

Desenvolvimento e validação de um sistema de Tríplexes Anéis Concêntricos Semiautomatizados (TACS)



OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL

6 ÁGUA POTÁVEL
E SANEAMENTO



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

DOCUMENTOS 47

Desenvolvimento e validação de um sistema de Tríplexes Anéis Concêntricos Semiautomatizados (TACS)

*Divonzil Gonçalves Cordeiro
Daniel Pettersen Custódio
Célio Valentim Junior
Cláudio França Barbosa
Laura Paz Resplandez
Isabella Lopes Ribeiro*

***Embrapa Pesca e Aquicultura
Palmas, TO
2021***

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Pesca e Aquicultura
Avenida NS 10, Loteamento Água Fria,
Palmas, TO, Caixa Postal nº 90,
CEP 77008-900, Palmas, TO
Fone: (63) 3229-7800
Fax: (63) 3229-7800
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Unidade Responsável

Presidente
Daniel de Brito Fragoso

Secretário-Executivo
Diego Neves de Sousa

Membros
*Adriana Lima, Alexandre Uhlmann, Hellen Kato,
Jefferson Christofolletti, Lucas Simon Torati,
Rodrigo Estevam Munhoz de Almeida.*

Supervisão editorial
Embrapa Pesca e Aquicultura

Revisão de texto
Clenio Araújo

Normalização bibliográfica
Embrapa Pesca e Aquicultura

Tratamento das ilustrações
Jefferson Christofolletti

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Jefferson Christofolletti

Foto da capa
Alexandre Bacil Wosny

1ª edição
Versão eletrônica (2021)

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 Pesca e Aquicultura

Desenvolvimento e validação de um sistema de Tríplices Anéis Concêntricos
Semiautomatizados (TACS) / Divonzil Gonçalves Cordeiro... [et al.]. – Palmas,
TO: Embrapa Pesca e Aquicultura, 2021.
35 p. : il. – (Documentos / Embrapa Pesca e Aquicultura, ISSN 2318-1400; 47).

1. Relação solo-água. 2. Ferramenta. 3. Tecnologia. 4. Conservação da água. I.
Cordeiro, Divonzil Gonçalves. II. Embrapa Pesca e Aquicultura. III. Série.

CDD 631.70284

Autores

Divonzil Gonçalves Cordeiro

Engenheiro agrônomo, mestre em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas/TO.

Daniel Pettersen Custódio

Engenheiro agrônomo, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas/TO.

Célio Valentim Junior

Engenheiro eletricitista, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas/TO.

Claudio França Barbosa

Zootecnista, mestre em Ciências Veterinárias, analista da Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas/TO.

Laura Paz Resplandez

Engenheira ambiental, mestranda em Ciências do Ambiente pela Universidade Federal do Tocantins, Palmas/TO.

Isabella Lopes Ribeiro

Engenheira ambiental e sanitária, bolsista DTI/CNPq na Embrapa Pesca e Aquicultura, Palmas/TO.

Agradecimentos

Agradecimentos à Secretaria da Agricultura, Pecuária e Aquicultura do Estado do Tocantins (SEAGRO), pelo apoio técnico com a equipe da Diretoria de Tecnologia da Informação na construção do protótipo, particularmente na pessoa do Sr. Murillo V. Dourado Conciclieri Bastos, bacharel em Ciências da Computação.

Apresentação

A utilização da água doce, como um bem universal, tem sido alvo de muitos questionamentos por parte de representantes da sociedade civil, assim como tem sido também objeto de muitos estudos por pesquisadores das áreas agrícola e ambiental. Dentre as grandes preocupações, ressalta-se o fato de que as atividades agrossilvopastoris são responsáveis pelo consumo de aproximadamente 70% da água doce atualmente disponível no planeta.

O avanço da agricultura de *commodities* demanda sempre a utilização de grandes áreas para o desenvolvimento de suas atividades, alterando significativamente os modelos naturais de cobertura do solo. Resultados de pesquisa já comprovaram que, estas mudanças na cobertura vegetal do solo alteram significativamente os níveis de infiltração e armazenamento de água no solo, assim como influenciam nos níveis de reabastecimento do lençol freático. Também já estão sendo observadas alterações no regime pluviométrico de algumas regiões, resultantes das alterações na oferta de água pelos processos de evaporação do solo e transpiração das novas culturas que recobrem extensas áreas de agricultura.

Nesse sentido, as informações sobre as características hidrológicas do solo são imprescindíveis para ajustes nas recomendações de sistemas de manejo sustentáveis na agricultura. No entanto, a disponibilidade destas informações ainda não é suficiente, principalmente em função das dificuldades para sua obtenção. Assim, muitas recomendações utilizam dados resultantes de modelagem, tanto para subsidiar projetos de irrigação e drenagem, quanto para recomendações de manejo agrícola dos solos. Sendo assim, estes dados de campo ainda são essenciais, considerando a sua relevância para os ajustes destes mesmos modelos matemáticos.

Nesta publicação, apresentamos um modelo de equipamento denominado TACS (Sistema de Tríplex Anéis Concêntricos Semiautomatizados), desenvolvido para determinação da Velocidade Básica de Infiltração (VIB) de Água no Solo, tendo como base o mesmo princípio dos anéis concêntricos comumente utilizados em diversos trabalhos de pesquisa. As principais vantagens deste sistema são: a) facilidade de construção, operação e leitura; b) obtenção de dados equivalentes a 3 (três) repetições num menor espaço de tempo; c) dados de campo obtidos com maior nível de precisão.

O modelo apresenta significativa importância para o controle do abastecimento de aquíferos, fluxo nos corpos d'água e conservação da água na bacia hidrográfica. Assim, está alinhado ao compromisso da Embrapa em ofertar tecnologias que geram impactos positivos e regenerativos ao meio-ambiente e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 adotada pelos Estados Membros da ONU, em especial ao ODS 6: "Água Potável e Saneamento", referente a meta: 6.4 - Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.

Danielle de Bem Luiz

Chefe-geral da Embrapa Pesca e Aquicultura

Sumário

Introdução.....	11
Metodologias e equipamentos utilizados para determinação da VIB.....	12
Fatores que interferem no processo	12
Importância para elaboração de projetos de irrigação	13
Importância para o estudo e o acompanhamento da recarga dos aquífero	13
Material e Métodos	14
Justificativa para o desenvolvimento do Sistema TACS	14
Material para construção do Sistema TACS.....	15
Protocolo de utilização do Sistema TACS.....	17
Validação do sistema TACS em campo	24
Escolha do Modelo Matemático para validação dos dados	24
Resultados e Discussões	26
Considerações finais	31
Referências	31
Anexo	34

Introdução

O Cerrado brasileiro tem se caracterizado nos últimos anos como a principal fronteira agrícola em expansão, principalmente com o plantio de *commodities*, que por sua vez vem alterando significativamente as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, consequência natural resultante da implantação de quaisquer sistemas produtivos. Estas modificações no ambiente original, especialmente no solo, se justificam pela necessidade de se propiciar condições necessárias para o estabelecimento e a produção das plantas cultivadas. O que se observa é que estas modificações sistemáticas que acontecem nas propriedades intrínsecas do solo nem sempre ocorrem de forma sustentável. Para garantir áreas de produção agrícola e pecuária, no entanto, pesquisas que forneçam informações em microescala sobre estas alterações resultantes das mudanças na cobertura vegetal ainda são escassas.

A remoção da vegetação pelo desmatamento do Cerrado, seja ela total ou parcial, influencia diretamente na disponibilidade hídrica e modifica o comportamento hidrológico do solo, fato que é agravado pelo manejo inapropriado e pelo uso inadequado, além da não importância dada às características físicas do solo desconsideradas durante a implantação de diversos sistemas de cultivo (Silva et al., 2014). A intensidade das atividades agrícolas em sistemas de produção de baixa sustentabilidade afeta a dinâmica de água no solo, em função do aumento da densidade e da resistência do solo à penetração, da redução da porosidade e da estabilidade de agregados. Estas alterações são resultantes do aumento do tráfego de máquinas, da redução na diversificação de culturas, do uso de métodos de irrigação pouco eficientes, do excessivo pisoteio animal e também em função dos baixos teores de matéria orgânica presentes (Shah et al., 2017). Soma-se a isto o desconhecimento da resposta do solo às precipitações naturais, fato que também é fundamental na escolha do sistema de manejo adequado do solo, com vistas à redução da erosão e à manutenção do seu potencial produtivo.

Um dos pressupostos da sustentabilidade é a utilização de critérios que possam avaliar de forma correta as condições atuais do solo e, assim, recomendar práticas de manejo que possam restabelecê-las, conservá-las e até aprimorá-las, obtendo como resultado o que se denomina agricultura sus-

tentável. Dentre as propriedades físicas, considera-se como uma das mais importantes aquela que define o movimento da água no interior do solo, tendo em vista que permite interpretar os fenômenos que estão inter-relacionados, como a infiltração e a redistribuição de água no perfil, determinando assim a capacidade de armazenamento de água, essencial para o desenvolvimento das culturas (Carvalho, 2000).

De acordo com Pruski et al. (1997), as determinações da velocidade de infiltração de água devem ser feitas por métodos compreensíveis e capazes de representar corretamente as condições em que se encontra o solo. Para atender a esta premissa, torna-se necessário adotar métodos nos quais as determinações sejam baseadas em condições semelhantes àsquelas observadas em campo durante o processo ao qual o solo é submetido, uma vez que a taxa de infiltração é muito influenciada também pelas condições de superfície e pelo conteúdo de umidade do solo.

Metodologias e equipamentos utilizados para determinação da VIB

Para a determinação da velocidade básica de infiltração em campo, existem vários métodos e equipamentos, quais sejam: infiltrômetros de anéis concêntricos, infiltrômetro de aspersão ou simulador de chuvas, infiltrômetro de tensão, infiltrômetro de pressão, diversos modelos de permeâmetros, método da entrada-saída de água no sulco, método do balde sem fundo, entre outros (Bagarello et al., 2014). Esta informação é de difícil determinação em função da variabilidade espacial e temporal dos solos, assim como em função das inúmeras outras variáveis que podem interferir no processo.

Fatores que interferem no processo

Entre os fatores que interferem no processo de infiltração, destacam-se: as condições da superfície do solo, o conteúdo inicial de água no perfil do solo, o tempo de infiltração, a existência de camadas mais ou menos permeáveis ao longo do perfil, a topografia do terreno, além dos atributos relacionados à estruturação do solo, como a distribuição de poros, o teor de matéria orgânica, a textura e a densidade. Ainda, de acordo com Martins & Santos (2017), há ou-

tros fatores que podem influenciar na velocidade básica de infiltração, como a época de irrigação, a temperatura do solo e a cobertura vegetal. Almeida et al. (2014) citam ainda outros fatores, como a hidrofobicidade do solo, a ação de microrganismos e o efeito dos espaços vazios feitos por animais, insetos e até aqueles resultantes da decomposição de raízes.

Importância para elaboração de projetos de irrigação

Considerando a importância e o avanço da irrigação no desenvolvimento da agricultura em diversas regiões, determinar a velocidade de infiltração básica (VIB) é de fundamental importância para o dimensionamento destes projetos, não sendo menos importante nos projetos de drenagem e conservação do solo, tema que vem sendo amplamente estudado e para o qual ainda não existe um consenso geral e bem estabelecido sobre qual é a melhor técnica para a sua determinação (Mantovani et al., 2009; Vilarinho et al., 2013).

Importância para o estudo e o acompanhamento da recarga dos aquíferos

Por sua vez, Zhipeng et al. (2018) consideram a infiltração de água no solo como um dos mais importantes processos em função da conexão direta com o abastecimento de aquíferos, a manutenção do fluxo nos corpos d'água, além da conservação da água por mais tempo na bacia hidrográfica, o que pode se refletir na disponibilidade de água para as coberturas vegetais (Morais, 2012). Dessa forma, têm-se buscado maiores conhecimentos sobre as melhores condições de manejo, de modo a garantir maior sustentabilidade tanto na definição de sistemas integrados de produção, quanto na sustentabilidade ambiental, fator essencial nesta cadeia produtiva, avaliando nas diversas classes de solos e em diferentes manejos as principais características hidrológicas do solo.

Material e Métodos

Justificativa para o desenvolvimento do Sistema TACS

Existem vários métodos para determinação da velocidade básica de infiltração (VIB), tais como: infiltrômetros de anéis concêntricos, infiltrômetro de aspersão, permeâmetro, infiltrômetro de tensão e infiltrômetro de pressão, aspersores ou simuladores de chuvas, entrada-saída de água no sulco, método do balde sem fundo, entre outros (Bagarello et al., 2014). Apesar da diversidade de opções de equipamentos, para estas determinações o sistema de anéis concêntricos ainda é o de mais fácil utilização. O procedimento consiste em cravar no solo, até a profundidade de 15 cm, dois anéis concêntricos e medir periodicamente a lâmina infiltrada no anel menor, repondo continuamente a quantidade de água infiltrada, até que a taxa de infiltração se torne constante, momento no qual a velocidade obtida será considerada a velocidade básica de infiltração (Lopes et al., 2009).

A alta variabilidade espacial dos solos alerta sobre as dúvidas relacionadas à adequação de experimentos para determinar a taxa de infiltração da água no solo, especialmente quanto ao número de testes a serem realizados com qualquer método (Cichota et al., 2003). Em função da facilidade e da maior agilidade na execução, Vilarinho et al. (2019) utilizaram o infiltrômetro com anel simples nos seus ensaios, como determinado pela metodologia Beerkan. Mesmo assim, espera-se que esta determinação da velocidade básica de infiltração em solos argilosos poderá ser bastante demorada e cansativa, exigindo algumas vezes muitas horas de acompanhamento.

Considerando que o método dos anéis concêntricos ainda é o de mais fácil execução em campo, e também bastante utilizado nos ensaios de infiltração referenciados em inúmeras publicações especializadas, além de ainda ser uma das principais ferramentas utilizadas em universidades, optou-se pelo aperfeiçoamento deste sistema. A proposta é aumentar a quantidade de dados coletados em campo num menor espaço de tempo, minimizando os efeitos de diferentes variáveis, dentre as quais citam-se a temperatura da água utilizada no processo, as condições de temperatura e umidade do ambiente e

as variações na carga hidráulica, que, de acordo com Reynolds et al. (1990), pode interferir nos resultados obtidos.

O sistema TACS utiliza três conjuntos de anéis concêntricos, garantindo no mínimo três repetições, possibilitando maior rapidez na obtenção de dados em campo, consequentemente reduzindo custos nesta operação. Vale ainda ressaltar que os materiais para construção deste sistema TACS estão disponíveis para aquisição na maioria das lojas de materiais de construção.

Material para construção do Sistema TACS

A construção do sistema é bastante simples, tendo em vista que os materiais necessários são facilmente encontrados em casas de materiais de construção. Os materiais necessários para a montagem deste sistema estão listados na Tabela 1:

Tabela 1. Relação de materiais para construção e montagem do Sistema TACS.

Descrição dos materiais	Quantidade	Unidade
Tubo armazenador de água de pvc semelhante aos utilizados em sistemas de irrigação e drenagem urbanos, medindo 2,0 m de comprimento, com diâmetro interno de 30 cm e espessura de paredes de 3 mm.	3	peças
CAP de pvc no mesmo diâmetro dos tubos armazenadores.	3	unidade
Fita métrica medindo 1,50 m.	3	unidade
Mangueira transparente com diâmetro de 5/16".	6	metro
Abraçadeira de 1/2".	6	unidade
Anel concêntrico construído em chapa de ferro galvanizado de 3 mm, diâmetro de 30 cm, com preparação em bisel na parte inferior.	3	unidade
Anel concêntrico construído em chapa de ferro galvanizado de mm, diâmetro de 50 cm, com preparação em bisel na parte inferior.	3	unidade
Nípel de ferro galvanizado de 3/4" com roscas	6	unidade
Emenda T em latão de 1/4"	6	unidade
Mangueira de 3/4"	60	metro

Continua...

Continuação.

Descrição dos materiais	Quantidade	Unidade
Mangueira de 3/4"	45	metro
Mangueira de 1" com extensão de 10 m	10	metro
Registro de 3/4" de pvc	6	unidade
Registro de 1" de pvc	2	unidade
Conjunto de engate rápido com rosca interna de 3/4"	7	unidade
Conjunto de engate rápido com rosca interna de 1"	3	unidade
Redução com rosca interna em pvc de 1" x 3/4"	1	unidade
Redução com rosca interna em pvc de 3/4" x 1/2"	6	unidade
Curva longa com rosca interna em pvc de 1/2"	12	unidade
Luva de redução com rosca interna em pvc 3/4" x 1/2"	6	unidade
Nípel rosqueável em pvc de 1/2"	18	unidade
Cruzeta de ferro galvanizado de 3/4"	1	unidade
Boia rosqueável de 1/2"	6	unidade
Reservatório externo para abastecimento dos anéis externos com capacidade mínima de 500 L	1	unidade
Rolo de fita veda rosca	1	caixa
Cola para pvc	1	tubo
Prancheta	3	unidade
Cronômetro	3	unidade
Nível de pedreiro	1	unidade
Vigote de madeira resistente 0,15 x 0,15 x 1,0 m	1	unidade
Marreta de 3 kg	1	unidade
Chave de fenda pequena	1	unidade
Balde plástico com capacidade de 20 L	3	unidade
Manta plástica medido 60 x 60 cm	3	unidade
Suporte para sobreposição dos tubos armazenadores de água	1	unidade
Registro de dados (Anexo)	3	ficha

Protocolo de utilização do Sistema TACS

O princípio de funcionamento é basicamente o mesmo dos anéis concêntricos. No entanto, a proposta é proporcionar os resultados com três repetições para aumentar o número de informações obtidas em campo, controlar a carga hidráulica do sistema e facilitar o processo de leitura (Figura 1) pelo operador, minimizando a ocorrência de erros nos processos de registro da infiltração de água.



Foto: Divonzil Gonçalves Cordeiro

Figura 1. Demonstração da facilidade de leitura durante o processo de infiltração de água.

A instalação dos acessórios hidráulicos no sistema TACS requer um procedimento bastante cuidadoso antes do início dos trabalhos. Para isso, faz-se necessário seguir rigorosamente o protocolo sugerido abaixo, dividido em duas etapas, de modo a otimizar o tempo de instalação e preparo dos equipamentos, assim como garantir a segurança da operação, identificando quaisquer possíveis vazamentos que poderiam interferir nos resultados, como segue:

Etapa 1. Preparação dos tubos armazenadores:

Passo 1. Os tubos armazenadores de água (Figura 2A) utilizados neste sistema não são encontrados em quaisquer mercados ou lojas de materiais hidráulicos. Normalmente, são utilizados pelas empresas de saneamento urbano, que podem apoiar na aquisição destas peças, tendo em vista que é sistemático o descarte deste material após algum tempo de uso, podendo ser obtidos por doação.

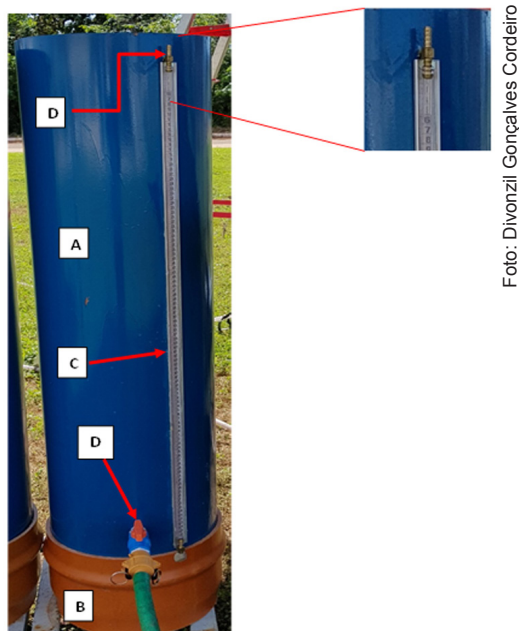


Foto: Divonil Gonçalves Cordeiro

Figura 2. Tubo armazenador (A) com fita métrica e mangueira de leitura (C), registro (D), mangueiras de alimentação (F) e CAP (B) instalados.

Passo 2. Adquirir os CAPs (Figura 2B) necessários para a vedação de um dos lados de cada um dos tubos armazenadores.

Passo 3. Com a utilização de brocas, preparar os locais para fixação dos nípeis de ferro galvanizado de 3/4" na parte inferior dos tubos armazenadores, fixados com colas especiais, deduzindo a altura a ser ocupada pelo CAP após a sua instalação, para posterior instalação dos registros de saída de água (Figura 2C).

Passo 4. Afixar os CAPs em um dos lados dos tubos armazenadores.

Passo 5. Colar as fitas métricas longitudinalmente (Figura 2D) em cada um dos tubos armazenadores, logo acima dos registros, com comprimento mínimo de 1,5 m, ou de acordo com a altura do tubo alimentador, respeitando o limite superior 5 cm abaixo das bordas.

Passo 6. Inserir sob pressão as emendas “T” de latão de 1/4” (Figura 2D) 3 cm acima do final da fita métrica (Figura 2E) para posterior conexão das mangueiras transparentes de 5/16” utilizadas para leitura do nível d’água infiltrado.

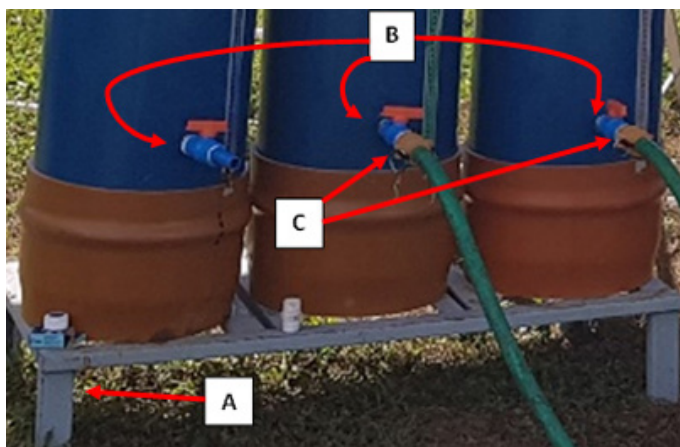


Foto: Divonzil Gonçalves Cordeiro

Figura 3. Conjunto de anéis concêntricos com nipeis de ferro galvanizado (A) já devidamente soldados.

Passo 7. Adquirir, sob encomenda, os 3 conjuntos de anéis concêntricos com os diâmetros de 30 e 50 cm (Figura 4) respectivamente em tornearias especializadas, solicitando ao mesmo tempo a soldagem dos nipeis de ferro galvanizado de 3/4” em cada um dos anéis, 3 cm abaixo da borda superior (Figura 3A).

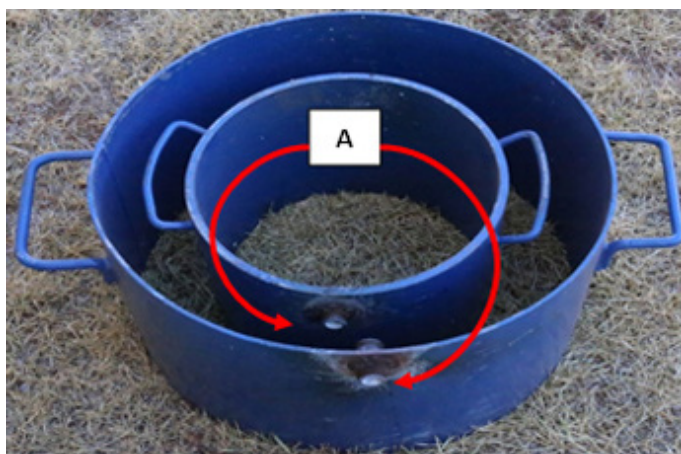


Foto: Divonzil Gonçalves Cordeiro

Figura 4. Conjunto de anéis concêntricos com nipeis de ferro galvanizado (A) já devidamente soldados.

Etapa 2. Definir os locais de instalação dos diversos componentes do sistema TACS:

Passo 1. Escolher o ponto mais elevado do relevo, considerando que o fornecimento de água no sistema será por gravidade.

Passo 2. Afixar no solo o suporte dos tubos já devidamente nivelado.

Passo 3. Colocar os tubos armazenadores devidamente nivelados sobre o suporte.

Passo 4. Instalar os registros em cada um dos tubos.

Passo 5. Providenciar o abastecimento de água para estabilização dos tubos em campo e detecção de possíveis vazamentos.

Passo 6. Conectar as mangueiras de 20 m nos registros do tubo com os engates rápidos.

Passo 7. Esticar as mangueiras já instaladas em diferentes direções, sempre considerando como referência a parte frontal dos tubos armazenadores, optando pelo maior distanciamento possível para instalação dos anéis concêntricos.

Passo 8. Instalar os conjuntos de anéis concêntricos nos pontos finais das mangueiras já esticadas em campo.



Foto: Divonzi Gonçalves Cordeiro

Figura 5. Conjunto de anéis concêntricos com nipeis de ferro galvanizado (A) já devidamente soldados.

Passo 9. Providenciar a limpeza na área de instalação dos anéis, removendo toda a cobertura existente, sem provocar grandes alterações na superfície do solo.

Passo 10. Cravar os anéis ao solo utilizando a vigote de madeira e uma marreta de 3 kg, observando a posição dos pontos de conexão das respectivas mangueiras.

Obs: caso o solo esteja demasiadamente seco, sugere-se que seja efetuado um umedecimento antes de cravar os anéis, sob pena de provocar rachaduras na superfície que prejudicariam os dados a serem obtidos. Neste caso, recomenda-se adiar a avaliação por no mínimo 24 h.

Passo 11. Instalar os componentes hidráulicos dos conjuntos de anéis (Figura 5), cuidando para que as instalações estejam devidamente vedadas com a utilização de fita veda rosca.



Foto: Divonzil Gonçalves Cordeiro

Figura 6. Conjunto 1 de anéis concêntricos com todas as instalações hidráulicas instaladas, pronto para utilização.

Passo 12. Conectar as mangueiras de abastecimento nos anéis internos.

Passo 13. Conectar as mangueiras de 15 m nos anéis externos, esticando-as numa mesma direção para definir a localização do depósito de água que abastecerá os anéis externos.

Passo 14. Posicionar os reservatórios que abastecerão os anéis externos na posição indicada, considerando sempre que o abastecimento da água será por gravidade.

Passo 15. Efetuar a forração do anel interno com as mantas plásticas.

Passo 16. Posicionar os baldes de 20 L abastecidos próximos a cada um dos anéis externos.

Passo 17. Liberar o fornecimento de água dos tubos armazenadores para os anéis internos até a estabilização da carga hidráulica definida pelas boias.

Obs: após a estabilização da lâmina de água no anel interno, realizar checagem para detecção de possíveis vazamentos.

Passo 18. Reabastecer os tubos armazenadores até o nível inicial da régua de leitura.

Passo 19. Preparar as fichas de registro com todas as informações necessárias (Anexo).

Passo 20. Iniciar o processo de infiltração com o auxílio de assistente, liberando o registro do tubo armazenador, abastecendo com a água do balde o anel externo e retirando a manta de revestimento do anel interno e abrindo os registros do conjunto de anéis para automatização do abastecimento.

Passo 21. Repetir a operação para o segundo conjunto 15 min depois.

Passo 22. Repetir a operação para o terceiro conjunto 30 min depois do início das avaliações.

Obs: na possibilidade de estarem disponíveis outros assistentes de campo, as liberações poderão ser simultâneas, acelerando as avaliações.

Passo 23. No momento em que ocorrerem três medidas de infiltração com os mesmos intervalos de tempo, o procedimento para este tubo armazenador estará concluído. Mesmo procedimento deverá ser adotado para os demais conjuntos.

Obs: Para abastecimento deste sistema, considerando as dificuldades e a necessidade de pronta disponibilidade de água, foi construída uma carreta tanque reboque com capacidade para 2.000 litros, com as necessárias instalações hidráulicas, possibilitando as operações em quaisquer localidades, desde que acessíveis ao trânsito de veículos (Figura 7).



Figura 7. Carreta tanque com instalações hidráulicas para abastecimento de água no sistema TACS.

Validação do sistema TACS em campo

O trabalho foi conduzido no Centro Agrotecnológico de Palmas - Agrotins, em Palmas/TO. O clima é classificado, de acordo com Köppen como Aw – quente e úmido (tropical chuvoso), com chuvas no verão e seca no inverno (sub-seca no mês de agosto). A temperatura média mensal varia entre 18 e 39 °C, correspondendo a uma amplitude de aproximadamente 21 °C, e os índices pluviométricos médios anuais encontram-se em faixas de 1000 a 2000 mm. A área do ensaio foi caracterizada como vegetação de Cerrado em recuperação após desmatamento e o solo foi classificado como Neossolo Quartzarênico. As coordenadas UTM do local das avaliações são 22 L 789.200 m E e 8849566 m S, conforme demonstrado na Figura 8.



Figura 8. Imagem demonstrando o local destas avaliações.

Fonte: Google Earth Pro

Escolha do Modelo Matemático para validação dos dados

Considerando a relevância destes dados para orientação de manejos mais sustentáveis e tendo em vista as dificuldades na sua obtenção, pesquisadores propõem diversos modelos matemáticos, que devem ser testados para diferentes solos e regiões, que facilitem a obtenção desse atributo do solo. Cunha et al. (2009) concluíram que os modelos de Kostiakov e Horton foram semelhantes do ponto de vista estatístico. Posteriormente Carvalho et

al. (2015), nos seus experimentos, concluíram ser a metodologia proposta por Horton a mais eficiente. Em novos estudos, Cunha et al. (2015) concluíram que a metodologia proposta por Kostiakov expressou melhor o processo de infiltração. Neste processo de validação do sistema TACS, optou-se pelo modelo proposto por Kostiakov descrito por Prevedello (1996), que se mostrou bastante ajustado aos dados coletados em campo, onde os parâmetros utilizados não têm significado físico próprio, são avaliados a partir de dados experimentais e foram representados pela equação exponencial a seguir:

$$I = k \cdot T^n \quad \text{equação 1}$$

I= lamina infiltrada no tempo (cm) | T= tempo de infiltração (min)
K e n= constantes dependentes do solo

Este modelo é limitado à situação em que há disponibilidade de dados de infiltração observados para a determinação dos parâmetros K e n, pois os mesmos são calculados com base nos dados experimentais coletados em campo. Para determinar os coeficientes e os expoentes das equações potenciais, utilizou-se o método de regressão linear. Aplicados os logaritmos nos dois lados da equação potencial, tem-se a seguinte equação:

$$\log I = \log k + \log T \quad \text{equação 2}$$

Verifica-se assim como resultado uma equação da reta do tipo:

$$I = A + Bn \quad \text{equação 3}$$

onde:

$$n = (\sum xy - (\sum x \cdot \sum y)/N) / (\sum x^2 - (\sum x)^2/N) \quad \text{equação 4}$$

Y= log I | A= log k | B= n | X= logT | N= número de leituras

Os valores Y e X são obtidos a partir da média dos valores de infiltração e tempo. O valor de A é obtido por meio da manipulação da equação 3.

$$A = Y - BX \quad \text{equação 5}$$

Aplicando o antilog de A determina-se o valor de k. A partir da derivação da equação 1, obteve-se a equação que define a velocidade de infiltração (VI):

$$VI = n \cdot k \cdot T^{n-1} \quad \text{equação 6}$$

onde:

VI= taxa de infiltração de água no solo (cm.h⁻¹) | T= tempo de infiltração (min)
K= constante dependente do solo | n= constante dependente do solo (variando de 0-1)

Resultados e Discussão

Os dados de campo coletados estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, assim como os valores da Infiltração Acumulada (cm) e da Velocidade de Infiltração (cm.h⁻¹) calculados pelo modelo matemático proposto por Kostiakov.

Tabela 2. Valores da Infiltração Acumulada (I), em cm, e da Velocidade de Infiltração (VI), em cm.h⁻¹, obtidos pelo método do Sistema TACS no Conjunto 1.

Hora Leituras	Intervalo Leituras	Tempo Acumulado	Leitura Régua	Dados de Campo		Dados calculados pelo Modelo de Kostiakov	
				I	VI	I	VI
(hh:mm)	(min)	(min)	(cm)	(cm)	(cm.h ⁻¹)	(cm)	(cm.h ⁻¹)
10:30	0	0	3,0				
10:31	1	1	5,5	2,5	150,0	2,0	73,7
10:32	1	2	6,0	3,0	30,0	3,0	56,7
10:33	1	3	7,0	4,0	60,0	3,9	48,6
10:34	2	5	7,5	4,5	30,0	4,7	43,6
10:36	2	7	8,5	5,5	30,0	6,0	37,3
10:38	2	9	9,5	6,5	30,0	7,2	33,5
10:40	3	12	10,5	7,5	30,0	8,3	30,8
10:43	3	15	11,5	8,5	20,0	9,7	27,8
10:46	3	18	13,3	10,3	36,0	11,1	25,7
10:49	5	23	14,5	11,5	24,0	12,3	24,1
10:54	5	28	17,0	14,0	30,0	14,2	22,1
10:59	5	33	19,5	16,5	30,0	16,0	20,5
11:04	10	43	21,6	18,6	25,2	17,7	19,3
11:14	10	53	21,6	23,3	28,2	20,7	17,5
11:24	10	63	31,0	28,0	28,2	23,5	16,2

Tabela 3. Valores da Infiltração Acumulada (I), em cm, e da Velocidade de Infiltração (VI), em cm.h⁻¹, obtidos pelo método do Sistema TACS no Conjunto 2.

Hora Leituras	Intervalo Leituras	Tempo Acumulado	Leitura Régua	Dados de Campo		Dados calculados pelo Modelo de Kostiakov	
				I	VI	I	VI
(hh:mm)	(min)	(min)	(cm)	(cm)	(cm.h ⁻¹)	(cm)	(cm.h ⁻¹)
10:00	0	0	3,0				
10:01	1	1	8,0	5,0	300,0	3,7	150,1
10:02	1	2	9,5	6,5	90,0	5,9	119,4
10:03	1	3	11,0	8,0	90,0	7,8	104,4
10:04	1	4	12,4	9,4	84,0	9,5	95,0
10:06	2	6	14,2	11,2	54,0	12,4	83,1
10:08	2	8	16,0	13,0	54,0	15,0	75,5
10:10	2	10	18,4	15,4	54,0	17,5	70,2
10:13	3	13	20,9	17,9	72,0	20,8	64,3
10:16	3	16	23,2	20,2	50,0	23,9	60,1
10:19	3	19	27,2	24,2	46,0	26,8	56,8
10:24	5	24	31,8	28,8	80,0	31,4	52,5
10:29	5	29	35,8	32,8	52,2	35,6	49,4
10:34	5	34	43,9	40,9	48,0	39,6	46,8
10:44	10	44	51,9	48,9	97,2	47,1	43,0
10:54	10	54	60,0	57,0	48,0	54,0	40,2
11:04	10	64	71,9	68,9	71,4	60,5	38,0
11:19	15	79	83,7	80,7	47,2	69,7	35,4
11:34	15	94	95,6	92,6	47,6	78,3	33,5

Tabela 4. Valores da Infiltração Acumulada (I), em cm, e da Velocidade de Infiltração (VI), em cm.h^{-1} , obtidos pelo método do Sistema TACS no Conjunto 3.

Hora Leituras	Intervalo Leituras	Tempo Acumulado	Leitura Régua	Dados de Campo		Dados calculados pelo Modelo de Kostiakov	
				I	VI	I	VI
(hh:mm)	(min)	(min)	(cm)	(cm)	(cm.h^{-1})	(cm)	(cm.h^{-1})
10:40	0	0	3,0				
10:41	1	1	5,8	2,8	168,0	2,5	111,4
10:42	1	2	7,7	4,7	114,0	4,2	92,3
10:43	1	3	8,8	5,8	66,0	5,7	82,7
10:45	2	5	10,8	7,8	60,0	8,2	72,0
10:47	2	7	12,7	9,7	57,0	10,5	65,7
10:49	2	9	14,6	11,6	57,0	12,6	61,4
10:52	3	12	17,2	14,2	52,0	15,6	56,7
10:55	3	15	20,0	17,0	56,0	18,3	53,4
10:58	3	18	22,7	19,7	54,0	20,9	50,8
11:03	5	23	27,0	24,0	51,6	25,0	47,6
11:08	5	28	31,5	28,5	54,0	28,9	45,1
11:13	5	33	35,8	32,8	51,6	32,6	43,1
11:23	10	43	44,6	41,6	52,8	39,5	40,1
11:33	10	53	53,4	50,4	52,8	46,0	37,9
11:43	10	63	62,2	59,2	52,8	52,1	36,2

A representação da infiltração acumulada e da velocidade de infiltração da água no solo obtidos a partir da utilização do modelo proposto por Kostiakov estão apresentados nas Figuras 9, 10 e 11.

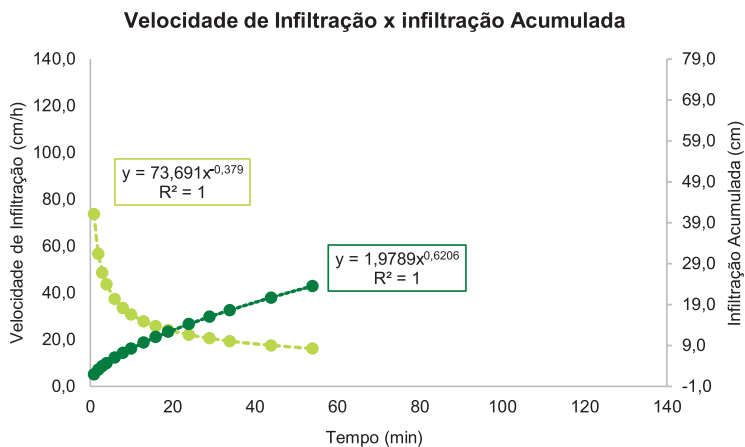


Figura 9. Velocidade de Infiltração x Infiltração Acumulada no Conjunto 1.

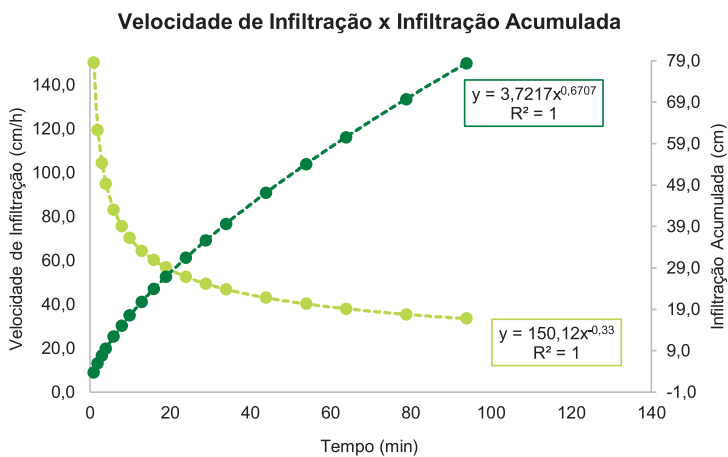


Figura 10. Velocidade de Infiltração x Infiltração Acumulada no Conjunto 2.

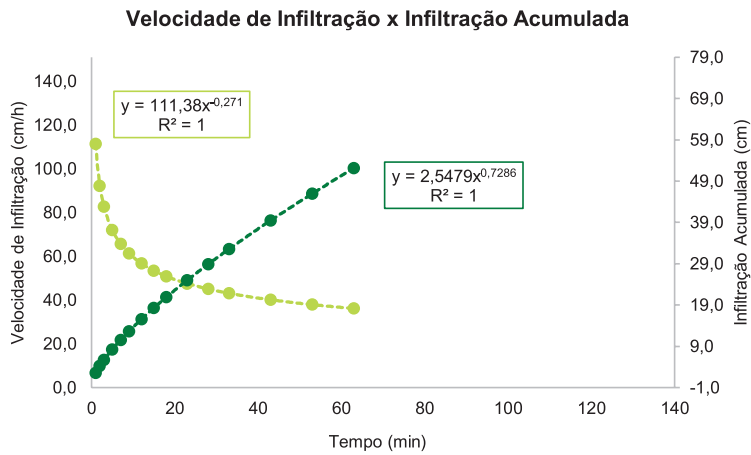


Figura 11. Velocidade de Infiltração x Infiltração Acumulada no Conjunto 3.

Os dados obtidos, depois de ajustados pelo modelo de Kostiakov, determinaram os valores da Infiltração Acumulada, da Velocidade Básica de Infiltração (VIB), assim como a definição das respectivas equações da Infiltração Acumulada e da Velocidade de Infiltração para este solo, cujos valores estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Valores da Infiltração Acumulada (I), em cm, e da Velocidade de Infiltração (VI), em cm.h⁻¹, obtidos pelo método do Sistema TACS no Conjunto 1.

	Equações			
	Infiltração Acumulada (cm)	VIB (cm.h ⁻¹)	Infiltração (cm)	Velocidade de Infiltração (cm.h ⁻¹)
Conjunto 1	23,5	16,2	$I = 1,979.T^{0,6206}$	$VI = 73,6909.T^{-0,3794}$
Conjunto 2	78,3	33,5	$I = 3,737.T^{0,6696}$	$VI = 150,1475.T^{-0,3304}$
Conjunto 3	52,1	36,2	$I = 2,548.T^{0,7286}$	$VI = 111,3817.T^{-0,2714}$

De acordo com Bernardo et al. (2008), em solos arenosos a velocidade pode variar de 25 a 250 mm.h⁻¹, no entanto, os resultados obtidos neste trabalho demonstram a potencial variabilidade considerando que alguns resultados foram ainda superiores para o solo Neossolo Quartzarênico. Os valores da velocidade básica de infiltração encontrados definem o solo como alta e muito alta velocidade de infiltração.

Considerações finais

Com o sistema de determinação da capacidade de infiltração de água no solo utilizando anéis concêntricos adaptado denominado TACS, juntamente com carreta tanque construída, é possível realizar avaliações em praticamente qualquer região, obtendo sempre no mínimo três repetições.

O tempo necessário para instalação dos equipamentos em campo foi monitorado em várias simulações, e o resultado médio obtido ficou definido em 40 min.

A facilidade na realização de leituras de infiltração possibilitou que, após o início do processo em todos os conjuntos do sistema, somente um operador fosse necessário para monitorar todo o conjunto.

Os resultados obtidos ratificam as variações da infiltração de água em função das variabilidades intrínsecas do solo, mesmo em áreas bastante reduzidas, confirmando a necessidade de sempre realizar repetições nestes trabalhos para obtenção de resultados significativos.

Os valores encontrados para a velocidade básica de infiltração foram 16,2 cm.h⁻¹, 33,5 cm.h⁻¹ e 36,2 cm.h⁻¹, o que classifica o solo como de muito alta capacidade de infiltração, o que é compatível com a textura franco arenosa dos neossolos quartazarênicos.

Referências

- ALMEIDA, A. Q.; RIBEIRO, A.; RODY, Y. P.; SILVA, W. C. M.; LEITE, F. P. Modeling of water infiltration in soil cultivated with Eucalyptus and pasture. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 148 – 153, 2014.
- BAGARELLO, V.; BAIAMONTE, G.; CASTELLINI, M.; DI PRIMA, S.; LOVINO, M. A comparison between the single ring pressure infiltrometer and simplified falling head techniques. **Hydrol Process**, v.28, p.4843–4853, 2014.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 625p.
- CARVALHO, H.O.G. **Física dos solos**. 1. ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 173p.
- CARVALHO, D. F. de; EDUARDO, E. N.; ALMEIDA, W. S. de; SANTOS, L. A. F.; ALVES SOBRINHO, T. Water erosion and soil water infiltration in different stages of corn development and tillage systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1072- 1078, 2015.

CICHOTA, R.; JONG VAN LIER, Q.; LEGUIZAMÓN ROJAS, C. A. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.5, p.789-798, 2003.

CUNHA, J. L. X. L.; ALBUQUERQUE, A. W.; SILVA, C. A.; ARAÚJO, E.; SANTOS, R. B. J. Velocidade de infiltração da água em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 1, p. 199- 205, 2009.

CUNHA, J. L. X. L.; COELHO, M. E. H.; ALBUQUERQUE, A. W. de; SILVA, C. A.; SILVA JUNIOR, A. B. da; CARVALHO, I. D. de. Water infiltration rate in Yellow Latosol under different soil management systems. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 11, p. 1021- 1027, 2015.

LOPES, J.D.S.; LIMA, F. Z. de; OLIVEIRA, F.G. **Irrigação por aspersão convencional**. Viçosa, MG: UFV: Aprenda Fácil. 2009. 133 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009. 355 p.

MARTINS, F.P.; SANTOS, E.L. Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo. **Acta Iguazu**, v.6, n.4, p.28-40, 2017.

MORAIS, F. Infiltração – uma variável geomorfológica. **Caderno de Geografia**, v.22, n. 38, p.73-97, 2012.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: UFPR, 1996. 446 p.

PRUSKI, F. F.; VENDRAME, V.; OLIVEIRA, E. F. de; BALBINO, L. C.; FERREIRA, P. A.; WERLANG, L.; CARVALHO, L.T. Infiltração de água num latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.1, p.77-84, 1997.

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

SHAH, S.N.; MOHSIN, T.; SHAHZAD, B.; GUOZHENG, Y.; SHAH, F.; SAIF, A.; MUHAMMAD, A.B.; SHAHBAZ, A.T.; ABDUL, H.; BIANQKHAM, S. Soil compaction effects on soil health and crop productivity: an overview. **Environmental Science and Pollution Research**, v.24, n.11, p.10056- 10067, 2017.

SILVA, N.F.; CUNHA, F.N.; OLIVEIRA, R.C.; CABRAL FILHO, F.R.; TEIXEIRA, M.B.; CARVALHO, J.J. Características físico-hídricas de um Latossolo sobre diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.8, n.5, p.375-390, 2014.

SILVA, N. F.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R.; MORAIS, W. A.; CUNHA, E. S.; ROQUE, R. C.; ALVES, D. K. M.; TEIXEIRA, M. B. Métodos para estimativa da infiltração de água em um Latossolo sob plantio direto e convencional. **Global Science Technology**, v.10, n.1, p.169-176, 2017.

VILARINHO, M.K.C.; KOETZ, M.; SCHLICHTING, A.F. Determinação da taxa de infiltração estável de água em solo de cerrado nativo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.7, n.1, p.17-26, 2013.

VILARINHO, M.K.C.; NASCIMENTO, J.C.; SILVA, T.J.A. da; ISQUIERDO, E.P.; CALDEIRA, D.S.A.; OLIVEIRA, C.P. Velocidade de infiltração básica de um plintossolo pétrico situado em

áreas de pastagem e cerrado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n.2, p. 3336 - 3345, 2019.

ZHIPENG, L.; DONGHAO, M.; WEI, H.; XUELIN, L. Land use dependent variation of soil water infiltration characteristics and their scale-specific controls. **Soil & Tillage Research**, v.178, p.139-149, 2018.

Anexo

Ficha de coleta de dados em campo para o sistema TACS.

FICHA DE CAMPO PARA COLETA DE DADOS DE INFILTRAÇÃO COM ANÉIS CONCÊNTRICOS							
Local de coleta:		Município:		Instituição:			
Data de coleta:			Coletada por:				
Coordenadas geográficas UTM							
Classe de solo:							
Cobertura do solo:							
Área Nativa:							
Área Antropizada:		Número Amostra					
		Profundidade					
Nº Dados	Intervalo entre leituras		Intervalo de tempo	Tempo acumulado	Leitura régua		Infiltração acumulada
	HH:MM	(minutos)	I_t (minutos)	T_{ac} (minutos)	Instantânea (cm)	Diferença (cm)	I_a (cm)
	08:00	00:01	0	0			
1	08:01	00:01	1	1			
2	08:02	00:01	1	2			
3	08:03	00:02	1	3			
4	08:05	00:02	2	5			
5	08:07	00:02	2	7			
6	08:09	00:03	2	9			
7	08:12	00:03	3	12			
8	08:15	00:03	3	15			
9	08:18	00:05	3	18			
10	08:23	00:05	5	23			
11	08:28	00:05	5	28			
12	08:33	00:10	5	33			
13	08:43	00:10	10	43			
14	08:53	00:10	10	53			

Continua...

Continuação.

Nº Dados	Intervalo entre leituras		Intervalo de tempo	Tempo acumulado	Leitura régua		Infiltração acumulada
			I_t	T_{ac}	Instantânea	Diferença	I_a
	HH:MM	(minutos)	(minutos)	(minutos)	(cm)	(cm)	(cm)
15	09:03	00:15	10	63			
16	09:18	00:15	15	78			
17	09:33	00:15	15	93			
18	09:48	00:30	15	108			
19	10:18	00:30	30	138			
20	10:48	00:30	30	168			
21	11:18	00:30	30	198			
22	11:48	00:30	30	228			
23	12:18	00:30	30	258			
24	12:48	00:30	30	288			



Pesca e Aquicultura

MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL

CGPE 017123