104, pt. 1, p. 125-133, Feb. 1985.

CHEN, C.; THOMAS, D.M.; GREEN, R.E. & WAGENET, R.J. Two-Domain estimation of hydraulic properties in macropore soils. **Soil Sci. Soc. Am**. v. 57 p. 680-686, 1993.

DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular da soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 703-709, jul./set. 1999.

EAVIS, B. W. Soil physical condition affecting seedling root growth. I. Mechanical impedance, aeration and moisture availability and moisture levels in a sandy loam soil. **Plant and Soil, The Hague**, v. 36, n. 3, p. 613-622, 1972.

EDWARDS, W.M. & LARSON, W.E. Infiltration of water into soils as influenced by surface seal development. **Trans. Amec. Soc. Agric. Eng.**, 12:463-465,470, 1969.

EITEN, G. Vegetação do Cerrado. In: M. N. Pinto (coord.). Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas. **SEMATEC**, UnB. Pp. 9 - 65, 1990.

ELLIES, A.; GREZ, R. & RAMIREZ, C. La conductividad hidráulica en fase saturada como herramienta para el diagnostico de la estructura del suelo. **Agro Sur**. V. 5 p. 51 - 56, 1997.

EMBRAPA. Centro nacional de pesquisa de solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2º ed. Rio de Janeiro, 1997. 412 p.

FREITAS, P. L. de. Aspectos físicos e biológicos do solo. In: LANDERS, J. N. (Ed.). **Fascículos sobre experiências em plantio direto nos cerrados**. Goiânia: APDC, 1994. p. 199-213.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeito sobre o desenvolvimento radicular e da parte aérea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 213-218, maio/ago. 2002.

GUIMARÃES, E. C. **Variabilidade espacial de atributos de uma latossolo vermelho escuro textura argilosa da região do cerrado, submetido ao plantio direto e ao plantio convencional**. 2000. 85 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000.

HÅKANSSON, I.; VOORHEES, W. B. Soil compaction. In: LAL, R.; BLUM, W. H.; VALENTIN, C.; STEWART, B. A. (Ed.). **Methods for assessment of soil degradation**. Boca Raton: Lewis, 1997. p. 167-179.

HILLEL, D. Applications of soil physics. California: **Academic Press**, Inc. 1980, 385 p.

HORTON, L.D. An approach toward a physical interpretation of infiltration capacity. **Soil Sci. Soc. Am. Proc.** v.5, p. 399-417, 1940.

HULLUGALE, N.R. & WILLATT, S.T. The role of soil resistance in determining water uptake by plant root systems. **Aust. J. Soil Res.** v. 21, p. 571-574, 1983.

ISLAN, K, R.; WEIL, R. R. Soil quality indicator properties in mid-Atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.55, p.69-79, 2000.

JONG van LIER, Q. & LIBARDI, P.L. Extraction of soil water by plants: Development and validation of a model. **R. Bras. Ci. Solo.** v. 21, p. 535-542, 1997.

KAY, B. D. Rates of changes of soil structure under different cropping systems. **Advances in Soil Science**, New York, v. 12, p. 1-51, 1990.

KERTZMANN, F. F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Roxo provocados pela compactação**. 1996. 153 f. Tese (Doutorado em Geografia Física) Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

KLEIN, V.A. **Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo**. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 150p. (Tese de Doutorado).

KLEIN, V.A. & LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não-saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Ci. Rural**. v. 32, p. 945-953, 2002.

KOPPI, A. J.; DOUGLAS, J. T. A rapid, inexpensive and quantitative procedure for assessing soil structure with respect to cropping. **Soil Use and Management**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 52-56, Mar. 1991.

KOSTIAKOV, A.N. On the dynamics of the coefficient of water - percolation in soils and on the necessity for studying it from a dynamic point of view for purposes of ameliation. Trans. 6th comm. **Intern. Soc. Soil Sci.** p. 17-21, 1932.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v. 1, p. 277-294, 1985.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, EDUSP, 2005. 335p.

MACHADO, R. V. **Variabilidade espacial de atributos físico-hídricos em uma hidrossequência de solos bem à muito mal drenados**. 1994. 88 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1994.

MARQUES, J.D.; LIBARDI, P.L. ; TEIXEIRA, W.G.; REIS, A.M. Estudo de parâmetros físicos, químicos e hídricos de um Latossolo Amarelo, na região Amazônica. 2004. **Acta Amazônica**. v. 34, p.145-154, 2004.

MATHEWS, A.G.A. Studies on termites from The Mato Grosso State, **Brasil. Acad. Bras. De Ciencia**, Rio de Janeiro, 1977. 267 p. 17.

MORAES, M. H.; BENEZ, S. H.; LIBARDI, P. L. **Efeitos da compactação em algumas propriedades físicas do solo e seu reflexo no desenvolvimento das raízes de plantas de soja**. *Bragantia*, Campinas, v. 54, n. 2, p. 393-403, 1995.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. Floodplain 'murundus' of Central Brazil: evidence for the termite-origin hypothesis. **Journal of Tropical Ecology**. v. 8, p. 1-19, 1992.

OLIVEIRA, L. A. **O Sistema Aquífero Bauru na Região de Araguari/MG: parâmetros dimensionais e propostas de gestão**. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade de Brasília. Instituto de Geociências. Brasília, p 121, 2002.

OTHMER, H.; DIEKKRUGER, B. & KUTILEK, M. Bimodal porosity and unsaturated hydraulic conductivity. **Soil Sci**. v. 52, p. 139-150, 1991.

PAIXÃO, F. J. R.; ANDRADE, A. R. S.; AZEVEDO, C. A. V.; SILVA, J. M.; COSTA, T. L.; FEITOSA, R. M. Estimativa da Infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 5 – n. 1 – 1º Semestre 2004.

PEÑA, Y. A.; GOMES, A. da S.; SOUSA, R. O. Influência de diferentes sistemas de cultivo nas propriedades físicas de um solo de várzea cultivado com arroz irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 3, p. 517- 523, set./dez. 1996.

PONCE, V. M. & CUNHA, C. N. Vegetated earthmounds in tropical savannas of Central Brazil: a synthesis. **Journal of Biogeography**. v. 20, p. 219-225, 1993.

PRUSKI, F. F. **Desenvolvimento de metodologia para o dimensionamento de canais de terraço**. Viçosa, 1993. 97p. Tese (Doutorado) – UFV.

PULLAN, R.A. Termites hills in Africa, their characteristics and termites do cerrado. **Caten**, v.6, p. 267-291, 1979.

QUEIROZ, J. E. **Parâmetros hidro-dinâmicos de um solo de várzea para fins de drenagem subterrânea**. 1995. 167 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1995.

REICHARDT, K & TIMM, L. C. **Solo Planta e Atmosfera, Conceitos, processos e aplicações**. Manole editora Piracicaba- São Paulo, 2004, 471p.

REEVES, D. W. Soil management under no-tillage: soil physical aspects. In: **Seminário Internacional do Sistema Plantio Direto**, 1., Passo Fundo, 1995. Resumos. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1995. p. 127-130.

RICHTER, D. D.; BABBAR, L. I.; HUSTON, M. A.; JAEGER, M. Effects of annual tillage on organic carbon in a fine-textured udalf: the importance of root dynamics to soil carbon storage. **Soil Science**, Baltimore, v. 149, n. 2, p. 78- 83, Feb. 1990.

ROTH, C.H.; MEYER, B.; FREDE, H.G. & DERPSCH, R. Effect of mulch rates and tillage systems on infiltrability and other soil physical properties of an Oxisol in Paraná, **Brazil. Soil Till. Res.** v. 11, p. 81-91, 1988.

ROTH, C. H.; MEYER, B.; FREDE, H. G. A portable rainfall simulator for studying factors affecting runoff, infiltration and soil loss. **Catena**, Braunschweig, v.12, 52 p.79-85, 1985.

SAUNDERS, L.C.U.; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. Condutividade hidráulica da terra roxa estruturada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, p.164-167, 1978.

SECCO, D. **Estados de compactação e suas implicações no comportamento mecânico e na produtividade de culturas em dois latossolos sob plantio direto**. 2003. 171 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SCHÄFER, M. J., REICHERT, J. M; REINERT, D. J., CASSOL, E. A. Erosão em entressulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 25, n. 2, p. 431-441, abr./jun. 2001.

SILVA, V. R. **Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação**. 2003. 171 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 191-199, jan./mar. 2000.

SHARMA, M.L. & UEHARA, G. Influence of soil structure on water relations in low Humic Latosols: II. Water movement. **Soil Sci. Soc. Am.** v. 32, p. 770-774, 1968.

STIRZAKER, R. J.; PASSIOURA, J. B.; WILMS, Y. Soil structure and plant growth: impact of bulk density and biopores. **Plant and Soil**, The Hague, v. 185, n. 1, p. 151-162, 1996.

SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Infiltration measurements with double-ring infiltrometers and a rainfall simulator under different surface conditions on an Oxisol. **Soil Tillage Research**, Amsterdam, v.9, p.161-168, 1987.

STONE, L. F.; GUIMARÃES, C. M.; MOREIRA, J. A. A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 207-212, maio/ago. 2002.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes preparos e rotações de culturas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 3., 2004, São Pedro. A inserção da engenharia agrícola em projetos nacionais: caderno Estadual de Campinas: **Embrapa Informática Agropecuária**, 2004. p. 50-51.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. da. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 34, n. 1, p. 83-91, jan. 1999.

TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F.; MEDINA, C. C.; BALBINO, L. C.; NEVES, C. S. V. J. Método do perfil cultural para avaliação do estado físico de solos em condições tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 2, p. 393-399, abr./jun. 1999.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Resistência do solo à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TEIXEIRA, C. F. A.; MORAES, S. O.; SIMONETE, M. A. Desempenho do Tensiômetro, TDR e Sonda de Nêutrons na determinação da Umidade e Condutividade Hidráulica do Solo. **Revista brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 2, p. 161-168, 2005.

THOMAZ, E. L. The influence of traditional steep land agricultural practices on runoff and soil loss. **Agricultural, Ecosystem and environment**, v. 130, p. 23-30, 2009.

TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 3-339, maio/ago. 1996.

WARRICK, A.W.; NIELSEN, D.R. Spatial variability of some physical properties of the soil. In: HILLEL, D. (ed.) **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980. p.319-344.

WEAICH, K.; CASS, A.; BRISTOW, K. L. Pre-emergent shoot growth of maize (*Zea mays*, L.) as a function of soil strength. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 40, n. 1/2, p. 3-23, Dec. 1996.

YOUNGS, E.G. Hydraulic conductivity of saturated soils. In: SMITH, K.A.; MULLINS, C.E. (Ed). **Soil analysis: physical methods**. New York: Marcel Dekker. cap. 4, p. 161-207, 1991.