

## Infiltrômetro de aspersão de Cornell aperfeiçoado: aspectos construtivos, operacionais e de manutenção



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Soja  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

## **DOCUMENTOS 424**

# **Infiltrômetro de aspersão de Cornell aperfeiçoado: aspectos construtivos, operacionais e de manutenção**

*Celso Daniel Seratto  
Julio Cezar Franchini  
Fábio Roberto Seratto  
Henrique Debiasi  
Esmael Lopes dos Santos  
Osmar Conte  
Saulo Morales Neto  
Valdir Brischiliari*

**Embrapa Soja**  
Londrina, PR  
2019

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Soja**  
Rod. Carlos João Strass, s/n  
Acesso Orlando Amaral, Distrito da Warta  
CEP 86001-970 ,  
Caixa Postal 231  
Londrina, PR  
Fone: (43) 3371 6000  
www.embrapa.br/soja  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Soja**

Presidente  
*Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretária-Executiva  
*Regina Maria Villas-Bôas de Campos Leite*

Membros  
*Clara Beatriz Hoffmann Campo,  
Claudine Dinali Santos Seixas, José Marcos  
Gontijo Mandarin, Liliane Marcia Mertz  
Henning, Marcelo Hiroshi Hirakuri, Mariangela  
Hungria da Cunha, Norman Neumaier e Vera  
Toledo de Benassi*

Supervisão editorial  
*Vanessa Fuzinato Dall'Agnol*

Normalização bibliográfica  
*Valéria de Fátima Cardoso*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Vanessa Fuzinato Dall'Agnol*

Foto da capa  
*Celso Daniel Seratto*

**1ª edição**  
PDF digitalizado (2019).

**Todos os direitos reservados.**

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

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Soja

---

Infiltrômetro de aspersão de Cornell aperfeiçoado: aspectos construtivos,  
operacionais e de manutenção / Celso Daniel Seratto... [et al.]. –  
Londrina : Embrapa Soja, 2019.  
67 p. - (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937 ; n. 424).

1. Aspersão. 2. Irrigação. 3. Infiltração. 4. Equipamento de aspersão. 5.  
Equipamento agrícola. I. Seratto, Celso Daniel. II. Franchini, Julio Cezar. III. Seratto, Fabio  
Roberto. IV. Debiasi, Henrique. V. Santos, Esmael Lopes dos. VI. Conte, Osmar. VII. Mora-  
les Neto, Saulo. VIII. Brischiliari, Valdir.

CDD: 631.587 (21.ed.)

---

© Embrapa, 2019

## Autores

### **Celso Daniel Seratto**

Engenheiro-agrônomo, mestre em Economia, extensionista do Instituto Emater, Unidade Regional de Maringá, Maringá, PR.

### **Julio Cezar Franchini**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

### **Fábio Roberto Seratto**

Engenheiro-mecânico da VM Máquinas e Equipamentos, Maringá, PR.

### **Henrique Debiasi**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

### **Esmael Lopes dos Santos**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, professor doutor do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz (FAG), Cascavel, PR.

### **Osmar Conte**

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR.

### **Saulo Morales Neto**

Técnico em eletrônica da VM Máquinas e Equipamentos, Maringá, PR.

### **Valdir Brischiliari**

Técnico-agrícola, extensionista do Instituto Emater, Unidade Municipal de Floresta, Floresta, PR.

## Apresentação

A necessidade de preservação ambiental, em conjunto com a crescente demanda mundial por alimentos, fibras e energia, exige o desenvolvimento, adaptação e adoção de tecnologias que aumentem a produtividade e a disponibilidade e eficiência de utilização dos insumos e recursos naturais necessários à produção agrícola. Nesse sentido, os recursos providos pelo solo (água, nutrientes e oxigênio) são, de longe, os mais limitantes à obtenção de altas produtividades com viabilidade econômica e mínimo impacto ambiental. Assim, a adoção de práticas de manejo do solo sustentáveis e adequadas às condições edafoclimáticas das diferentes regiões agrícolas do país, que efetivamente melhorem a sua fertilidade, é essencial para uma agricultura mais sustentável.

A estrutura do solo é componente fundamental de sua fertilidade, determinando o crescimento de raízes, o armazenamento de água disponível às plantas e os fluxos de gases, além de vários processos associados ao impacto ambiental das atividades agrícolas, como a erosão. O manejo adequado da estrutura requer, em primeiro lugar, ferramentas que permitam o monitoramento e o diagnóstico da qualidade estrutural em nível de gleba agrícola, servindo assim como base para a tomada de decisão por produtores e técnicos; a carência de tais ferramentas, entretanto, sempre foi um dos fatores mais limitantes ao manejo da fertilidade física.

A infiltração de água do solo é, reconhecidamente, um dos processos físicos mais sensíveis às alterações na qualidade estrutural do solo induzidas pelo manejo. Essa sensibilidade decorre do fato de que a infiltração integra diversos fatores determinados pelas práticas agrícolas adotadas, como a cobertura do solo e o volume, tamanho, geometria, continuidade, tortuosidade e interconectividade dos poros do solo. Por estar associada à dinâmica da água do solo, trata-se de um indicador importante do desempenho agrônomico e dos impactos ambientais potenciais em determinada área. Adicionalmente, o conhecimento da taxa de infiltração é essencial para projetos de irrigação e conservação do solo. Portanto, a avaliação da infiltração de água no solo

pode se constituir em uma ferramenta para o monitoramento e diagnóstico da qualidade estrutural do solo, contribuindo para a melhoria da fertilidade e, conseqüentemente, para uma agricultura mais produtiva e sustentável.

O uso em larga escala da taxa de infiltração de água como indicador de qualidade estrutural sempre foi limitado pelas dificuldades metodológicas envolvidas na sua determinação. Neste contexto, o infiltrômetro de aspersão de Cornell, desenvolvido nos Estados Unidos junto à Universidade de mesmo nome, surgiu como alternativa para simplificar o processo de medição da infiltração, sem comprometer a confiabilidade dos resultados, viabilizando assim a sua utilização como ferramenta para monitoramento e diagnóstico da qualidade estrutural do solo em nível de gleba agrícola. Entretanto, a utilização desse modelo de infiltrômetro evidenciou, ao longo do tempo, a necessidade de realização de melhorias na sua construção e uso, no intuito aumentar a sua aplicabilidade em condições de campo.

Diante disso, esta publicação apresenta de forma detalhada os aspectos construtivos e de utilização de um modelo aperfeiçoado do infiltrômetro de Cornell. Tais modificações baratearam o custo de construção do equipamento, simplificaram a metodologia de utilização e melhoraram a confiabilidade dos resultados. Esperamos assim que os aperfeiçoamentos na construção e no uso do infiltrômetro de aspersão de Cornell propostos neste documento viabilizem a utilização da taxa de infiltração como ferramenta na tomada de decisão a respeito da adoção de práticas de manejo que melhorem a estrutura do solo, bem como em projetos de irrigação e de conservação do solo, contribuindo assim para uma agropecuária mais sustentável.

*Ricardo Vilela Abdelnoor*

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento  
Embrapa Soja

# Conteúdo

<b>Introdução .....</b>	<b>9</b>
<b>Aspectos básicos da infiltração de água no solo .....</b>	<b>11</b>
Conceitos e caracterização do processo físico .....	11
Fatores que influenciam a infiltração.....	17
<b>Princípios de funcionamento do equipamento: Infiltrômetro de aspersão de Cornell.....</b>	<b>24</b>
<b>Detalhes construtivos no aperfeiçoamento do equipamento original .....</b>	<b>26</b>
<b>As possibilidades de uso e a seleção da estratégia de trabalho.....</b>	<b>33</b>
<b>Seleção das áreas e talhões e o levantamento das informações.....</b>	<b>34</b>
<b>Determinação dos pontos de amostragem .....</b>	<b>35</b>
<b>A instalação dos anéis no solo .....</b>	<b>39</b>
<b>Preparo e operação do infiltrômetro de aspersão de Cornell.....</b>	<b>42</b>
<b>Preparação do simulador de chuvas para as operações de avaliação a campo.....</b>	<b>43</b>
<b>A avaliação da taxa de infiltração com o infiltrômetro a campo.....</b>	<b>45</b>
<b>Manutenção e limpeza dos equipamentos.....</b>	<b>53</b>
<b>Referências .....</b>	<b>56</b>





## Introdução

Conhecer as variáveis que indicam a qualidade estrutural dos solos tem adquirido relevância nos sistemas de produção. Esses indicadores refletem diretamente as práticas de uso e manejo dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo adotadas, de modo que sua determinação permite antever possíveis implicações de ordem agrícola e ambiental decorrentes das referidas práticas que, por sua vez, afetam a sustentabilidade dos sistemas de produção.

Ao correlacionar os atributos físicos com as práticas de manejo e as características morfológicas dos solos, é possível melhorar o diagnóstico, permitindo propor ações para melhoria de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, as quais irão resultar em melhorias na produtividade agrícola e sustentabilidade.

A elaboração de um diagnóstico preciso sobre a qualidade da estrutura física do solo em nível de gleba agrícola não é tarefa fácil. Além da carência de metodologias simples e baratas, acessíveis aos produtores e técnicos, as ferramentas existentes produzem resultados que, de forma geral, são de difícil interpretação, pois os mesmos dependem de outras variáveis não relacionadas à qualidade estrutural do solo. Um exemplo claro dessa problemática é a avaliação da resistência mecânica do solo à penetração (RP) por meio de penetrômetros, indicador que não depende apenas da estrutura, mas também de diversos outros fatores, como umidade, textura, presença de raízes e histórico de manejo. Assim, há necessidade de se desenvolver, adaptar e/ou validar novas metodologias de avaliação da qualidade física do solo.

Este trabalho se propõe a apresentar os aspectos construtivos e de manutenção do infiltrômetro de aspersão de Cornell, aperfeiçoado a partir do modelo proposto por Ogden et al. (1997), bem como descrever a técnica de uso desse equipamento para a avaliação da taxa de infiltração estável de água no solo (TIE).

A taxa de infiltração de água do solo é uma variável que influencia diretamente a dinâmica da água no sistema produtivo, sendo resultante das práticas de manejo adotadas e decisões tomadas ao longo dos anos precedentes, que demonstra se o solo possui evidências de degradação ou de melhorias na qualidade estrutural. No entanto, estudos realizados em condições de campo demonstram que a utilização da TIE, isoladamente, não é suficiente para

inferir corretamente a respeito da qualidade física de solos agrícolas. Em alguns casos, a TIE avaliada pelo infiltrômetro de aspersão de Cornell pode ser elevada em função de operações de preparo do solo que momentaneamente aumentam a macroporosidade o que, entretanto, não se sustenta ao longo do tempo. Assim, indicam-se métodos de avaliação complementares, a exemplo do 'Diagnóstico Rápido da Estrutura do Solo – DRES (Ralisch et al., 2017), ou da 'Avaliação Visual da Estrutura do Solo' – VESS (Ball et al., 2007; Guimarães et al., 2011). Além disso, obter outras informações qualificadas sobre o histórico de manejo no talhão em estudo ajuda a compor um quadro mais detalhado. Para isso, a proposta do método de avaliação do Índice de Qualidade do Plantio Direto na Palha – IQP (Roloff et al., 2011) pode auxiliar a construir um diagnóstico mais preciso, formando um conjunto de informações para propor e recomendar intervenções técnicas quando necessárias.

Enquanto as metodologias baseadas em análises visuais, a exemplo daquelas propostas no DRES e no VESS, ou alicerçadas no levantamento de informações a partir da aplicação de questionários, como o IQP, podem ser consideradas de execução mais simples, a determinação da TIE consiste em uma operação mais trabalhosa, envolvendo avaliações de campo. Nesse sentido, a TIE pode ser aferida mediante métodos variados, com vantagens e desvantagens inerentes às suas peculiaridades relativas aos processos de amostragem, à complexidade e ao tempo necessário para execução, além dos custos dos materiais, equipamentos e recursos humanos envolvidos.

A avaliação da taxa de infiltração de água no solo com o uso do infiltrômetro de aspersão proposto por Ogden et al. (1997), conhecido por modelo Cornell, pode oferecer vantagens em relação a outros métodos, como o de duplo anéis concêntricos, apontadas pelo autor da metodologia, tais como: umedecimento do solo de maneira mais natural (simulação de chuva), eliminando possíveis efeitos provocados por uma descarga de água instantânea em outros métodos; redução das distorções que podem ser provocadas por fluxos elevados de descarga nos macroporos que são passíveis de acontecer em métodos que se desenvolvem sob condições de encharcamento, produzida pela presença de coluna de água; condição mais realista face ao efeito da rugosidade e cobertura da superfície do solo, que podem influenciar a resposta da infiltração ao uso e manejo do solo; demanda de quantidade relativamente pequena de água para realizar os ensaios; a avaliação pode ser realizada

rapidamente em cada amostragem por apenas uma pessoa; o equipamento é portátil e fácil de transportar; a sua calibração também é fácil e permite simular uma ampla faixa de taxas de precipitação; e o custo de construção pode ser considerado relativamente baixo.

## Aspectos básicos da infiltração de água no solo

### Conceitos e caracterização do processo físico

Infiltração é o termo aplicado ao processo de entrada da água no solo através de sua superfície, por fluxo descendente (Hillel, 1982). De acordo com Brandão et al. (2006), a infiltração é processo essencial sob o ponto de vista da produção agrícola e qualidade ambiental, pois a água infiltrada: i) recarrega os aquíferos subterrâneos, dos quais dependem as vazões dos cursos d'água principalmente nos períodos de secas; ii) determina o balanço de água na zona radicular das culturas, sendo seu conhecimento importante para o planejamento e manejo da agricultura de sequeiro e, principalmente, irrigada; e iii) em conjunto com a intensidade (taxa) de precipitação e a rugosidade superficial do solo, define o volume de água que escoar na superfície do terreno, de forma que conhecer a taxa de infiltração é fundamental para o planejamento de práticas conservacionistas de solo e água, visando reduzir os processos erosivos. A infiltração de água no solo é tão importante que Hillel (1982) considera o conhecimento do valor desta variável pré-requisito para o manejo eficiente dos recursos solo e água.

A infiltração é expressa em termos de volume de água que atravessa a superfície do solo por unidade de tempo (mm/h), o que caracteriza o termo "taxa de infiltração de água no solo". Outro termo frequentemente utilizado na literatura especializada é a capacidade de infiltração, definida por Horton (1940) como sendo a máxima taxa de infiltração, que ocorre somente quando um excesso de água é aplicado ao solo, via chuva ou irrigação, gerando água livre na superfície deste. Em outras palavras, a capacidade de infiltração é o potencial de absorção de água pelo solo em um dado momento. Na prática, a taxa de infiltração observada é igual à capacidade de infiltração apenas quando ocorre precipitação (chuva ou irrigação) em intensidade igual ou superior à capacidade de infiltração.

Por ser expressa em mm/h (unidade que também expressa velocidade), é muito comum a utilização do termo velocidade de infiltração, o que conceitualmente é inadequado. Isso porque, no processo de infiltração, a unidade mm não expressa distância, mas sim, volume por unidade de área (1 mm = 1 L em 1 m<sup>2</sup>). Além disso, a velocidade somente seria obtida considerando a área “útil” para o movimento de água, que corresponde à porosidade (Reichardt; Timm, 2004); nos métodos disponíveis para medição da infiltração, incluindo o infiltrômetro de aspersão de Cornell, considera-se a área total, incluindo a ocupada pelas partículas.

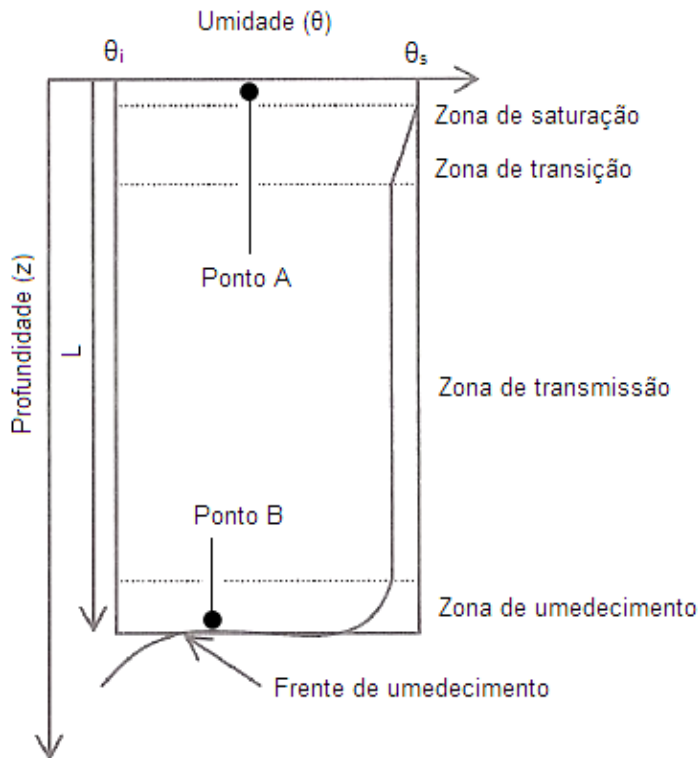
A descrição física detalhada do processo de infiltração pode ser encontrada em Hillel (1982), Reichardt e Timm (2004) e Brandão et al. (2006). De maneira resumida, à medida que a água infiltra no solo, as camadas superiores do perfil vão umedecendo de cima para baixo, gerando um perfil de distribuição de água que tende à saturação ( $\theta_s$ ) em toda profundidade enquanto há aplicação de água. Nesse sentido, a Figura 1 ilustra esquematicamente a distribuição de água em um perfil uniforme do solo com umidade inicial  $\theta_i$  e submetido a uma pequena carga hidráulica na superfície (empoçamento), durante a infiltração. Nota-se a formação de quatro zonas distintas:

- Zona de saturação: corresponde, naturalmente, a camada mais superficial do perfil, com espessura de apenas alguns centímetros, que atinge rapidamente a saturação ( $\theta_s$ );
- Zona de transição: camada caracterizada por um decréscimo acentuado na umidade, com espessura aproximada de 5 cm;
- Zona de transmissão: como o próprio nome sugere, trata-se da camada através da qual a água é transmitida, apresentando umidade um pouco inferior à saturação, que não é atingida na prática em função do aprisionamento de ar. Enquanto as outras duas zonas apresentam espessura praticamente constante, a profundidade da zona de transmissão é aumentada continuamente com a aplicação de água;
- Zona de umedecimento: é uma camada geralmente estreita, caracterizada por um decréscimo acentuado na umidade com a profundidade até a frente de umedecimento. Essa, por sua vez, constitui-se no limite visível do movimento descendente de água no solo, caracterizado por uma variação abrupta de umidade, tão mais acentuada quanto menor for  $\theta_i$ .

O movimento de água no perfil somente ocorre se houver uma “força” motriz, que literalmente “puxe” a água aplicada sobre o solo em direção à frente de umedecimento (Reichardt; Timm, 2004), ou seja, do ponto A ao ponto B (Figura 1). Essa força motriz é dada pelo chamado gradiente de potencial hidráulico; determinando, em grande parte, a taxa de infiltração de água. De maneira bastante simplificada, a força que move a água da superfície para camadas inferiores depende da: i) sucção exercida pelo solo; ii) gravidade; iii) existência ou não de lâmina de água livre na sobre o solo, exercendo pressão; e iv) distância (dimensão L, Figura 1) entre a superfície do solo (ponto A) e a frente de umedecimento (ponto B). A sucção decorrente da matriz do solo é determinada pela umidade e pelo tamanho dos poros e partículas sólidas; assim, quanto mais seco, mais argiloso e mais compactado ou adensado for o solo, maior será a sucção e, conseqüentemente, a força motriz que governa a infiltração. A pressão ocorre na presença de lâmina de água livre na superfície do solo, como em áreas sob irrigação por inundação; portanto, quanto maior altura da lâmina de água, maior será a força que ocasiona o movimento descendente da água. As forças produzidas pela sucção e pela pressão diminuem linearmente com o aprofundamento da frente umedecimento (dimensão L, Figura 1) ao longo do processo de infiltração, até atingir valores próximos a zero. Já a força referente à gravidade é constante, não variando em função de atributos do solo, da espessura da lâmina de água superficial (se existente) e da profundidade da frente de umedecimento.

A magnitude da taxa de infiltração depende também da condutividade hidráulica do solo ( $K$ ), que descreve a facilidade com que a água é transmitida no perfil. A taxa de infiltração e a  $K$  são variáveis relacionadas, porém de significados diferentes e, assim, não podem ser utilizadas como sinônimos. Enquanto a infiltração é um processo relacionado à entrada da água no solo através de sua superfície,  $K$  é uma variável associada à facilidade com que a água se movimenta no interior do perfil, após sua passagem pela superfície. Quando a intensidade da precipitação é menor que a taxa de infiltração,  $K$  refere-se ao solo não-saturado ( $K_{(\theta)}$ ); em contrapartida, quando a intensidade de precipitação é maior que a capacidade de infiltração, a superfície do perfil tende à saturação, e, portanto,  $K$  se aproxima de seu valor máximo, que ocorre em solo saturado ( $K_{(s)}$ ). O valor de  $K$  decresce rapidamente com a redução da umidade, logo ( $K_{(\theta)}$ ) é sempre inferior ( $K_{(s)}$ ), sendo essa diferença tão maior quanto mais seco o solo estiver. Ressalta-se a  $K$  depende de ca-

racterísticas da água (densidade e viscosidade, variáveis com temperatura, pressão e concentração de solutos) e de uma propriedade do solo conhecida como permeabilidade intrínseca ( $k$ ) que, por sua vez, é determinada pelo volume, geometria, arranjo, tortuosidade e estabilidade do espaço poroso (Hillel, 1982; Reichardt; Timm, 2004). Assim, permeabilidade e condutividade hidráulica são grandezas inter-relacionadas mas de significados diferentes, não devendo ser utilizadas como sinônimos.



$\theta_i$  = umidade inicial do solo;  $\theta_s$  = umidade do solo correspondente à saturação

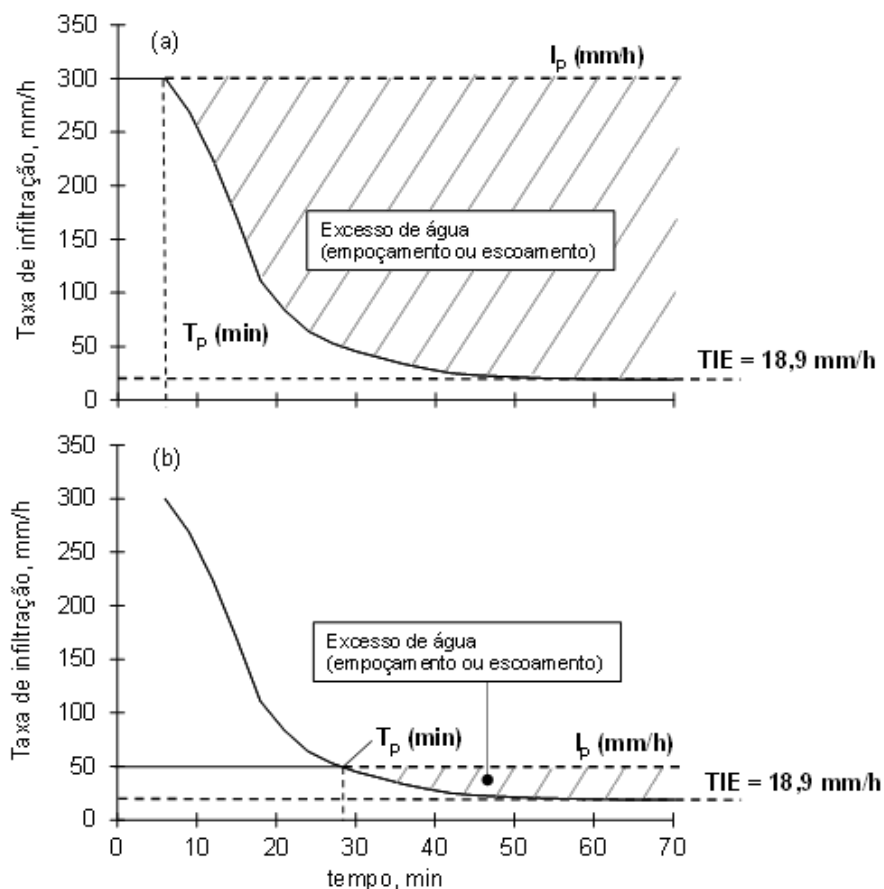
**Figura 1.** Perfil de umedecimento do solo durante a infiltração.

Fonte: adaptado de Brandão et al. (2006).

Os conceitos e processos anteriormente descritos podem ser melhor ilustrados pela Figura 2, elaborada a partir de uma curva de variação da taxa de infiltração de água no solo com o tempo, determinada em condições reais de campo com o uso do infiltrômetro de aspersão de Cornell. Na Figura 2a,

observa-se que do início do teste de infiltração ( $t = 0$ ) até aproximadamente 8 min ( $T_p$ , tempo de empoçamento), quando começa a ocorrer excesso de água e esta empoça, a taxa de infiltração é igual à intensidade da precipitação ( $I_p$ ) simulada pelo infiltrômetro, 300 mm/h. Até  $t = T_p$ , o fluxo ocorre em condições de não saturação. Em outras palavras, a taxa de infiltração observada é inferior à capacidade de infiltração até  $t = T_p \sim 8$  min, quando a água começa a acumular na superfície. A partir de  $T_p$ , a taxa de infiltração observada é máxima e equivalente à capacidade de infiltração do solo. Ou seja, as curvas de taxa de infiltração observada e de capacidade de infiltração passam a coincidir do início do empoçamento em diante. Para o caso de uma chuva com intensidade de 50 mm/h (Figura 2b), considerando a mesma curva da Figura 2a, a taxa de infiltração observada permanece inferior à capacidade de infiltração e igual à  $I_p$  (50 mm/h) por um período maior de tempo, equivalente a cerca de 30 minutos ( $T_p$ ). Observa-se ainda que, a partir de  $T_p$ , a taxa de infiltração observada (ou capacidade de infiltração) diminui com o tempo até atingir um valor aproximadamente constante, a taxa de infiltração estável (TIE). Essa redução ocorre porque, à medida que a água infiltra, a zona de transmissão (Figura 1) vai se aprofundando, até que o valor da força ocasionada pela sucção do solo (neste exemplo, não há lâmina de água acumulada na superfície, e portanto pressão) torna-se aproximadamente nula pelo aumento da profundidade da frente de umedecimento. A infiltração, então, passa a ser governada apenas pela força da gravidade, que é constante ao longo do perfil; logo, os valores de taxa de infiltração tornam-se constantes (TIE) e similares aos valor de  $K_{(s)}$ , 18,9 mm/h.

Quando a taxa de infiltração passa a ser menor do que a intensidade da precipitação, ou seja, a partir de  $T_p$  (Figura 2), há geração de excesso de água que, em um primeiro momento, empoça em irregularidades existentes na superfície do terreno, como depressões, sulcos, espaços gerados pela sobreposição de restos vegetais e cavidades entre torrões de solo. Se a aplicação de água ou a chuva persistir em intensidade superior à capacidade de infiltração, a água ocupará todo o volume das irregularidades existentes na superfície, resultando assim em escoamento superficial. Essas irregularidades compõem a chamada rugosidade superficial do solo, que apresenta papel fundamental no controle do escoamento superficial e, assim, da intensidade dos processos erosivos.

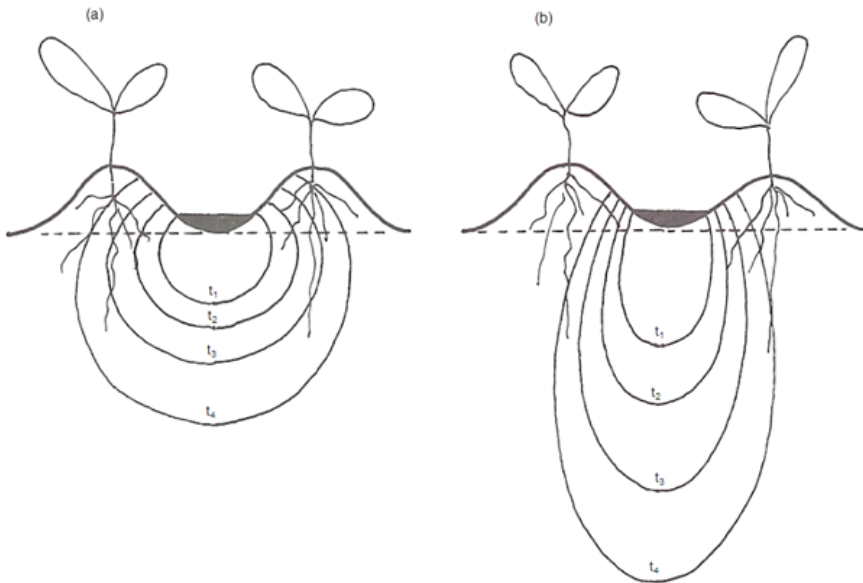


**Figura 2.** Variação da taxa de infiltração de água no solo sob condições de intensidade de precipitação ( $I_p$ ) constante, de 300 mm/h (a) e 50 mm/h (b).  $T_p$  = tempo de empocamento; TIE = taxa de infiltração estável. A  $I_p$  de 300 mm/h (a) representa taxa dentro da faixa indicada para aplicação pelo infiltrômetro de aspersão de Cornell.

Um outro aspecto que merece ser abordado, tendo-se em vista as particularidades do infiltrômetro de aspersão, relaciona-se à infiltração quando a água não é aplicada em área total, mas sim pontualmente, como por exemplo, em um sulco de irrigação (Figura 3). Conforme descrito em Hillel (1982), no início do processo ( $t_1$ ), quando o solo está relativamente seco, a forte sucção do solo faz com que a infiltração seja aproximadamente uniforme em todas as direções, o que é mais evidente no solo argiloso (Figura 3a). Com o umedecimento progressivo ( $t_2$ ,  $t_3$  e  $t_4$ ), a força de sucção decresce e a força da



gravidade passa a governar o processo de infiltração, gerando um fluxo predominantemente vertical. Observa-se ainda que, no solo arenoso (Figura 3b), o fluxo de água vertical é mais pronunciado do que no solo argiloso (Figura 3a), pois a força da gravidade começa a atuar mais rapidamente no primeiro, em razão da menor força de sucção. No caso do infiltrômetro de aspersão de Cornell, o processo se assemelha, em linhas gerais, ao ilustrado pela Figura 3; como o fluxo é tridimensional, a área de molhamento é maior do que a área onde a água é aplicada especialmente no solo argiloso, gerando taxas de infiltração superestimadas e que, portanto, devem ser matematicamente corrigidas em função da textura do solo.



**Figura 3.** Infiltração de água em um solo argiloso (a) e arenoso (b), inicialmente secos, a partir de um sulco de irrigação.

Fonte: adaptado de Hillel (1982) e Reichardt e Timm (2004).

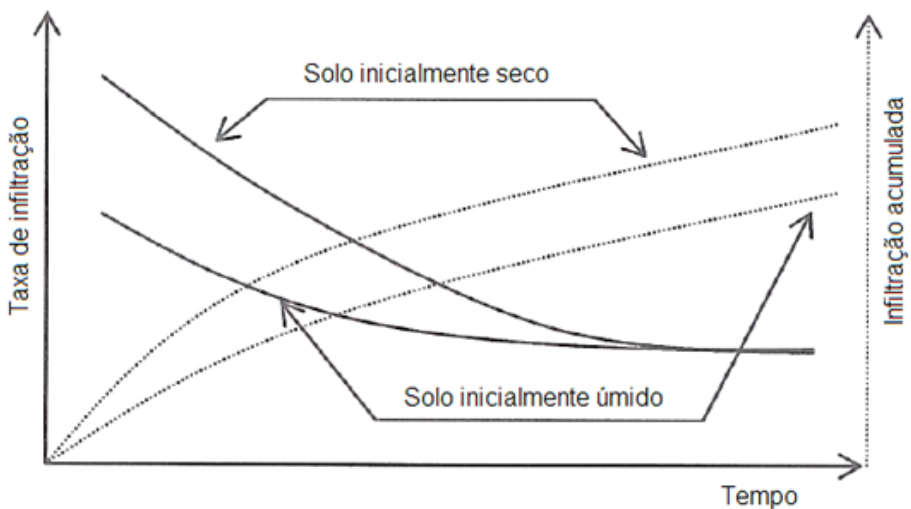
## Fatores que influenciam a infiltração

### Umidade inicial do solo

Conforme a Figura 4, verifica-se que a taxa de infiltração inicial é mais alta no solo inicialmente mais seco, o que pode ser atribuído a maior força de sucção

na condição de menor umidade inicial. O aumento da força de sucção exercida pelo solo resulta no incremento da taxa de infiltração. Em termos práticos, o escoamento superficial de água e, conseqüentemente, a erosão, são reduzidos quando a precipitação ocorre em solos inicialmente mais secos, o que é especialmente válido para chuvas de curta duração. Entretanto, independentemente da umidade inicial, a taxa de infiltração diminuiu com o tempo atingindo o mesmo valor constante final (TIE), em virtude do aprofundamento da frente de umedecimento, o que reduz a força de sucção de tal forma que a gravidade (que é constante ao longo do perfil) torna-se a principal força motriz do fluxo. Portanto, a TIE não depende da umidade inicial do solo.

É importante ressaltar que o tempo necessário para se atingir a TIE é, naturalmente, maior no solo com menor umidade inicial (Figura 4). Na prática, isso significa que quanto mais seco for o solo inicialmente, mais demorado será o processo de avaliação da infiltração para que a TIE (principal variável de interesse) seja atingida. Adicionalmente, a infiltração acumulada será maior no solo mais seco.



**Figura 4.** Efeito da umidade inicial do solo na curva de variação da taxa de infiltração com o tempo.

Fonte: adaptado de Brandão et al. (2006).

## Condutividade hidráulica saturada ( $K_{(s)}$ )

A  $K_{(s)}$  representa a facilidade com que a água é transmitida no perfil, em condições de solo saturado; assim, quanto maior a  $K_{(s)}$ , maior será a TIE. Por sua vez, a  $K_{(s)}$  é determinada pelo volume, tamanho, tortuosidade, forma, continuidade, interconectividade e estabilidade do sistema poroso do solo. Em termos genéricos, camadas de solo porosas, com predomínio de macroporos e que, adicionalmente, apresentam poros contínuos e/ou interconectados, pouco tortuosos, estáveis e com forma o mais próxima possível da cilíndrica, são aquelas com maiores valores de  $K_{(s)}$ , e assim, de TIE. A presença de fissuras, assim como de canais produzidos por raízes e pela macrofauna do solo, também aumenta a  $K_{(s)}$  e a TIE.

O volume, arranjo, a geometria e a estabilidade dos poros são determinados principalmente pela textura, pela composição mineralógica e pela estrutura do solo. Em geral, solos de textura arenosa apresentam maior  $K_{(s)}$  em relação aos argilosos, sobretudo em razão do maior volume de macroporos (Hillel, 1982). Entretanto, solos argilosos com teores consideráveis de óxidos de ferro e alumínio, como os Latossolos das regiões tropicais e subtropicais, apresentam uma estrutura de microagregados altamente estável, de forma que podem apresentar  $K_{(s)}$  similares ou até superiores a solos arenosos, dependendo do manejo adotado (Brandão et al., 2006). Adicionalmente, solos argilosos favorecem o acúmulo de matéria orgânica (MOS) (Sá et al., 2010) e, conseqüentemente, a formação de agregados porosos e estáveis (Dexter, 1988). A estabilidade dos microagregados tende a ser menor em solos com maior concentração de caulinita em relação aos óxidos na fração argila, por causa da menor densidade de cargas elétricas dessa, podendo assim limitar  $K_{(s)}$ . Adicionalmente, a caulinita apresenta estrutura laminar (1:1), o que facilita a orientação de suas partículas gerando camadas com baixa porosidade e, assim, de impedimento ao fluxo de água. A predominância de argilominerais 2:1 na fração argila, como a montmorilonita, diminui a  $K_{(s)}$ , uma vez que, com o aumento da umidade, esses minerais expandem diminuindo o volume e o tamanho dos poros disponíveis para o fluxo de água (Hillel, 1982; Brandão et al., 2006). Por sua vez, a presença de silte também tende a diminuir a  $K_{(s)}$ , pois o tamanho desta partícula é pequeno demais para gerar macroporos mas, por outro lado, é eletricamente inerte, dificultando seu arranjo em agregados estáveis (Hillel, 1982).

A estrutura desempenha papel fundamental na determinação da porosidade do solo e, conseqüentemente, da  $K_{(s)}$  e da TIE, sendo diretamente influenciada pelas práticas de manejo do solo (Salton et al., 2008; Moraes et al., 2016). Conceitualmente, a estrutura do solo se refere ao padrão de arranjo das partículas minerais (areia, silte e argila) e orgânicas em unidades estruturais, os agregados, os quais são separados entre si por superfícies de fraqueza (Santos et al., 2013). Camadas de solo formadas por agregados porosos apresentam maiores valores de  $K_{(s)}$  e TIE comparativamente a camadas excessivamente desagregadas e/ou com unidades estruturais compactadas e de grande tamanho, os chamados “torrões” (Ralisch et al., 2017). Outra característica importante que determina a  $K_{(s)}$  é a estabilidade da estrutura em resposta ao impacto da gota da chuva e ao próprio fluxo da água ao longo do processo de infiltração (Hillel, 1982; Brandão et al., 2006). Agregados pouco estáveis favorecem a formação de crostas superficiais e o entupimento de poros em camadas mais profundas, que atuam como “barreiras” que limitam a  $K(s)$  e, conseqüentemente, a TIE.

A formação e estabilização de agregados depende da presença de ligantes minerais (óxidos de ferro e alumínio, argilominerais e carbonatos, entre outros) e orgânicos, presentes na MOS (Dexter, 1988). Neste contexto, a atividade biológica do solo é fator chave para agregação, sobretudo em solos tropicais, proporcionando a conversão do material orgânico aportado ao solo (por exemplo, palha, raízes e fertilizantes orgânicos) em MOS. Conforme Goldchin et al. (1997), compostos orgânicos transitórios, resultantes das fases iniciais de decomposição do material orgânico aportado ao solo, como mucilagens e polissacarídeos, são considerados os mais efetivos para a estabilização de macroagregados (> 250  $\mu\text{m}$ ) que, por sua vez, estão diretamente associados ao aumento do volume de poros, especialmente os macroporos (Dexter, 1988). Na prática, isso exige que o aporte de material orgânico ao solo ocorra em quantidade e qualidade compatíveis com a demanda biológica, e o mais constante possível ao longo do tempo (Denardin; Kochhann, 2006). Por sua vez, o crescimento das raízes aproxima as partículas minerais e orgânicas e, ao mesmo tempo, produz bioporos que podem se constituir em planos de fraqueza que facilitam a formação de agregados por fragmentação (Dexter, 1991). Adicionalmente, as raízes e hifas fúngicas aumentam a estabilidade dos macroagregados, por unirem os microagregados e partículas simples através do emaranhamento físico e da produção de exsudatos (Goldchin et

al., 1997; Silva; Mielniczuk, 1997). Ressalta-se que os bioporos gerados por raízes ou pela macrofauna do solo são altamente eficientes na condução de água, por serem estáveis, contínuos e cilíndricos (Oades, 1993), resultando assim em maior  $K(s)$  (Abreu et al., 2004; Moraes et al., 2016).

A contração e expansão do solo, em resposta aos ciclos naturais de secagem e umedecimento, gera fissuras (que podem chegar a alguns centímetros de espessura na superfície do solo) que contribuem expressivamente para a formação de agregados e para a mitigação de camadas compactadas. As fissuras resultantes dos ciclos de secagem e umedecimento se constituem em caminhos preferenciais para o fluxo descendente de água, aumentando a taxa de infiltração especialmente no início do processo. De acordo com Bonetti et al. (2017), os efeitos benéficos dos ciclos de secagem e umedecimento sobre a estrutura são proporcionais aos teores de argila, MOS e óxidos de ferro, sendo portanto especialmente importantes em Latossolos argilosos. Entretanto, a presença de raízes, assim como o aporte constante de material orgânico, é essencial para estabilizar os agregados formados a partir dos ciclos de secagem e umedecimento.

A flocculação das argilas constitui a base da estruturação do solo, pois o processo inverso (dispersão das argilas) leva à destruição dos micro e macroagregados (Dexter, 1988). Após a dispersão, as partículas de argila causam entupimento dos poros (adensamento), inclusive em camadas mais profundas, já que podem ser carregadas ao longo do perfil pelos fluxos descendentes de água (Nunes et al., 2017). O entupimento dos poros, por sua vez, diminui a  $K_{(s)}$  e a TIE (Hillel, 1982). A dispersão das argilas está diretamente relacionada ao balanço de cargas do solo, determinado pelo pH; e à valência, concentração e raio iônico dos cátions (Sparks, 1995). O aumento da concentração de cátions monovalentes e de grande raio hidratado, como o sódio, assim como a redução dos teores de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) e sua substituição por cátions de menor valência [cálcio ( $Ca^{2+}$ ), magnésio ( $Mg^{2+}$ ) e potássio ( $K^+$ )], favorecem o processo de dispersão das argilas. O aumento excessivo do pH do solo também leva à dispersão das argilas.

Nesse sentido, existe um valor de pH em que o balanço de cargas elétricas do solo é nulo, o chamada ponto de carga zero (PCZ). No pH correspondente ao PCZ (que no solos tropicais geralmente varia entre 4 e 5), tem-se a máxima flocculação das argilas. Por outro lado, quando o pH ultrapassa

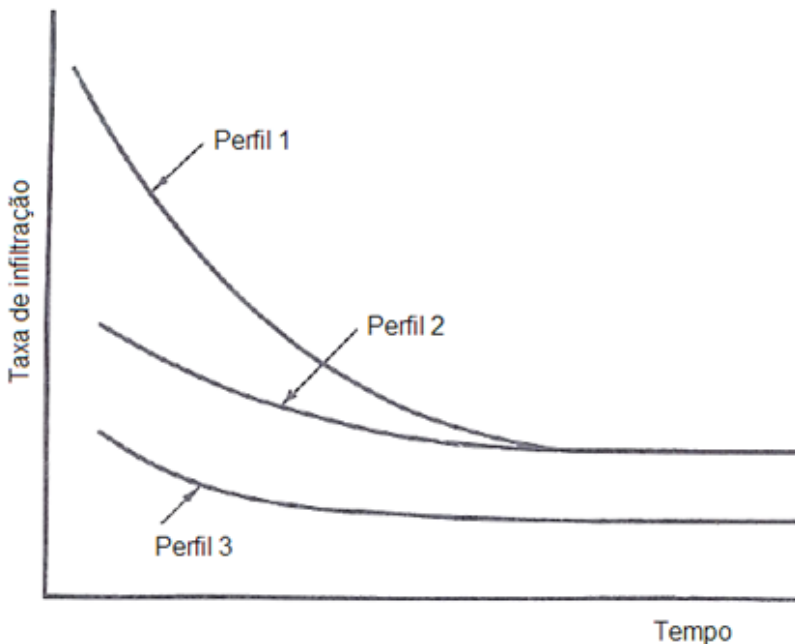
o valor equivalente ao PCZ (o que predomina na ampla maioria das situações), o balanço de cargas é negativo o que se reflete em repulsão entre as partículas, levando à dispersão. Assim, a aplicação de calcário, quando em doses acima das recomendadas, favorece a dispersão das argilas, tanto pelo aumento da carga líquida negativa, quanto pela neutralização do  $Al^{3+}$  e substituição por cátions de menor valência ( $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ ), podendo levar à formação de camadas adensadas de solo, conforme comprovado por Nunes et al. (2017).

Em resumo, o principal aspecto prático a ser observado para preservar e/ou melhorar a qualidade estrutural do solo, de modo a evitar a formação e/ou mitigar camadas de impedimento físico ao fluxo de água (compactadas ou adensadas), envolve a adoção do sistema plantio direto (SPD) em consonância com suas premissas, principalmente no que se refere ao mínimo revolvimento do solo, limitado à linha de semeadura, e à utilização de modelos de produção com alta diversidade de espécies vegetais e elevado aporte de palha e raízes, de maneira sistemática ao longo do tempo. A racionalização do tráfego de máquinas agrícolas, assim como a correção e adubação de acordo com a análise de solo, seguindo as indicações da pesquisa e observando boas práticas na aplicação (dose correta e uniformidade de distribuição), também se constituem em práticas de manejo importantes para evitar a degradação da estrutura do solo via compactação ou adensamento, proporcionando assim maiores  $K_{(s)}$  e TIE.

### **Condições da superfície do solo**

O volume, a geometria e a estabilidade da porosidade na camada superficial (0-5 cm) constituem-se em importantes fatores que determinam a taxa de infiltração de água no solo, conforme ilustrado pela Figura 5. Em comparação ao perfil 2, que apresenta estrutura uniforme em profundidade, o perfil 1, com camada superficial mais porosa, apresenta maior taxa de infiltração inicial porém, a TIE é semelhante, pois essa é determinada pela condutividade hidráulica das camadas inferiores (zona de transmissão). Por outro lado, a taxa de infiltração do perfil 3 (camada superficial menos permeável) é inferior ao perfil 2 (referência) ao longo de toda a curva, inclusive na faixa onde os valores se tornam constante (TIE). Portanto, camadas superficiais com menor condutividade hidráulica em relação ao restante do perfil agem como “barreiras”, limitando a taxa de infiltração de água.

A principal causa de redução da condutividade hidráulica na superfície do solo é encrostamento superficial, ocasionado pela impacto direto da gota da chuva sobre o solo e/ou desagregação pelo umedecimento excessivamente rápido. A formação de crostas superficiais pode ser evitada pela cobertura permanente do solo, viva e/ou morta, bem como pelo aumento da estabilidade dos agregados em água. Nesse sentido, Derpsch et al. (1986) encontraram que a TIE aumentou de 26 mm/h sob preparo convencional de solo para 45 mm/h em SPD, o que foi atribuído à cobertura do solo e à maior estabilidade dos agregados nesse último, evitando assim formação de crostas superficiais. Outra fator comumente associado à formação de camadas superficiais compactadas, resultando na redução da taxa de infiltração, é o pastejo excessivo, envolvendo carga animal acima da suportada pela pastagem (Bonetti et al., 2019).



**Figura 5.** Curvas da variação da taxa de infiltração de água no solo com o tempo em três perfis de solo com estrutura idêntica nas camadas mais profundas, porém variável na superfície do solo. Perfil 1: superfície do solo com porosidade maior que as camadas mais profundas; Perfil 2: porosidade uniforme em profundidade; e Perfil 3: superfície do solo com porosidade menor que as camadas mais profundas, como no caso da formação de crostas superficiais.

Fonte: adaptado de Hillel (1982).

### Presença de camadas impeditivas ao fluxo de água no interior do perfil

A taxa de infiltração de água é limitada pela presença de descontinuidades em termos de volume e geometria do espaço poroso ao longo do perfil, ocasionadas por variações na textura e/ou na estrutura no solo. Segundo Hillel (1982), a presença de uma camada mais compactada, mais adensada e/ou mais argilosa comparativamente ao solo que a sobrepõe no perfil, proporciona redução na taxa de infiltração pela baixa  $K(s)$ , em razão da menor porosidade total e do predomínio de poros de menor tamanho. Da mesma forma, a existência de uma camada de solo com maior porosidade e/ou poros maiores em relação à camada que a sobrepõe no perfil, em decorrência do maior teor de areia e/ou diferenças na estrutura, também limita a taxa de infiltração. Camadas com maior porosidade e/ou poros maiores retardam o avanço da frente de umedecimento (onde o solo não está saturado) por causa da sua menor condutividade hidráulica não saturada ( $K_{(θ)}$ ) (Reichardt; Timm, 2004). O fluxo em direção à camada mais porosa somente ocorrerá quando o acúmulo de água na camada subjacente resultar em pressão suficiente para impulsionar o movimento descendente de água. Portanto, a taxa de infiltração é tão maior quanto mais contínuo e uniforme for o arranjo poroso ao longo do perfil, sendo os valores limitados pela camada de menor  $K$ .

## Princípios de funcionamento do equipamento: Infiltrômetro de aspersão de Cornell

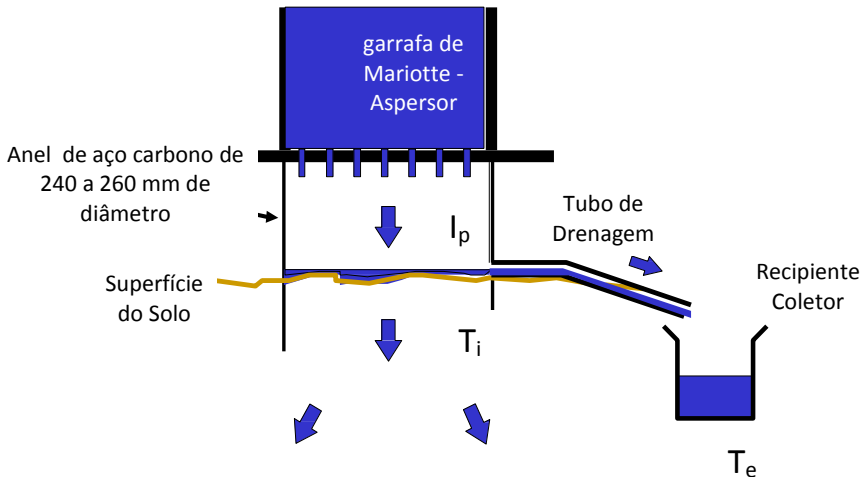
O esquema de funcionamento básico do sistema proposto por Ogden et al. (1997) e adaptado de van Es e Schindelbeck (2015) é ilustrado na Figura 6.

O conjunto é composto por um aspersor que adota o princípio da garrafa de Mariotte para regular o fluxo de saída de água (precipitação), à medida que a altura da coluna de água diminui. Também é dotado de um conjunto de microtubos instalados na placa inferior da garrafa, que auxilia na regulação complementar do fluxo e na simulação da precipitação.

Além disso, usa como base um anel de aço, com diâmetro entre 240 a 260 mm, que é enterrado no solo para delimitar a aplicação de água no ponto



amostral. Nesse anel se acopla um tubo, responsável por drenar a água proveniente do escoamento superficial para um recipiente coletor.



**Figura 6.** Esquema do infiltrômetro aspersor proposto por Ogden et al. (1997) e adaptado de van Es e Schindelbeck (2015).

Por princípio, a taxa de infiltração ( $T_i$ ) é determinada pela diferença entre a intensidade de precipitação ( $I_p$ ) e a taxa de escoamento ( $T_e$ ), conforme equação (1):

$$T_i = I_p - T_e \quad (1)$$

No infiltrômetro de aspersão de Cornell, a  $I_p$  (mm/h) é obtida conforme a equação (2):

$$I_p = \left( \frac{(H_1 - H_2) \times 600}{t} \right) \times \left( \frac{A_{gm}}{A_a} \right) \quad (2)$$

Em que:

$H_1$  = altura da coluna d'água na garrafa de Mariotte (cm), medida na régua externa no tempo 0;

$H_2$  = altura da coluna d'água na garrafa de Mariotte (cm), medida na régua externa após o intervalo de tempo  $t$  entre duas leituras sucessivas (por padrão,  $t = 3$  minutos);

$A_{gm} = \pi R_{gm}^2$ , área interna da garrafa de Mariotte (m<sup>2</sup>), em que  $R_{gm}$  é o raio interno da garrafa de Mariotte (por padrão, 0,12 m);

$A_a = \pi R_a^2$ , área interna do anel metálico (m<sup>2</sup>), em que  $R_a$  é o raio interno do anel (variável entre 0,12 e 0,13 m).

Por sua vez, a  $T_e$  (mm/h) é obtida pela equação (3):

$$T_e = \left( \frac{V_e \times 60}{1000 \times t \times A_a} \right) \quad (3)$$

Em que:

$V_e$  = volume de água escoado e coletado no recipiente coletor (mL), durante intervalo de tempo  $t$  entre duas leituras sucessivas de altura da coluna d'água na garrafa de Mariotte (por padrão,  $t = 3$  minutos).

Tendo em vista que o fluxo de infiltração nesse aparato é tridimensional (Figura 3), torna-se necessária a realização de ajuste matemático por meio do fator de correção ( $k$ ), apresentado por Reynolds e Elrick (1990), onde são levados em consideração os efeitos da textura do solo avaliado e da profundidade de inserção do anel (Tabela 1).

$$TI = T_i \times k \quad (4)$$

Em que  $TI$  = taxa de infiltração ajustada (mm/h).

**Tabela 1.** Fatores de conversão ( $k$ ) para infiltração saturada a campo para corrigir o fluxo tridimensional da água na parte inferior do anel em conformidade com o tipo de solo e a profundidade de inserção do anel.

Tipo de solo	Profundidade de Inserção do Anel	
	7,5 cm	15 cm
Areias e cascalhos	0,95	0,99
Solos Arenosos (Solos Franco/Friáveis)	0,80	0,94
Solos argilosos e muito argilosos	0,60	0,88

Fonte: adaptado de Reynolds e Elrick (1990).

## Detalhes construtivos no aperfeiçoamento do equipamento original

Tomando como base o projeto original de Ogden et al. (1997) adaptado por van Es e Schindelbeck (2015), foram realizados alguns aperfeiçoamentos a fim de facilitar a operação e garantir maior confiabilidade à técnica de avaliação de infiltração de água no solo, bem como buscando solucionar dificuldades que foram enfrentadas na obtenção dos resultados a campo. Na Figura 7, é possível observar as características do equipamento originalmente adaptado por van Es e Schindelbeck (2015), a partir de Ogden et al. (1997).

Fotos: Celso Daniel Seratto



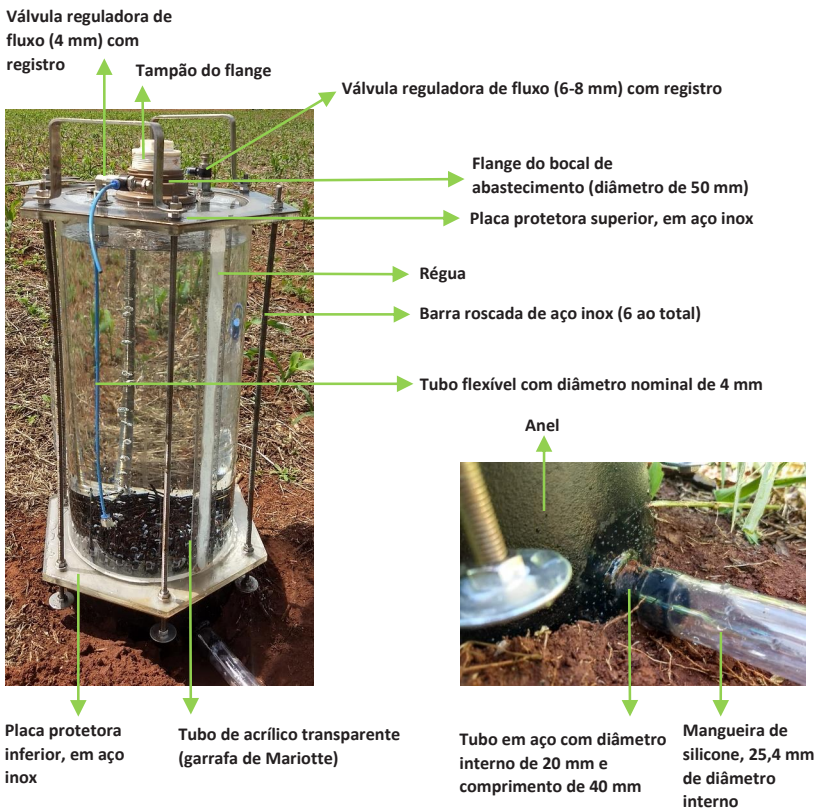
**Figura 7.** Infiltrômetro de aspersão de Cornell, proposto por Ogden et al. (1997) e adaptado por van Es e Schindelbeck (2015).

Alguns aspectos de engenharia do equipamento foram aperfeiçoados, o que permitiu maior robustez e portabilidade do conjunto, maior precisão na aplicação das taxas de precipitação, diminuição dos custos de fabricação e maior facilidade de acesso aos materiais necessários à construção do conjunto. O infiltrômetro de aspersão de Cornell, já com os aperfeiçoamentos propostos neste trabalho, pode ser visualizado na Figura 8.

Na construção das garrafas de Mariotte, foram utilizados tubos de acrílico transparente, com comprimento de 500 mm, diâmetro interno de 240 mm e espessura de paredes de 5 mm. O emprego desse componente facilitou a construção do infiltrômetro, por ser um produto comercial mais fácil de ser encontrado e de custo relativamente baixo.

O projeto e desenho técnico das tampas superior e inferior do modelo aperfeiçoado do infiltrômetro de aspersão de Cornell é apresentado nos esquemas das Figuras 9 e 10. As placas que compõe o sistema de tampas foram construídas em acrílico transparente com 10 mm de espessura, com formato sextavado. Essas placas foram fresadas para melhorar o encaixe do tubo de acrílico e, ao final, foram coladas com silicone de uso industrial de alta resistência, evitando riscos de descolamentos e vazamentos de ar e água no sistema.

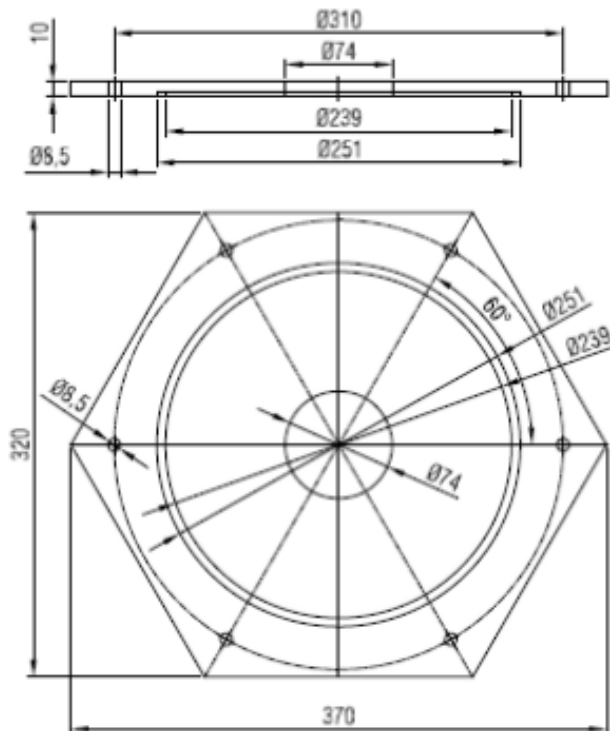
Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 8.** Infiltrômetro de aspersão de Cornell com os aperfeiçoamentos desenvolvidos pelos autores a partir do proposto por Ogden et al. (1997) e adaptado por van Es e Schindelbeck (2015).

Conforme exposto nas Figuras 8 e 11, foi instalado um flange de tubulação de água na placa superior, com tampão de 50 mm de diâmetro, para permitir o abastecimento e a melhor vedação do sistema, em substituição ao uso de

um orifício vedado com rolha de borracha ou silicone do projeto original. Para proporcionar o esgotamento total da água contida na garrafa de Mariotte ao término da avaliação (ponto crucial a ser observada na manutenção de rotina do equipamento), foi alocada uma abertura com parafuso de 6 mm na tampa superior (Figura 11). Além disso, foi instalada uma válvula reguladora de fluxo com registro, de uso em sistemas de ar comprimido, com 4 mm de diâmetro nominal, cuja função é ajustar a passagem do ar para dentro da garrafa de Mariotte. Outra alteração que facilitou o transporte do equipamento no campo foi a inclusão de alças metálicas na placa acrílica superior (Figura 11).



**Figura 9.** Projeto da placa de acrílico superior do infiltrômetro de aspersão de Cornell (modelo aperfeiçoado neste trabalho), com medidas em milímetros.

A placa inferior foi perfurada (Figura 10) para instalação de 120 microtubos, do tipo utilizado em sistemas de irrigação por gotejamento, com 0,8 mm de diâmetro nominal interno e 380 mm de comprimento. Para melhorar seu arranjo espacial sobre a placa no lado interno e auxiliar no controle da intensi-

dade de precipitação, os microtubos foram sifonados e amarrados com abraçadeiras de nylon, sendo colados com uso de silicone (Figura 12).

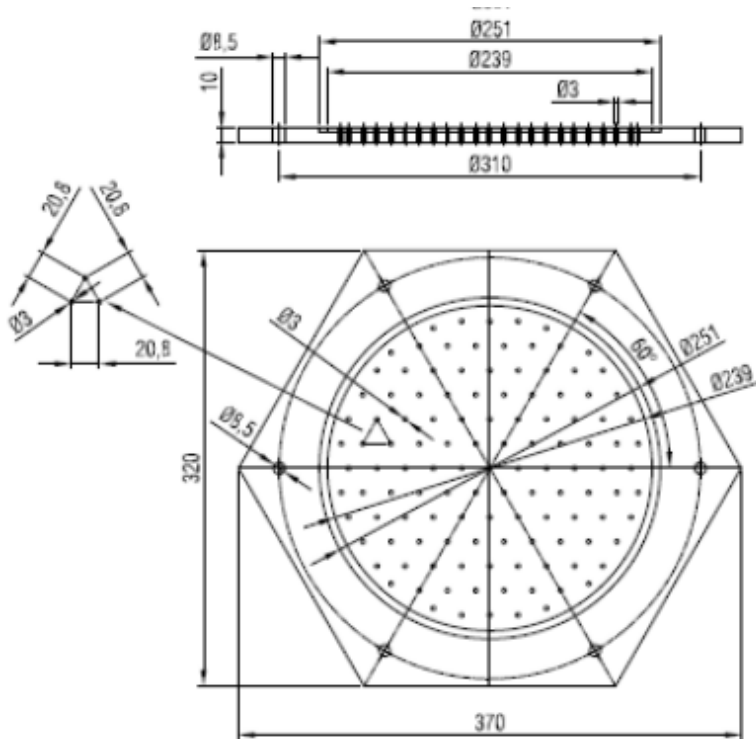
A fim de aprimorar a estrutura e a robustez do infiltrômetro, foram instaladas placas protetoras de aço inox sobre os tampões de acrílico inferior e superior, sustentadas por seis barras roscadas de aço inox (diâmetro de 6,35 mm ou ¼ de polegada, e comprimento de 600 mm), com arruelas e porcas também em aço inox, que comprimem o conjunto de tampões. Isso garante que o sistema fique perfeitamente vedado evitando vazamentos de água e ar que prejudicam o correto funcionamento do infiltrômetro. As mesmas barras, na extremidade inferior, ultrapassam o limite do conjunto em 70 mm e têm a função de manter o equipamento afastado do solo protegendo os microtubos de eventuais impactos e contaminações com solo e resíduos encontrados sobre sua superfície.

Em substituição à pipeta de vidro originalmente utilizada para controlar a injeção do ar na garrafa de Mariotte, de forma a compensar as pressões exercidas pela coluna de água e assim a sua taxa de aplicação, foi colocado um tubo flexível com diâmetro nominal de 4 mm (Figura 8), comum em sistemas de ar comprimido. A extremidade final desse tubo foi acoplada a um engate rápido para mantê-lo esticado na profundidade desejada dentro do infiltrômetro.

Alternativamente, é possível instalar no tampão superior outra válvula de registro para regulação do fluxo de ar, com 6 a 8 mm de diâmetro nominal interno (Figuras 8 e 11), a fim de permitir maiores intensidades de precipitação, necessárias quando o uso acontece em solos muito permeáveis, como os muito arenosos ou sob mata nativa. O fechamento da válvula de 4 mm e a abertura da válvula de 6 a 8 mm, permite ao aparelho alcançar taxas de aplicação de até 600 mm de água por hora, possibilitando atingir o valor da TIE rapidamente até em solos muito permeáveis.

Considerando apenas a abertura da válvula de 4 mm, os ensaios realizados com esse equipamento indicaram que as taxas de precipitação aplicadas puderam ser ajustadas entre 50 e 360 mm por hora, com uma redução aceitável (em torno de 10%) à medida que a altura da coluna de água diminui entre os 42 e 2 cm medidos na régua externa. Esse aperfeiçoamento permite simular em aproximação ao processo natural da precipitação, infiltração e escoamen-

to, ao possibilitar o ajuste do equipamento para aplicação de água em taxas equivalentes aos dados das chuvas que historicamente ocorrem no local, ou aquela que se deseja aplicar.



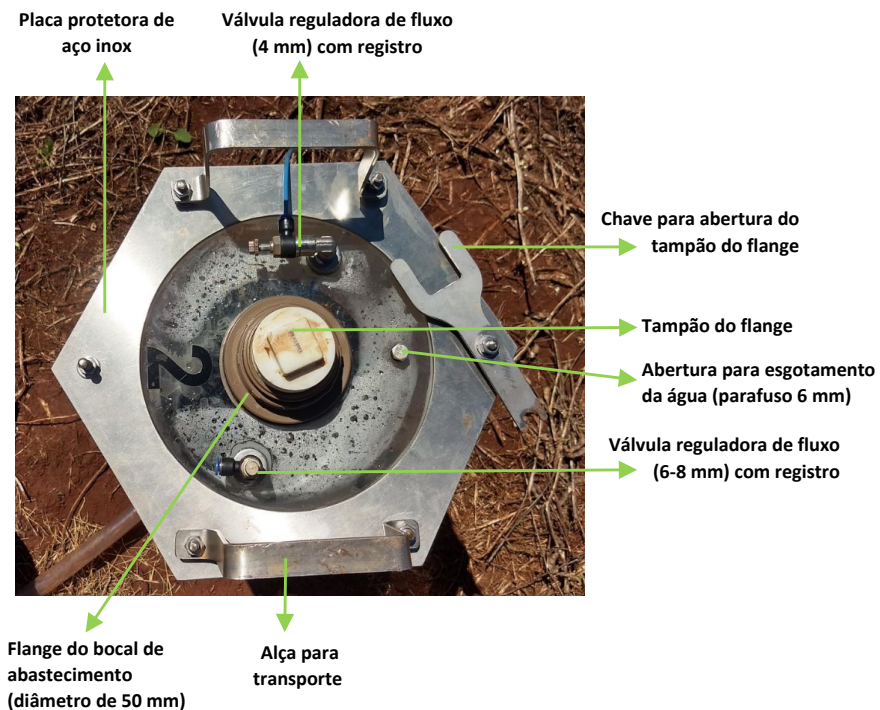
**Figura 10.** Projeto da placa de acrílico inferior do infiltrômetro de aspersão de Cornell (modelo aperfeiçoado neste trabalho), com medidas em milímetros.

Também foram realizadas mudanças no anel metálico que é enterrado no solo, sendo utilizada uma tubulação de aço carbono ao invés de inox na sua fabricação, cujo diâmetro interno pode variar entre 240 e 260 mm (Figura 8). Por conseguinte, é necessária a aplicação de fatores de correção nos cálculos da precipitação e do escoamento, ajustando-se a equivalência entre o diâmetro interno da garrafa de Mariotte e do anel de infiltração. Adicionalmente, no orifício de drenagem de água do anel metálico, onde existia uma perfuração de 24,5 mm de diâmetro, optou-se por soldar um tubo em aço com diâmetro interno de 20 mm e comprimento de 40 mm, cortado em bisel com 15° negativos, para melhorar o escoamento de água que não infiltra no solo (Figura 8). Na saída desse tubo, encaixa-se uma mangueira siliconada comum, com



diâmetro de 25,4 mm e comprimento de 50 cm, a qual conduz a água até o recipiente coletor. Na versão original, era utilizado um conjunto de rolha de silicone adaptada a uma mangueira também de silicone de menor diâmetro para cumprir essa função (Figura 7). Essa modificação solucionou os problemas enfrentados com vazamentos decorrentes de eventuais falhas na instalação da rolha de silicone nas condições a campo e diminuiu significativamente a frequência de entupimentos provocados pelo arraste de palha da superfície do solo, quando o ensaio é realizada sob elevadas taxas de precipitação, garantindo regularidade no fluxo e maior confiabilidade nos resultados. Cabe salientar que, no modelo aperfeiçoado neste trabalho, optou-se por manter a borda inferior do orifício de drenagem a uma distância de 7,5 cm da borda inferior do anel, para facilitar e agilizar a inserção do anel em comparação à outra opção, de 15 cm (Tabela 1).

Fotos: Celso Daniel Seraitto



**Figura 11.** Detalhes da placa superior da garrafa de Mariotte, com a indicação dos principais componentes.



Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 12.** Detalhe dos microtubos sifonados e inseridos na placa inferior do equipamento.

## As possibilidades de uso e a seleção da estratégia de trabalho

Após ser utilizado diversas vezes a campo, nas mais variadas situações, o infiltrômetro de aspersão de Cornell, com as adaptações e aperfeiçoamentos realizados neste trabalho, mostrou-se robusto, versátil e preciso, gerando dados confiáveis de TIE. Assim, a taxa de infiltração obtida com este infiltrômetro pode ser utilizada como indicador de qualidade estrutural em experimentos e em áreas demonstrativas que contemplem diferentes históricos de manejo do solo. Da mesma forma, a taxa de infiltração determinada por esse equipamento pode ser empregada para avaliar a evolução da qualidade estrutural do solo ao longo do tempo, em glebas agrícolas comerciais sob diferentes sistemas de manejo de solos. Além disso, também tem potencial de uso na demonstração didática dos processos dinâmicos de precipitação, infiltração e escoamento da água nos solos, para públicos diversos, em razão da praticidade da metodologia. Assim, o infiltrômetro de aspersão de Cornell, com as adaptações e aperfeiçoamentos propostos neste trabalho, é capaz de atender à pesquisa, a demonstrações e ações de transferência de tecnologia

e ensino, bem como à obtenção de parâmetros técnicos com precisão para projetos agrícolas (irrigação e sistemas de conservação de solo).

## Seleção das áreas e talhões e o levantamento das informações

Ao se comparar os resultados em diferentes áreas agrícolas que apresentam problemas evidentes de manejo de solo com outras manejadas adequadamente, seguindo as indicações da pesquisa, são obtidos resultados a serem utilizados no aprendizado prático e na transferência de tecnologias entre profissionais e produtores, estimulando a adoção de boas práticas de manejo do solo. Também é possível avaliar situação ex-ante e ex-post à aplicação de protocolos de intervenção com o uso das mais variadas técnicas de manejo do solo, de modo que, após o diagnóstico inicial, seja possível acompanhar a evolução da qualidade estrutural dos solos.

Sendo assim, ao selecionar o(s) talhão(ões) nas propriedades para realizar esse tipo de diagnóstico, recomenda-se delimitar aqueles com maior uniformidade possível, escolhendo os que representem o problema existente ou que apresentem qualidades desejáveis, cujos avanços possam ser evidenciados, reproduzidos e apropriados por outros produtores.

O tipo de solo exerce grande influência nas estimativas de taxa de infiltração, de forma que eventuais equívocos na seleção ou delimitação dos talhões podem comprometer as comparações. Por princípio, é prudente que na definição da gleba ou talhão uniforme a ser estudado, sejam identificados e separados os solos existentes, levando-se em consideração atributos relacionados à sua classificação e diferenciação, principalmente quanto à textura, profundidade de horizontes, presença de horizonte “B textural” no perfil, declividade e pedregosidade. Além disso, é fundamental conhecer o histórico recente de uso e as práticas de manejo adotadas, bem como evidências visuais do seu estado de conservação.

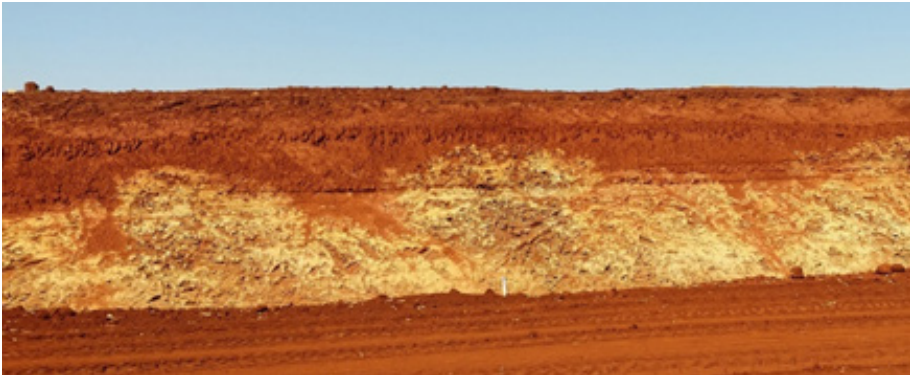
As anotações das informações levantadas e aquelas resgatadas sobre histórico do uso e manejo do solo nesses talhões podem ser feitas na Ficha de Cadastro (Anexo I). Esse procedimento é importante, pois auxilia a explicar de maneira complementar, os resultados obtidos a campo.

## Determinação dos pontos de amostragem

O processo de amostragem é uma etapa crucial para o sucesso no trabalho de avaliação da taxa de infiltração de água que, a exemplo de outros atributos relacionados à física de solos, apresenta elevada variabilidade espacial.

Existem diversos fatores que influenciam a taxa de infiltração de água no solo. Entre as causas mais comuns da variabilidade espacial da taxa de infiltração, observadas nos testes de campo com o modelo aperfeiçoado do infiltrômetro de aspersão de Cornell, encontram-se as variações da profundidade no perfil do solo, que podem influenciar na distribuição da granulometria e estrutura (Figura 13).

Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 13.** Variações da profundidade no perfil de um solo derivado de rocha basáltica no município de Paiçandu, Paraná.

Na Figura 14, é possível observar uma galeria construída por insetos, em subsuperfície, em uma lavoura de café, e que resultou em valores de taxa de infiltração superestimados. Essa situação é facilmente percebida por pessoas treinadas na avaliação, tendo como solução a troca do ponto de amostragem, após constatar taxa de infiltração de água no solo muito elevada para aquela realidade.

Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 14.** Galeria em subsuperfície oriunda da ação de insetos.

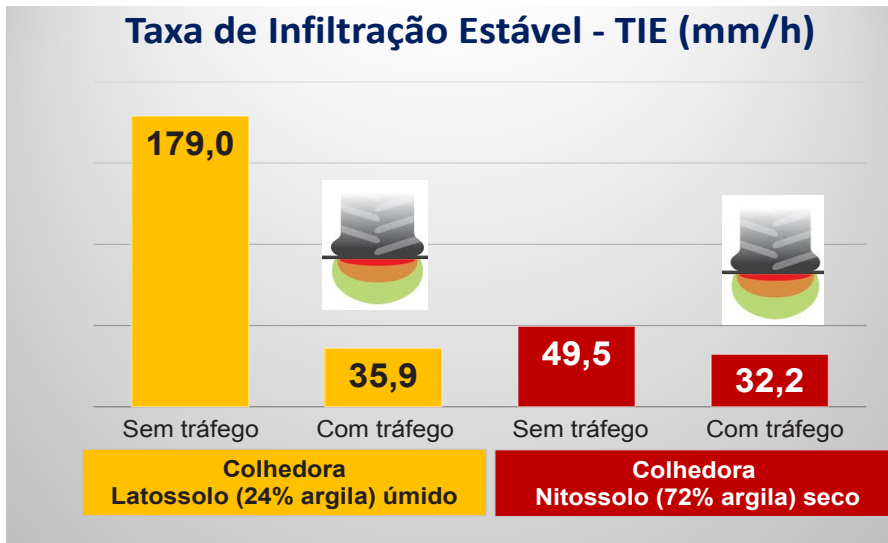
Do mesmo modo, na Figura 15, é possível constatar a deformação da superfície do solo causada pelo tráfego de uma colhedora, em um solo derivado de Arenito, com textura arenosa e estrutura frágil, agravada pela condição de excesso de umidade do solo. O posicionamento do infiltrômetro sobre a zona trafegada certamente resultará em um valor de TIE subestimado, não representativo da área como um todo. Neste contexto, é possível quantificar a área trafegada no talhão e fazer medições da TIE nesta situação, comparando-se às áreas não trafegadas. Para obter a TIE da área faz-se uma ponderação das duas situações.

Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 15.** Efeito do tráfego de colhedora autopropelida de grãos sobre a superfície do solo em áreas de arenito, no noroeste do Estado do Paraná.

Ao se comparar, por exemplo, a TIE obtida na linha de tráfego de uma colhedora de médio porte com rodado simples, em um solo derivado de arenito com 24% de argila e sob condições de elevada umidade, com a TIE medida em Nitossolo derivado de basalto, com 72% de argila, mais resistente à compressão, submetido ao tráfego de máquina semelhante, sob condição de solo seco (Figura 16), é possível entender a importância de segregar os pontos amostrais e ponderar seus resultados na avaliação da infiltração.



**Figura 16.** Variação da taxa de infiltração estável de água (TIE) em função do tráfego de uma colhedora autopropelida de grãos, em solos com diferentes resistências à compressão.

Nesse caso, os resultados da avaliação realizada no Latossolo com 24% argila fora da faixa onde ocorreu o tráfego da colhedora, apontaram para uma TIE de 179 mm/h, enquanto que, dentro da faixa trafegada pelo equipamento, o valor foi de 35,9 mm/h – redução relativa de quase 80%. Por outro lado, no ensaio realizado no Nitossolo com 72% de argila, após a colheita realizada em condições adequadas de umidade, os valores encontrados foram de 49,5 mm/h fora da faixa trafegada e de 32,2 mm/h dentro da faixa trafegada – redução relativa de 35%. A importância dos efeitos do tráfego de máquinas agrícolas sobre a taxa de infiltração fica ainda mais evidente considerando que o somatório das operações mecanizadas necessárias em SPD, sem tráfego controlado, chega a alcançar quase 50% da superfície do solo (Alba et



al., 2011). Portanto, trata-se de um fator que não deve ser ignorado na alocação dos pontos de amostragem.

Por conta das diferentes fontes de variação da taxa de infiltração de água no solo, são necessários diversos pontos amostrais na caracterização de um talhão ou área amostral. Nesse sentido, sugere-se um mínimo de 8 pontos em cada um dos talhões ou gleba selecionados. Em cada ponto amostral, instala-se o anel metálico (Figura 17) sobre o qual é posicionado o infiltrômetro. Por meio de receptores GPS, as coordenadas geoprocessadas de cada ponto amostral podem ser obtidas, possibilitando determinar a distribuição espacial desses pontos. Ressalta-se que a marcação dos pontos amostrais, via registro das coordenadas geográficas ou outros métodos (estacas, por exemplo), é essencial para a realização de medidas ao longo do tempo, permitindo repetir as medições em locais próximos às anteriores reduzido a variabilidade aleatória. Quando o objetivo for comparar os sistemas de manejo em talhões diferentes, ou a evolução do sistema com a adoção de novas práticas conservacionistas em uma mesma gleba, sugere-se delimitar uma área menor dentro do talhão para a alocações dos pontos, reduzindo assim ainda mais a variabilidade aleatória dos resultados.

Em talhões com intervenção mecânica (escarificação, por exemplo) nas 3 a 5 safras precedentes, é comum encontrar maior variabilidade espacial na estrutura do solo e, conseqüentemente, nos resultados obtidos para a TIE. Em geral, os valores de TIE nessas áreas são mais elevados o que, entretanto, não indica melhor qualidade estrutural, pois solos mecanicamente mobilizados tendem à rápida recompactação. Assim, é fundamental a determinação da TIE juntamente com indicadores de qualidade visual da estrutura, como o índice de qualidade estrutural do solo (IQEs) obtido pelo DRES.

No campo, os pontos amostrais onde serão fixados os anéis podem ser escolhidos por aproximação a locais previamente definidos com uso de alguma ferramenta digital georreferenciada. Isso garante uma melhor distribuição espacial dos pontos de amostragem porém, pode haver a necessidade de realocação para se evitar pontos que não representem uma amostra fiel do terreno.

A melhor época de avaliação corresponde ao intervalo entre duas culturas agrícolas em sucessão, quando se tratar de plantas de ciclo anual, como é

o caso de grãos. Todavia, é possível fazer as amostragens em áreas com as plantas já emergidas até o momento em que o tráfego de um trator não prejudique ou danifique a lavoura. O uso desse tipo de máquina é necessário para que se possa cravar os anéis com o apoio de seu peso. Sempre que possível, isso deve ser feito sem o uso de ferramentas que causem impacto, como martelos ou marretas. Detalhes da instalação do anel são apresentados nas Figuras 17 e 18.

Nos casos em que a lavoura já se encontre instalada, na fase inicial, recomenda-se posicionar o trator para trafegar no sentido das linhas de semeadora, o que aumenta as opções de escolha, nos pontos amostrais, do local exato onde será cravado o anel de aço.

## A instalação dos anéis no solo

Na fase de instalação dos anéis no talhão, é importante tomar o cuidado para que estes não sejam alocados em locais de concentração de tráfego de máquinas agrícolas, sejam elas nas zonas de manobras ou ao longo do talhão, em formigueiros, rachaduras no solo e qualquer outra anormalidade que possam interferir na fidedignidade da amostra.

Também é necessário limpar a superfície do solo onde haverá contato com o anel metálico, evitando que os restos culturais proporcionem vazamentos de água na sua borda inferior durante a avaliação. No entanto, deve-se evitar ao máximo descaracterizar a cobertura natural encontrada na superfície do solo naquele ponto amostral.

Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 17.** Limpeza do local para instalação do anel metálico.

Para que o trabalho possa apresentar maior rendimento operacional a campo, sugere-se trabalhar com maior número de anéis em relação ao de infiltrômetros disponíveis. Caso disponha-se de dois infiltrômetros, indica-se trabalhar com quatro anéis; assim, os dois sobressalentes podem ser instalados ao mesmo tempo em que os testes de infiltração estão sendo conduzidos nos outros pontos, seguindo-se a distribuição espacial planejada e ganhando-se tempo na condução da avaliação.

Para a inserção dos anéis nos respectivos pontos amostrais, é necessário dispor de um trator de pequeno ou médio porte, utilizando-se do para-choque dianteiro ou da barra de tração como suporte e apoio para um macaco hidráulico. O acionamento do macaco hidráulico irá, ao invés de levantar o trator, empurrar o anel para o interior do solo, sem vibrações que tendem a desestruturar a superfície deste (como ocorre quando a inserção é feita por batida, como por exemplo, de marreta). A barra de tração oferece maior segurança durante a operação em relação ao para-choque. Destaca-se que isso deve ser feito com o motor do trator desligado e com os freios de estacionamento devidamente acionados. Deve-se atentar para que o anel seja posicionado de forma que o orifício de drenagem da água (Figura 8) fique direcionado para a cota mais baixa do terreno, facilitando a saída do excesso de água (escoamento) e evitando o represamento desta, o que invalida o ensaio. Durante a fixação no solo, os anéis devem ser mantidos nivelados, com o auxílio de um nível d'água. Para isso, pode ser necessário trocas de posição relativa do macaco hidráulico sobre o anel, permitindo assim que a inserção ocorra em nível. Na Figura 18, são apresentadas as ilustrações do processo de fixação dos anéis no solo.

Para auxiliar na operação, deve-se utilizar uma chapa metálica sobre os anéis, servindo de apoio para o macaco hidráulico. Além disso, é recomendado empregar pedaços de vigas de madeira como calços inferiores e superiores às extremidades do macaco hidráulico, evitando assim o risco de deslizamento das superfícies metálicas, quando em contato direto.

Após a inserção do anel, é preciso cavar uma pequena trincheira, com tamanho aproximado de 30 x 30 x 30 cm, afastada no sentido da pendente do terreno à distância mínima de 50 cm do bocal de escoamento. Na trincheira, será disposto um recipiente coletor da água excedente do escoamento superficial do solo, sendo possível observar em detalhes na Figura 19.



Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 18.** Inserção dos anéis metálicos no solo, e acessórios necessários.

Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 19.** Detalhes da instalação do anel metálico e do posicionamento do recipiente coletor do escoamento de água.

A profundidade de instalação dos anéis deve ser padronizada, de modo que o ponto de coleta do escoamento fique a 7,5 ou 15 cm da superfície, pois esse detalhe define o fator de correção para a taxa de infiltração em função da textura do solo, conforme Reynolds e Elrick (1990) (Tabela 1).

Nas áreas mecanizadas com lavouras anuais é possível trabalhar com os anéis cravados a 7,5 cm de profundidade cuja medida, no caso desse acessório, equivale a distância entre a borda inferior chanfrada em bisel até o bocal de saída da água de escoamento de dentro do anel, conforme Figura 20.



**Figura 20.** Medida da profundidade padronizada para instalar o anel metálico, equivalente a 7,5 cm.

## Preparo e operação do infiltrômetro de aspersão de Cornell

Apesar da robustez conferida ao infiltrômetro com os aperfeiçoamentos técnicos realizados, deve-se ter cuidado na sua manipulação, transporte e distribuição na área a ser avaliada, para proteger as partes acrílicas, as válvulas superiores e os microtubos na placa inferior.

Portanto, recomenda-se que seja transportado e distribuído nos pontos amostrais na posição horizontal, podendo ser depositado sobre o solo ou palhada também nessa posição horizontal, como demonstrado na Figura 21. Essa disposição é necessária para proteger os microtubos do contato com o solo ou qualquer tipo de resíduos que possam provocar danos ou entupimento nesse componente do sistema.



**Figura 21.** Distribuição dos equipamentos no talhão a ser amostrado.

Outro cuidado a ser tomado está na seleção da água para o seu abastecimento. Deve-se evitar utilizar águas consideradas duras, com elevados teores de sais solúveis, para prevenir a formação dos depósitos e incrustações nas paredes internas dos microtubos.

Além disso, não se recomenda o uso de água que possua algum tipo de contaminação, especialmente a biológica e, também, aquelas contaminadas com partículas de argila em suspensão, pois pode provocar o entupimento dos microtubos. Com o passar do tempo, o acúmulo de sais, partículas de argila, agentes biológicos e/ou outras impurezas causa a redução na capacidade do equipamento em aplicar as taxas necessárias, em razão da restrição de passagem de água nos microtubos.

Esses cuidados e procedimentos reduzem o risco ou retardam o processo de entupimento dos microtubos e estendem os intervalos de limpeza e manutenção necessários para que equipamento ofereça o desempenho previsto.

## Preparação do simulador de chuvas para as operações de avaliação a campo

Após a inserção dos anéis metálicos no solo, encaixa-se a mangueira de silicone para coleta do escoamento e por último são instalados, sobre os anéis, os infiltrômetros, já abastecidos. O preenchimento do infiltrômetro com água deve ser realizado somente depois que o infiltrômetro estiver posicionado sobre o anel cravado, evitando assim o contato dos microtubos com a superfície do solo, o que poderia acarretar entupimentos.

Uma vez abastecido, fecha-se rapidamente o tampão do flange localizado na placa superior e o gotejamento deve cessar; nesse momento, posiciona-se o infiltrômetro sobre o anel.

Para facilitar o reabastecimento dos infiltrômetros, sugere-se utilizar um conjunto de galões que possuam capacidade volumétrica ligeiramente superior à garrafa de Mariotte do infiltrômetro, com capacidade para até 25 litros.

Além disso, recomenda-se organizar previamente os acessórios para a coleta do escoamento próximo ao local, conforme ilustrado na Figura 22: uma mangueira siliconada de 50 cm, uma proveta com capacidade de 1.000 mL e os dois recipientes coletores, que serão dispostos dentro da trincheira no



solo, alternadamente em relação aos tempos de coleta. Também se faz necessário dispor de uma prancheta, caneta esferográfica, cronômetro e ficha de anotações de campo, conforme modelo sugerido na Figura 23 e, também, presente nos anexos.

Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 22.** Conjunto de acessórios para realização das avaliações de campo.

Fotos: Celso Daniel Seratto



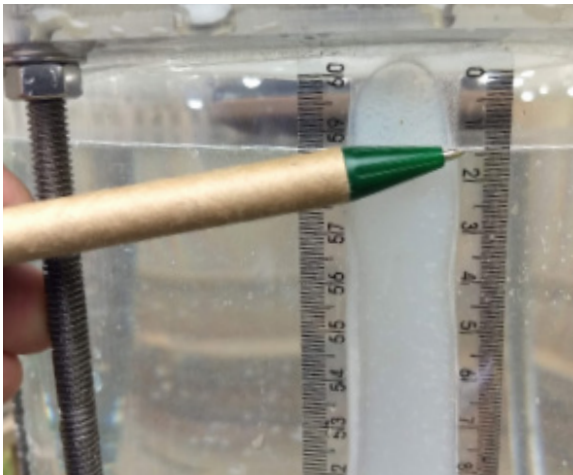
**Figura 23.** Ficha de anotações a campo e cronômetro para início do processo de avaliação.

Para melhorar a vedação do tampão superior, recomenda-se utilizar uma fita veda roscas. Com isso, evita-se o rosqueamento do tampão até o final do seu curso, permitindo que a abertura e o fechamento possam ser realizados manualmente pelo operador com um breve curso de voltas.

## A avaliação da taxa de infiltração com o infiltrômetro a campo

O processo de avaliação pode ser iniciado assim que a lâmina d'água se auto nivelar dentro da garrafa de Mariotte, anotando-se primeiramente a medida do nível d'água na régua fixada no lado externo (Figura 24). Essa altura da coluna d'água é anotada no campo correspondente ao tempo inicial (zero).

Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 24.** Altura da coluna d'água na régua externa à garrafa de Mariotte antes de começar a cronometragem de tempo.

Depois disso, abre-se o registro da válvula por completo quando se deseja operar com precipitações mais elevadas, cerca de 300 mm/h. Essa válvula, com 4 mm de diâmetro, está localizada no tampão superior, possuindo um microtubo em seu prolongamento que conduz o ar até as proximidades da placa inferior, conforme ilustrado nas Figuras 8 e 11. A contagem de tempo no cronômetro é iniciada em paralelo à abertura do registro dessa válvula.

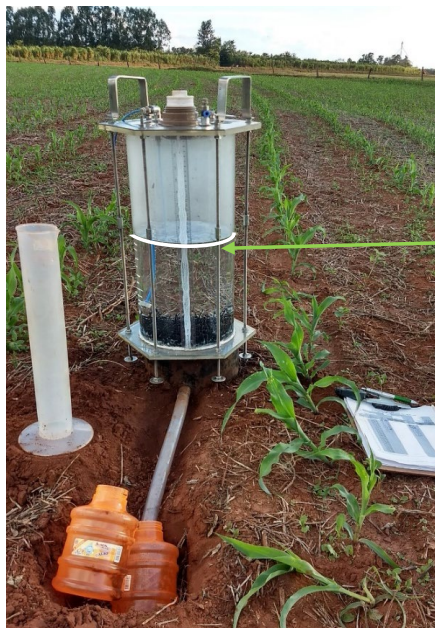
Também é possível aplicar intensidades de precipitação menores que 300 mm/h. Para isso, é preciso regular a abertura da válvula até que se obtenha a quantidade desejada de precipitação, anotando-se a diferença da altura na coluna d'água em um dado intervalo de tempo.

Para solos que apresentem altas taxas de infiltração, o que pode ocorrer sobretudo em solos arenosos ou sob vegetação nativa, pode ser necessário aplicar taxas de precipitação superiores a 300 mm. Neste caso, o procedimento envolve o fechamento da válvula de 4 mm de diâmetro, e a abertura e regulagem da válvula de 6 a 8 mm. Por meio dessa válvula, é possível atingir taxas de precipitação de até 600 mm/h.

À medida que a precipitação é aplicada e o nível d'água no interior da garrafa de Mariotte diminui, ocorre a entrada de ar através do microtubo conectado à válvula de 4 mm. Assim, a não formação de bolhas de ar na extremidade inferior do microtubo indica mau funcionamento do equipamento; neste caso, recomenda-se soprar levemente para facilitar a expulsão de água ou outro contaminante que eventualmente esteja localizado dentro do sistema.

Recomenda-se que os intervalos de tempo entre as leituras da altura da lâmina d'água na escala da régua sejam de 3 minutos. Essa operação deve ser realizada repetindo-se o mesmo padrão de observação, sempre pela vista no menisco inferior da lâmina, para que sejam corrigidas as distorções ópticas provocadas pelo efeito da tensão superficial da água na parede de acrílico da garrafa de Mariotte, conforme detalhes das Figuras 25 e 26.

Fotos: Celso Daniel Seratto



Leitura na régua é feita no menisco inferior da lâmina d'água

**Figura 25.** Detalhe da altura do nível d'água no simulador de chuvas.



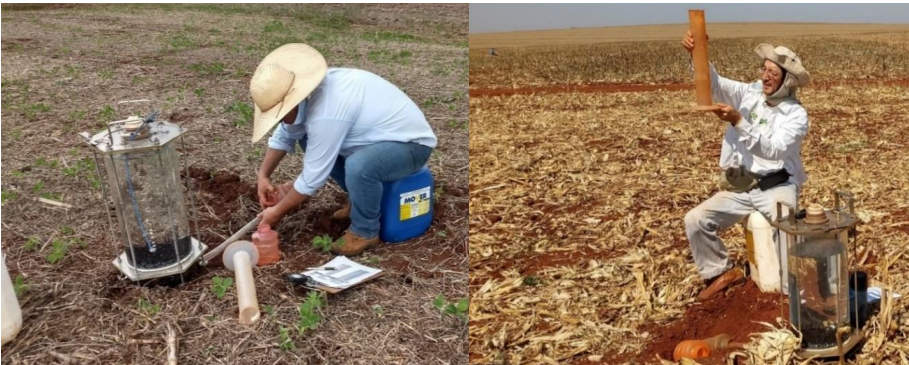


**Figura 26.** Leitura da altura da coluna d'água na régua do aparelho mediante a visualização do menisco inferior, realizada a cada 3 minutos.

Após um determinado período de tempo, variável conforme a umidade inicial, o tipo de solo e o manejo, o escoamento superficial iniciará, indicando que a taxa de infiltração observada se tornou igual à capacidade de infiltração. O tempo de início do escoamento deve ser anotado em campo específico da ficha de campo (Anexo II). Uma vez iniciado o escoamento, a medição do volume escoado deve ser feita, a exemplo da altura da lâmina d'água na garrafa de Mariotte, a cada 3 minutos. Atingido esse tempo, o recipiente coletor contendo a água do escoamento deve ser substituído pelo outro vazio. O volume da água coletada é medido com o auxílio de uma proveta graduada, com capacidade de até 1000 mL, conforme a Figura 27. Esse procedimento deve ser repetido até que a taxa de infiltração atinja um valor aproximadamente constante nas últimas cinco a sete medidas. Para facilitar essa verificação, nos Anexos III a VIII, são apresentadas tabelas de campo que mostram o valor da taxa de infiltração em função da variação da altura da coluna d'água na garrafa de Mariotte e do volume do escoamento, para um intervalo entre leituras de 3 minutos, considerando solos argilosos e arenosos e diâmetros do anel de 240, 250 e 260 mm. Ressalta-se que, se a taxa de precipitação aplicada for constante, é possível avaliar a constância da taxa de infiltração diretamente pelo volume escoado.

Portanto, são geralmente necessárias 15 a 20 leituras até que o escoamento se estabilize, o que demanda, em cada um dos pontos amostrais, um tempo de operação entre 45 e 60 minutos. Em situações em que os ensaios ocorrem em solo muito úmido, já próximo da saturação, a estabilidade do escoamento pode ser atingida em menos tempo; por outro lado, em solos muito secos e/ou permeáveis, a duração do ensaio pode ser mais longa. O mais importante é encerrar a avaliação apenas sob valor constante do escoamento nas últimas 5 leituras. Ressalta-se que, no caso de solos com alta permeabilidade e/ou mais secos, pode-se aumentar a taxa de precipitação com o uso do registro de 6 a 8 mm (Figuras 8 e 11), de modo a se atingir o valor estável em menos tempo.

Fotos: Celso Daniel Seratto



**Figura 27.** Detalhes da operação de substituição dos recipientes coletores do escoamento.

Na Figura 28 é apresentado um exemplo com uma ficha de anotações a campo completamente preenchida. Observa-se que, na coluna contendo as anotações em azul, estão registradas as sucessivas leituras na régua externa da garrafa de Mariotte, tomadas a cada 3 minutos. E, na coluna contendo os registros em vermelho, encontram-se as respectivas medidas do escoamento mensuradas com auxílio da proveta.

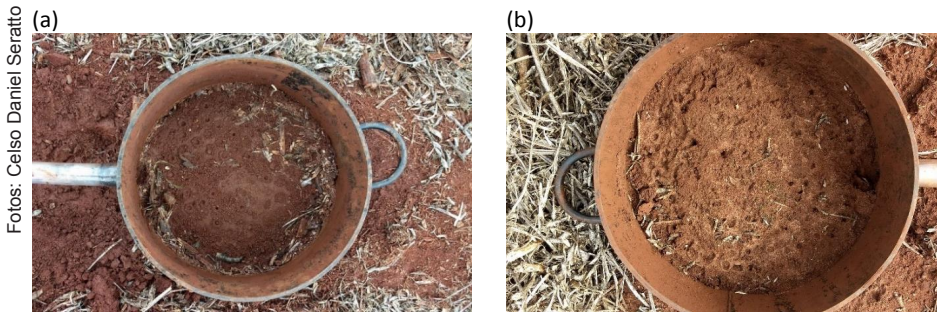
No campo, existem casos em que a avaliação da infiltração pode demorar mais de uma hora para que o escoamento atinja valor aproximadamente constante, correspondente à TIE, sendo necessário recarregar o simulador com água. Nesse caso, as anotações podem continuar do início da escala da medida observada na régua, sendo a diferença da medida entre os intervalos de tempo o dado mais importante a ser obtido, pois indica a taxa de precipitação aplicada. Em relação ao escoamento, nesse caso, nada muda.



EMA <sup>3</sup> ER		Embrapa		Avaliação da Capacidade de Infiltração de Água no Solo				GOVERNO ESTADUAL DO PARANÁ	
Coleta de Dados do Simulador de Chuvas / Infiltrômetro									
Profissional / Leitura:	Valdir Britschliari, Fernando Pattaro e Celso D. Se			Município:	Floresta		Região:	Maringá	
Produtor:	Luiz Yazaki e Dario Yoshida			Município:	Floresta		Propriedade:	Sede	
Propriedade / Talhão:	Talhão 3 - Sucessão Soja / Milho Saf. há 25 anos			Latitude e Longitude:	-23.643972, -52.101371		Data:	31 / jul / 2019	
Textura (% Argila):	67.3%	Textura (% Silte):	23.0%	% Superfície sem Tráfego	40.0%	% Superfície com Tráfego	60.0%	Coefficiente de	0.60
Tipo Solo:	Latossolo Vermelho Distroférrico			Número Infiltrômetro:	3	Diâmetro do Anel (mm):	250.0		
Ensaio / Repetição:	Ponto Amostral n° 14								
Leitura	tempo em hh:mm:ss (recomenda-se intervalos de 3 min)	Medida de Leitura da Régua (cm)	H - Coluna Aplicada (mm)	Chuva Equivalente (mm/h) *	Escoamento superficial - Medida Beker (ml)	Taxa Escoamento (mm/h) **	Taxa Infiltração (mm/h) **		
0	0:00	1.0	-	-	-	-	-	-	
1	0:03	2.6			430				
2	0:06	4.2			540				
3	0:09	5.8			560				
4	0:12	7.3			570				
5	0:15	8.8			560				
6	0:18	10.3			590				
7	0:21	11.8			560				
8	0:24	13.3			550				
9	0:27	14.8			580				
10	0:30	16.3			580				
11	0:33	17.8			570				
12	0:36	19.3			580				
13	0:39	20.8			580				
14	0:42	22.3			590				
15	0:45	23.8			590				
16	0:48	,							
17	0:51	,							
18	0:54	,							
19	0:57	,							
20	1:00	,							
21	1:03	,							
22	1:06	,							
23	1:09	,							
24	1:12	,							
25	1:15	,							
26	1:18	,							
27	1:21	,							
28	1:24	,							
29	1:27	,							
30	1:30	,							

Figura 28. Ficha de anotações a campo preenchida com os dados da medida da coluna d'água na régua e do escoamento superficial.

As situações diversas de uso do equipamento a campo demonstram que a aplicação de taxas elevadas de precipitação não tem influenciado os valores de TIE. O efeito do impacto das gotas que caem do infiltrômetro, localizado a poucos centímetros da superfície do solo, em solos argilosos e arenosos, são destacados nas Figuras 29a e 29b, respectivamente. Dessa maneira, não foram observados problemas com os eventuais selamentos ou encrostamentos induzidos pelo seu impacto – o que poderia interferir expressivamente na infiltração, conforme mostrado na Figura 5.



Fotos: Celso Daniel Seratto

**Figura 29.** Marcas do impacto das gotas de chuva que caem do simulador com taxa de chuva equivalente à 320 mm/h, em solo argiloso (a) e arenoso (b).

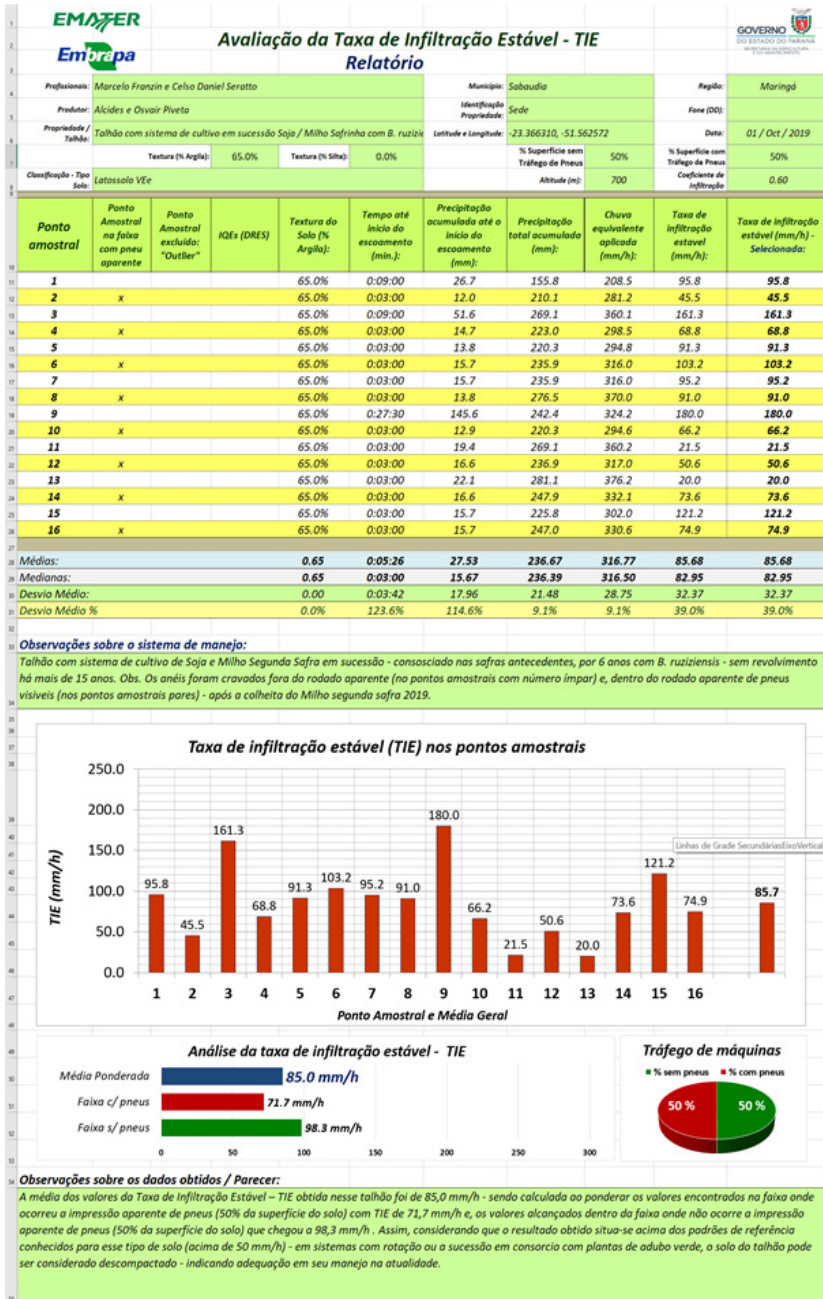
Finalmente, terminados os ensaios a campo, os dados coletados podem ser anotados no formulário do Anexo II, ou então digitados em planilha eletrônica para o cálculo da TIE ([clique aqui](#) para obter a planilha).

O preenchimento dessa planilha de cálculos deve se iniciar pelas células coloridas em verde, na aba “Cadastro”, seguindo, depois, para a digitação dos dados de cada ponto amostral na sua respectiva aba, p. ex.: “P(1)”; depois “P(2)”; e assim por diante.

O valor médio da taxa de infiltração d’água no solo nos pontos amostrais deve ser atribuído no devido campo indicado que consta ao final de cada uma dessas abas, naquela correspondente aos respectivos pontos amostrais. Para efeito de cálculo da TIE, recomenda-se utilizar a média da taxa de infiltração já corrigida com o coeficiente relativo ao tipo de solo e profundidade de inserção do anel (Tabela 1), com base nos 5 últimos registros de escoamento estáveis.

Por conseguinte, na aba “Resumo” são produzidos os gráficos e tabelas elaborados para auxiliar as análises. Nessa fase, é possível excluir eventuais resultados não conformes, considerados *outliers* – que fogem do padrão amostral obtido em outros pontos. Nessa aba também é possível segregar os dados dos pontos amostrais em duas categorias, podendo ser atribuídos aos pontos a sua respectiva localização “dentro do rodado” ou “fora do rodado” das máquinas, o que permite ponderar a obtenção das médias, melhorando a interpretação da realidade e do diagnóstico para fins de recomendações técnicas.

Por último, ao final da aba “Resumo”, é possível emitir o parecer técnico sobre os resultados encontrados, comparando-se os valores obtidos na área em questão com os padrões já conhecidos, apontando também peculiaridades encontradas na amostragem. A Figura 30 mostra um exemplo de relatório, resumo da avaliação realizada em um talhão de uma propriedade agrícola, manejado em SPD com uso da sucessão soja/milho 2<sup>a</sup> safra consorciado com *Urochloa ruziziensis* no inverno, há 6 anos.



**Figura 30.** Relatório contendo o resumo da avaliação da taxa de infiltração d'água no solo em talhão de uma propriedade agrícola.

## Manutenção e limpeza dos equipamentos

O sistema aspersor de água do infiltrômetro é a parte mais suscetível a danos, sejam eles provocados por impactos nas peças de acrílico, nos registros, nas válvulas ou na porção externa dos microtubos localizados na placa inferior, podendo inutilizar parcialmente ou individualmente tais componentes. Contudo, com exceção das partes acrílicas, os demais componentes podem ser facilmente substituídos e a possível inutilização de algumas unidades dos microtubos não comprometerá significativamente a capacidade de vazão do equipamento.

O sistema de microtubos também está sujeito a danos provocados pelo uso de águas duras ou contaminadas com detritos orgânicos ou argilas, causando entupimentos parciais ou totais até mesmo nas tubulações e válvulas.

Assim, a primeira medida para minimizar riscos de quebras e ocorrência de rachaduras na parte acrílica do aparelho consiste em tomar os devidos cuidados no manuseio, transporte e distribuição no talhão a ser avaliado, transportando e dispondo os infiltrômetros sempre na posição horizontal.

Por ocasião do abastecimento do infiltrômetro, é necessário certificar-se visualmente da limpidez e transparência da água, antes mesmo do preenchimento dos galões que transportarão a água até o campo. Do mesmo modo, é necessário evitar contaminações durante o manuseio das tampas dos galões e do infiltrômetro.

Também é indicado que, ao final de cada dia de operação a campo, a garrafa de Mariotte seja totalmente esgotada, com a abertura e retirada do parafuso de 6 mm localizado no tampão superior (Figura 11), o qual serve à drenagem total do sistema. Esse procedimento permite eliminar grande parte dos eventuais resíduos que possam ter entrado no sistema junto com a água de abastecimento.

O uso de águas contaminadas com resíduos orgânicos, argilas e outros contaminantes, ou ainda com elevados teores de sais dissolvidos, resultarão no entupimento dos microtubos aspersores e, conseqüentemente, em perdas significativas de vazão, o que será provavelmente verificado durante o uso subsequente do equipamento, utilizando-se os mesmos padrões de regula-

gem de vazão. Portanto, se esse for o caso, recomenda-se que se utilize ácido acético juntamente com uma solução detergente, além do uso posterior de ar comprimido a ser injetado nos microtubos pelo lado externo, para auxiliar na limpeza e remoção dos resíduos.

O procedimento indicado para limpeza com a solução ácida detergente é o seguinte, em ordem de execução:

- enxaguar a garrafa de Mariotte do infiltrômetro com água limpa.
- preencher a garrafa de Mariotte com água.
- deixar o tampão do bocal de abastecimento aberto, para que a água limpa flua sem restrição pelo sistema de microtubos até seu total escoamento.
- repetir esse procedimento por 3 vezes.
- preencher o simulador até a metade de sua capacidade com água limpa.
- adicionar cinco litros de ácido acético com a concentração de 6% pelo tampão superior.
- à parte, deve ser preparada a solução detergente, com 5 L de água limpa, 500 mL de detergente concentrado e 100 gramas de bicarbonato de sódio.
- verter a solução detergente para dentro da garrafa de Mariotte, fechando-se rapidamente o tampão superior. Desse modo, o resultado da mistura da água com o ácido, com o detergente e o bicarbonato de sódio produzirá uma reação química que provocará a expansão repentina do volume provocando um aumento da pressão interna no equipamento. Isso provocará a expulsão da solução através pelos microtubos sifonados localizados na placa inferior do infiltrômetro. É obrigatório o uso de luvas e protetor ocular durante esse procedimento a fim de evitar riscos de acidentes.
- enxaguar o simulador com água limpa por três vezes, para que a solução utilizada na limpeza seja removida por completo.
- colocar o infiltrômetro para secar, na posição horizontal, em local arejado ou até ao sol, com o tampão do bocal de abastecimento totalmente aberto.

Nos casos em que ocorram danos mais severos nos microtubos do infiltrômetro, o aparelho deverá ser desmontado para a substituição total do conjunto de microtubos. Será necessário reabrir os furos da placa inferior onde estão fixados esses microtubos, realizando a sua troca total, fixando-os com uma cola de silicone industrial.

A manutenção de rotina do infiltrômetro, caso não sejam constatados problemas graves de entupimento dos microtubos aspersores, exige apenas que ele seja lavado com solução de ácido acético, no final de cada período de uso ou a cada 6 meses. Após esse procedimento, o infiltrômetro deve ser colocado para secar e, na sequência, ser armazenado em local protegido.

Os anéis metálicos necessitam ser raspados logo após o uso diário, para a retirada do solo aderido. Naqueles casos onde a amostragem ocorre em solos com suspeita de ocorrência de nematoides ou outros agentes fitopatogênicos, recomenda-se que sejam lavados com detergente e solução a base de hipoclorito de sódio, antes do uso em outra área.

Os demais acessórios também devem ser enxaguados com água limpa após o uso diário, caso não haja suspeitas de contaminações biológicas. Havendo possibilidade de contaminação biológica, devem ser seguidos os mesmos procedimentos recomendados para os anéis metálicos.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Equipe do Instituto Emater e parceiros que colaboraram nos ensaios: Aguinaldo José Casagrande, Ailton Rojas Poppi, Alain Carneiro Zola, Edimilson Moreira, Edivan José Possamai, Eduardo Augustinho dos Santos, Eduardo Henrique Lima Mazzuchelli, Claudinei A. Minchio, Fabianderson José Baio de Souza, Fernanda Schubert Marques dos Reis, Fernando Pattaro, Flávio Antônio Degasperi da Cunha, Ivan Domingos Freitas, João Carlos Helbe, Jorge Luiz Rodrigues Valêncio, José Alberto de Mendonca, Katerine Elizabeth Brero, Luiz Marcelo Franzin, Matheus Carmo Vilarindo, Sandra Pereira, Sérgio Luiz Zafalon, Sílvio Cesar dos S. Ferrari e Walter Feichtinger Júnior.

Os autores agradecem à Equipe da Embrapa Soja que colaborou nos ensaios a campo: Donizete Aparecido Loni, Mariluci da Silva Pires e Ildefonso Acosta Carvalho.



## Referências

ALBA, P. J.; AMADO, T. J. C.; GIRARDELLO, V. C.; SCHOSSLER, D. S.; HORBE, T. A. N.; TRINDADE, B. S. Tráfego controlado em culturas de grãos no RS: princípios, desafios e resultados preliminares. **Revista Plantio Direto**, v. 122, p. 40-47, 2011.

ABREU, S. L.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Escarificação mecânica e biológica para redução da compactação em Argissolo franco-arenoso sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 519-531, 2004.

BALL, B. C.; BATEY, T.; MUNKHOLM, L. J. Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. **Soil Use and Management**, v. 23, p. 329-337, 2007.

BONETTI, J. de A.; ANGHINONI, I.; GUBIANI, P. I.; CECAGNO, D.; MORAES, M. T. de. Impact of a long-term crop-livestock system on the physical and hydraulic properties of an Oxisol. **Soil and Tillage Research**, v. 186, p. 280-291, 2019.

BONETTI, J. de A.; ANGHINONI, I.; MORAES, M. T. de; FINK, J. R. Resilience of soils with different texture, mineralogy and organic matter under long-term conservation systems. **Soil and Tillage Research**, v. 174, p. 104–112, 2017.

BRANDÃO, V. dos S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da. **Infiltração da água no solo**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 120 p.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Desafios à caracterização de solo fértil em manejo e conservação do solo e da água. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 6., 2006, Passo Fundo. **Fertilidade em solo... (re)emergindo sistêmica**: resumos e palestras. Passo Fundo: Embrapa Trigo: UFP, 2006. 8 p. 1 CD-ROM.

DERPSCH, R.; SIDIRAS, N.; ROTH, C. H. Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 8, p. 253-263, 1986.

DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. **Soil and Tillage Research**, v. 11, p. 199-238, 1988.

DEXTER, A. R. Amelioration of soil by natural processes. **Soil and Tillage Research**, v. 20, p. 87-100, 1991.



GOLDCHIN, A.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. A model linking organic matter decomposition, chemistry, an aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLET, R. F.; STEWART, B. (Ed.). **Soil process and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. p. 245-266.

GUIMARÃES, R. M. L.; BALL, B. C.; TORMENA, C. A. Improvements in the visual evaluation of soil structure. **Soil Use and Management**, v. 27, p. 395-403, 2011.

MORAES, M. T. de; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R. da; LUZ, F. B. da. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 155, p. 351-362, 2016.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, 1982. 364 p.

HORTON, R. E. An approach toward a physical interpretation of infiltration-capacity. **Soil Science Society of American Proceedings**, v. 5, p. 399-417, 1940.

NUNES, M. R.; SILVA, A. P. da; DENARDIN, J. E.; GIAROLA, N. F. B.; VAZ, C. M. P.; van ES, H. M.; SILVA, A. R. da. Soil chemical management drives structural degradation of Oxisols under a no-till cropping system. **Soil Research**, v. 55, p. 819-831, 2017.

OADES, J. M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, v. 56, p. 377-400, 1993.

OGDEN, C. B.; van ES, H. M.; SCHINDELBECK R. R. Miniature rain simulator for field measurement of soil infiltration. **Soil Science Society of American Journal**, v. 61, p. 1041-1043, 1997.

RALISCH, R.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; TOMAZI, M.; HERNANI, L. C.; MELO, A. da S.; SANTI, A.; MARTINS, A. L. da S.; BONA, F. D. de. **Diagnóstico rápido da estrutura do solo - DRES**. Londrina: Embrapa Soja, 2017. 63 p. (Embrapa Soja. Documentos, 390).

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

REYNOLDS, W. D.; ELRICK, D. E. Pondered infiltration from a single ring: I. Analysis of steady flow. **Soil Science Society of American Journal**, v. 54, p. 1233-1241, 1990.

ROLOFF, G.; LUTZ, R. A. T.; MELLO, I. **Índice de qualidade participativo do plantio direto**. Ponta Grossa: FEBRAPDP, 2011. 27 p. (Boletim técnico). Disponível em: <[https://febrapdp.org.br/download/publicacoes/BOLETIM\\_TCNICO\\_02.pdf](https://febrapdp.org.br/download/publicacoes/BOLETIM_TCNICO_02.pdf)>. Acesso em: 02 out. 2019.

SÁ, J. C. M.; SEGUY, L. ; SÁ, M.F.M. ; FERREIRA, A. O. ; BRIEDIS, C. ; SANTOS, J. B. ; CANALLI, L. B. S. Gestão da matéria orgânica e da fertilidade do solo visando sistemas sustentáveis de produção. In: PROCHNOW, L. I.; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Org.). **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. 1 ed. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute - Brasil (IPNI), 2010. p. 383-420.

SALTON, J. C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P. C.; FABRÍCIO, A. C.; MACEDO, M. C. M.; BROCH, D. L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários no Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 11-21, 2008.

SANTOS, R. D. dos; LEMOS, R. C. de; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C., SHIMIZU, S.H. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. rev. e ampl. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013. 100 p.

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

SPARKS, D. **Environmental soil chemistry**. London: Academic Press, 1995. 267 p.

van ES, H.; SCHINDELBECK, R.R. **Field procedures and data analysis for the Cornell Sprinkle Infiltrometer**. Ithaca: Cornell University, 2015. 13 p. (Department of Crop and Soil Sciences Research Series, R03-01). Disponível em: <<https://blogs.cornell.edu/healthysoil/files/2015/11/Cornell-Sprinkle-Infiltrometer-manual-1xf0snz.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2019.

## Anexo I

### Ficha de Cadastro – Avaliação da taxa de infiltração de água no solo

EMATER		Avaliação da Taxa de Infiltração Estável (TIE)				GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ		
Embrapa		Cadastro				SECRETARIA DE AGRICULTURA		
Profissionais:					Município:	Floresta	Região:	Maringá
Produtor:					Identificação Propriedade:	Sede	Fone (DD):	
Propriedade / Talhão:	Talhão com sistema soja/milho 2ª safra, consorciado com Aveia Preta (2016 e 2017) e com braquiária ruziziensis (2018 e				Latitude e Longitude:	-24.644664, -52.707547	Data:	01 / out / 2019
Textura (% Argila):	68.0%	Textura (% Silte):		% Superfície sem tráfego Pneus	40%	% Superfície com tráfego Pneus	60%	
Classificação - Tipo Solo:	Latossolo VEd			Altitude (m):	370	Coefficiente de Infiltração	0.60	
<b>Histórico da Área Avaliada:</b>								
<b>Safra 2016 / 2017</b>								
Cultura Verão Safra 2016/2017 (indicar):	Soja	Manejo - Mecânico no Preparo do Solo p/ Cultura Verão (indicar):		Manejo - Adubação Verde antecedendo a Cultura Verão (indicar):		Produtividade Cultura Verão Safra 2016/2017 (t/ha):		
Cultura Inverno Safra 2017 (indicar):	Milho + aveia preta	Manejo - Mecânico no Preparo do Solo p/ Cultura Inverno (indicar):		Manejo - Adubação Verde antecedendo a Cultura Inverno (indicar):		Produtividade Cultura Inverno Safra 2017 (t/ha):		
<b>Safra 2017 / 2018</b>								
Cultura Verão Safra 2017/2018 (indicar):	Soja	Manejo - Mecânico no Preparo do Solo p/ Cultura Verão (indicar):		Manejo - Adubação Verde antecedendo a Cultura Verão (indicar):		Produtividade Cultura Verão Safra 2017/2018 (t/ha):		
Cultura Inverno Safra 2018 (indicar):	Milho + braquiária ruziziensis	Manejo - Mecânico no Preparo do Solo p/ Cultura Inverno (indicar):		Manejo - Adubação Verde antecedendo a Cultura Inverno (indicar):		Produtividade Cultura Inverno Safra 2018 (t/ha):		
<b>Safra 2018 / 2019</b>								
Cultura Verão Safra 2018/2019 (indicar):	Soja	Manejo - Mecânico no Preparo do Solo p/ Cultura Verão (indicar):		Manejo - Adubação Verde antecedendo a Cultura Verão (indicar):		Produtividade Cultura Verão Safra 2018/2019 (t/ha):		
Cultura Inverno Safra 2019 (indicar):	Milho + braquiária ruziziensis	Manejo - Mecânico no Preparo do Solo p/ Cultura Inverno (indicar):		Manejo - Adubação Verde antecedendo a Cultura Inverno (indicar):		Produtividade Cultura Inverno Safra 2019 (t/ha):		
<b>Observações:</b>								
Talhão com sistema de cultivo de soja e milho segunda safra consorciado nas safras antecedentes, por 2 anos com aveia preta e, mais recentemente, por 2 anos com braquiária ruziziensis - sem revolvimento de solo há mais de 15 anos. Avaliação realizada após a colheita do milho segunda safra 2019. Obs. Os anéis foram cravados fora do rodado aparente (nos pontos amostrais com número ímpar) e, dentro do rodado aparente (nos pontos amostrais pares).								

## Anexo II

Ficha para anotação dos dados de campo obtidos com o infiltrômetro de aspersão de Cornell

EMAZER		Embrapa		Avaliação da Taxa de Infiltração Estável (TIE)				SINERGIA	
Coleta de dados do infiltrômetro de aspersão de Cornell									
Profissional / Leitura:		Município:		Região:		Propriedade:		Data:	
Produto:		Município:		Propriedade:		Data:		Data:	
Propriedade / Talhão:		Latitude e Longitude:		X Superfície sem Tráfego Pneu:		X Superfície com Tráfego Pneu:		Coeficiente de Infiltração:	
Textura (X Argila):		Textura (X Silte):		Número Infiltrômetro:		Diâmetro do Anel (mm):			
Tipo Solo:									
Escopo / Repetição:									
Leitura	tempo em hh:mm:ss (recomenda-se intervalos de 3 min)	Medida de Leitura da Régua (cm)	H - Coluna Aplicada (mm)	Chuva Equivalente (mm/h) *	Escoamento superficial - Medida Beker (ml)	Taxa Escoamento (mm/h)	Taxa Infiltração (mm/h)		
0	0:00	.	.	.	.	.	.	.	.
1	0:03	.	.	.	.	.	.	.	.
2	0:06	.	.	.	.	.	.	.	.
3	0:09	.	.	.	.	.	.	.	.
4	0:12	.	.	.	.	.	.	.	.
5	0:15	.	.	.	.	.	.	.	.
6	0:18	.	.	.	.	.	.	.	.
7	0:21	.	.	.	.	.	.	.	.
8	0:24	.	.	.	.	.	.	.	.
9	0:27	.	.	.	.	.	.	.	.
10	0:30	.	.	.	.	.	.	.	.
11	0:33	.	.	.	.	.	.	.	.
12	0:36	.	.	.	.	.	.	.	.
13	0:39	.	.	.	.	.	.	.	.
14	0:42	.	.	.	.	.	.	.	.
15	0:45	.	.	.	.	.	.	.	.
16	0:48	.	.	.	.	.	.	.	.
17	0:51	.	.	.	.	.	.	.	.
18	0:54	.	.	.	.	.	.	.	.
19	0:57	.	.	.	.	.	.	.	.
20	1:00	.	.	.	.	.	.	.	.
21	1:03	.	.	.	.	.	.	.	.
22	1:06	.	.	.	.	.	.	.	.
23	1:09	.	.	.	.	.	.	.	.
24	1:12	.	.	.	.	.	.	.	.
25	1:15	.	.	.	.	.	.	.	.
26	1:18	.	.	.	.	.	.	.	.
27	1:21	.	.	.	.	.	.	.	.
28	1:24	.	.	.	.	.	.	.	.
29	1:27	.	.	.	.	.	.	.	.
30	1:30	.	.	.	.	.	.	.	.
Médias									

\*Obs: Anotar o tempo onde se iniciou o escoamento superficial.















**Embrapa**

---

**Soja**