



Capítulo 14

Dinâmica da água em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta*

*Marcus Giese
Sarah Glatzle
Folkard Asch*

*Roberto Giolo de Almeida
Manuel Claudio Motta Macedo
Mariana Pereira*

* Tradução livre da língua inglesa para a língua portuguesa realizada por Davi J. Bungenstab com consentimento dos autores. Para acesso ao texto original em inglês, favor contatar os editores.

Introdução

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) oferecem opções promissoras de uso da terra para enfrentar os desafios previstos para sistemas de produção agrícola do futuro, mais especificamente a crescente demanda por produção de alimentos e uma gestão sustentável do uso da terra. No entanto, para se chegar a uma visão abrangente de como os sistemas de ILPF se comportam ecologicamente e em um contexto socioeconômico, precisamos de estudos de campo com análises aprofundadas. Um aspecto importante que até agora tem recebido pouca atenção, é a forma como os sistemas de uso da terra com ILPF afetam a dinâmica da água no solo. Preencher essa lacuna de conhecimento parece ambicioso, pois esses sistemas aparecem em múltiplas características, combinando diferentes componentes de lavouras, árvores, forrageiras e animais em diversos ambientes e sob gerenciamento que apresenta diversas variações. No entanto, para avançar na busca de opções de implementação dos sistemas de ILPF com intensificação sustentável, precisamos aumentar nosso conhecimento sobre como os recursos hídricos são afetados. Utilizando estudos de campo realizados em sistemas de ILPF estabelecidos em Campo Grande (MS), este capítulo aborda alguns desafios relacionados à análise da dinâmica da água em sistema de ILPF.

Os sistemas integrados de uso da terra têm sido frequentemente projetados não somente para diversificar, mas também para aumentar a produtividade agrícola. Comparados à monocultura, esses sistemas são conhecidos por seu potencial de melhorar a resiliência, ou seja, a adaptação ou resistência a situações extremas e com menor impacto ambiental e na produção. Por esse motivo, atualmente os sistemas de integração são frequentemente discutidos como uma opção para a intensificação sustentável no contexto de segurança alimentar e estabilidade ambiental (Morales et al. 2013, Lemaire et al. 2014).

A água é um dos recursos mais importantes para seres humanos, animais e plantas. Mas sua disponibilidade reduzida em muitos sistemas de uso da terra em todo o mundo, tanto em termos de quantidade quanto de qualidade, está ameaçando cada vez mais nossos sistemas agroecológicos. Como base para decisões futuras, precisamos melhorar nosso entendimento sobre o desempenho de nossos sistemas de produção em relação ao uso da água. É necessário admitir que ainda existem lacunas consideráveis de conhecimento sobre sistemas integrados e seu balanço hídrico.

Por um lado, essa falta de informações precisas pode ser devida a interações relativamente complexas dos componentes de ILPF que afetam a dinâmica da água, o que torna difícil seu estudo. Isso exige uma abordagem abrangente de medição e uma análise cuidadosamente realizada. Por outro lado, muitos sistemas integrados foram estabelecidos em áreas que recebem chuvas suficientes para apoiar o crescimento da vegetação. Assim, a água nem sempre é considerada um recurso limitante em sistemas de ILPF em comparação com outros fatores, como nutrientes, temperatura, luz ou competição biológica entre as espécies utilizadas. No entanto, nos últimos anos, as mudanças climáticas estão desafiando cada vez mais nossos sistemas de produção agrícola de várias maneiras e, também, os sistemas de ILPF precisam atender às demandas da agricultura adaptada ao clima, chamada "climate smart agriculture", que poderia ser traduzida como uma agricultura inteligente.

Devido à ocorrência mais frequente de períodos de seca mais extensos, mesmo durante a estação chuvosa, os chamados veranicos, a falta de água é um sério desafio relacionado às mudanças climáticas. Por esse motivo, os produtores estão muito interessados em aprender mais sobre a resiliência dos sistemas de ILPF contra as secas e como as opções de gestão para economia de água podem ser aplicadas para reagir a essas crises. É importante também lembrar que não apenas a escassez de água está se tornando cada vez mais um desafio para a agricultura. Eventos de inundação após chuvas de alta intensidade podem ter um poder destrutivo ainda mais forte que uma seca severa.

Por isso, muitos fatores precisam ser considerados ao estudar-se a dinâmica da água de um sistema de produção agrícola. Alguns deles são bastante evidentes, como o padrão climático local ou regional, que certamente é o fator dominante. O padrão de chuva local, que é a principal via de entrada de água nos sistemas, é composto pela distribuição anual e a intensidade dos eventos individuais de chuva. O fator climático precipitação é complementado pela temperatura do ar, radiação solar e dinâmica do vento, que afetam substancialmente as perdas de água para a atmosfera. As propriedades do solo, como por exemplo, tipo de solo, textura e topografia, são outros componentes naturais não-biológicos importantes. Em combinação com as práticas de cultivo, esses fatores desempenham um papel essencial tanto para a capacidade de retenção de água no solo quanto para os fluxos de água no solo. Esses fluxos podem ser laterais (escoamento superficial, interfluxo) ou verticais (percolação, drenagem e evapotranspiração).

Além desses fatores, a gestão é um dos fatores mais importantes a ser considerado na análise da dinâmica da água; a seleção de culturas e animais a serem combinados em sistemas de ILPF afeta grandemente os fluxos de matéria e, conseqüentemente, os processos ecológicos, incluindo as vias da água. A densidade de árvores e as práticas silviculturais como desramas e desbastes, a adubação e a intensidade de pastejo dos animais, bem como a duração do sistema, afetarão a dinâmica da água direta e indiretamente. Por exemplo, a altura das árvores e a densidade de seu plantio influenciam na quantidade de radiação solar recebida pelas plantas do sub-bosque e pela superfície do solo. Conseqüentemente, o sombreamento reduzirá a entrada de energia e alterará o microclima sob o dossel, o que certamente afetará o crescimento das plantas e a captação de água. Características morfológicas variáveis das copas das árvores também funcionam como uma superfície adicional de interceptação e potencialmente de redistribuição das chuvas. A pecuária adiciona outro fator substancial a ser considerado para a dinâmica da água no local. A redução da biomassa do capim, a redistribuição de nutrientes e o impacto mecânico do pisoteio do gado ou outros herbívoros afetam quase todos os processos ecológicos com potencial impacto na dinâmica da água. Como os sistemas de ILPF são encontrados nos mais variados tipos de combinações de espécies, práticas de manejo e ambientes naturais, é fácil imaginar a complexidade crescente com a qual estamos lidando no contexto da dinâmica da água.

Tratando-se desses estudos, a competição biológica interespecífica e outras interações são um dos fatores mais difíceis de se tratar dentro de um balanço hídrico. Árvores e gramíneas ou plantas herbáceas são tradicionalmente consideradas antagonistas naturais, geralmente, com gramíneas se beneficiando do armazenamento de água da camada superior do solo, em contraste com as árvores, cujas raízes atingem camadas

mais profundas do solo e geralmente aproveitam os recursos hídricos subterrâneos (Sarmiento et al. 1984). Utilizando-se uma abordagem ecológica simplificada, pode-se dizer que as gramíneas dominam em áreas mais secas, enquanto as árvores se tornam mais dominantes ao longo de gradientes onde a precipitação vai aumentando.

No caso do Brasil, a zona agroecológica do ecossistema natural chamado Cerrado cobre cerca de 2 milhões de km² do País (www.mma.gov.br/cerrado). Esse ecossistema geralmente recebe entre 1000 a 2000 mm de chuva por ano, com um período seco de até cinco meses. No Cerrado, árvores e espécies herbáceas formam uma coexistência natural que tem variações temporais e espaciais. Estudos recentes revelaram que as interações das árvores com as camadas herbáceas dos ecossistemas de savana neotropicais são mais complexas do que o esperado em relação aos recursos hídricos (Goldstein et al. 2008). O fenômeno da redistribuição da água nos perfis do solo por meio de sistemas de enraizamento acionados por gradientes de pressão hidráulica é certamente de alto interesse a ser considerado e estudado no contexto de sistemas de uso da terra em integração.

Devido às razões mencionadas anteriormente, não pretendemos dar uma resposta completa e definitiva a perguntas tais como se os sistemas de ILPF são mais resistentes a crises como secas ou inundações em comparação com outros sistemas de uso da terra. No entanto, dentro de condições especificadas, podemos apontar vantagens ou desvantagens em potencial desses sistemas. Porém, essas suposições e hipóteses precisam continuar sendo verificadas e testadas em campo, a fim de melhorar nossa compreensão da dinâmica da água dos sistemas, que como dito anteriormente, é afetada por diferentes componentes humanos e naturais. Por esse motivo, as medições relacionadas à dinâmica da água no solo devem ser sempre complementadas por informações detalhadas sobre propriedades do solo, clima, vegetação e práticas de uso da terra.

O trabalho realizado, materiais e métodos utilizados

Em cooperação com Embrapa Gado de Corte, a Universidade de Hohenheim, Alemanha, conduziu um trabalho de avaliações nos campos experimentais da Embrapa Gado de Corte em Campo Grande, MS, usando parcelas experimentais de ILPF em um Latossolo Vermelho (Oxisol), de textura argilosa. O manejo do solo obedeceu ao critério de rotação de culturas com o plantio de soja (2008/2009) seguidos de três anos de pastagem. O solo foi corrigido com calcário para neutralizar a acidez e foi usado fertilizante com macro e micronutrientes para a soja e anualmente na utilização da pastagem, de acordo com as recomendações da Embrapa. O objetivo foi analisar a dinâmica espacial e temporal da água no solo de um sistema de ILPF de 7-8 anos de estabelecimento. Durante a coleta de dados, o sistema de ILPF consistia de pastagem (*Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã) entre fileiras de árvores de eucalipto (*Eucalyptus urograndis*, Clone H13) plantadas em linhas simples, a -20,41°S e -54,71°O em relação ao eixo Leste-Oeste, com 2,0 m entre árvores e 22 m entre fileiras de árvores, resultando em 227 árvores/ha (Figura 1). As árvores apresentavam altura média de 25 m durante o estudo. A umidade do solo foi monitorada semanalmente com uma sonda de perfil FDR (Frequency Domain Reflectance) PR2/6 da Delta-T.

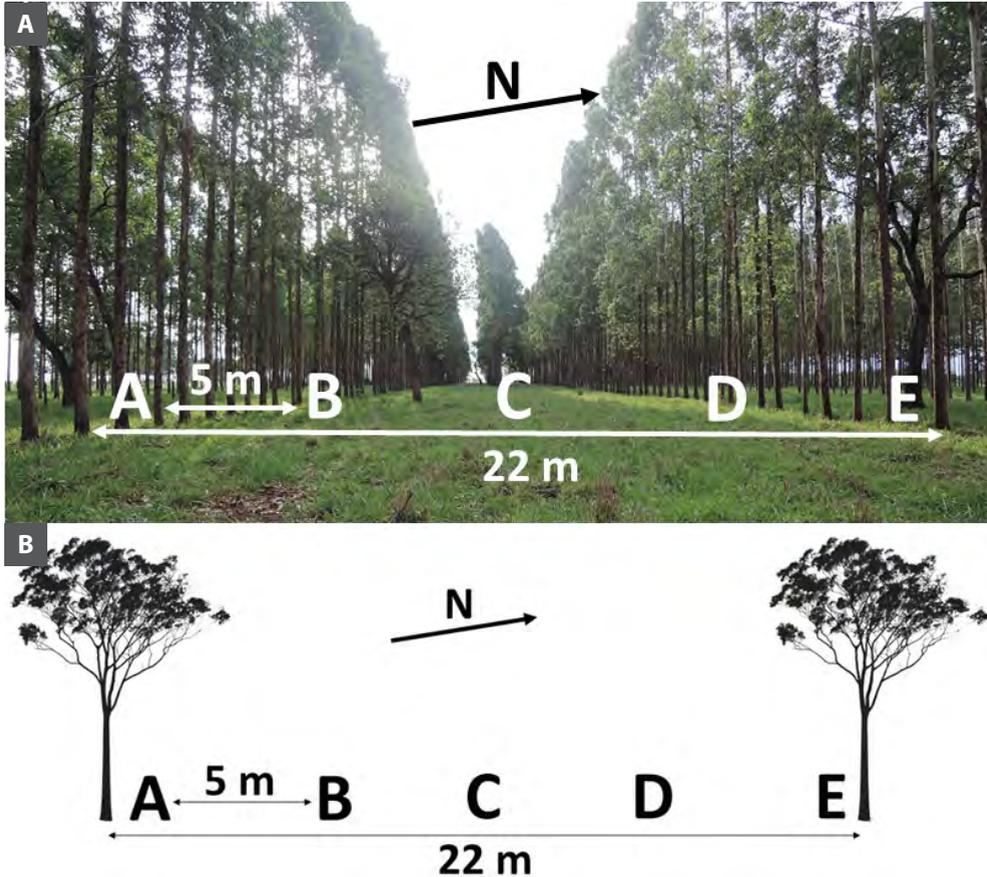


Foto: Sarah Glaztle

Figura 1. A) Foto da configuração do campo experimental onde foi realizada a amostragem; B) Desenho esquemático do campo experimental com destaque para os pontos amostrais.

As medições foram realizadas em uma linha de cinco pontos de amostragem, com os pontos tendo uma distância igual entre si (de A a E), alocados entre as linhas das árvores para representar o gradiente de sombreamento do sub-bosque (Figura 1). Além disso, a precipitação e a temperatura foram monitoradas por estação meteorológica próxima, operada pela Embrapa. Foi mensurada a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), assim como a produção de biomassa da forrageira, nos cinco pontos de amostragem descritos (Figura 2). Essas foram medidas mensalmente ao longo do gradiente de sombra. Todos os dados foram coletados por um período de dois anos, 2015-2016, incluindo ambas as estações climáticas, chuvosa e seca.



Foto: Mariana Pereira

Figura 2. Gaiola de exclusão para medição de biomassa da forrageira.

A sonda de perfil PR2/ 6 mede a umidade volumétrica do solo ($\text{cm}^3/100 \text{ cm}^3$) aos 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm 60 cm e 100 cm de profundidade (Figura 3). O medidor portátil HH2 (Figura 6 e 7) gera um sinal de 100 MHz quando energia é aplicada. O sinal é aplicado ao par de anéis sensores de aço inoxidável, que transmitem um campo eletromagnético que se estende por cerca de 10 cm no solo. O teor de água do solo ao redor dos anéis sensores controla sua permissividade. A permissividade é uma medida da resposta de um material a uma polarização em um campo eletromagnético. A água tem uma permissividade de 81, enquanto que o solo e o ar têm uma permissividade de 4 e 1, respectivamente. A permissividade do solo tem, portanto, uma forte influência no campo aplicado, resultando em uma saída de voltagem estável que atua como uma medida simples e sensível da umidade do solo. Ao fazer a leitura, a sonda FDR é inserida nos tubos de acesso (Figura 3, parte inferior), que devem ser instalados no solo em cada ponto de medição com brocas específicas (Figura 4). O campo eletromagnético passa facilmente pelo tubo de acesso, mas não tão facilmente por quaisquer bolsas de ar. Portanto, os tubos de acesso devem ser instalados com cuidado no solo, usando o equipamento apropriado para assim evitar bolsas de ar ao redor dos tubos de acesso, que corromperiam as leituras. Os tubos de acesso são tubos de fibra de vidro de parede fina especialmente construídos, que maximizam a penetração do campo eletromagnético no solo circundante.

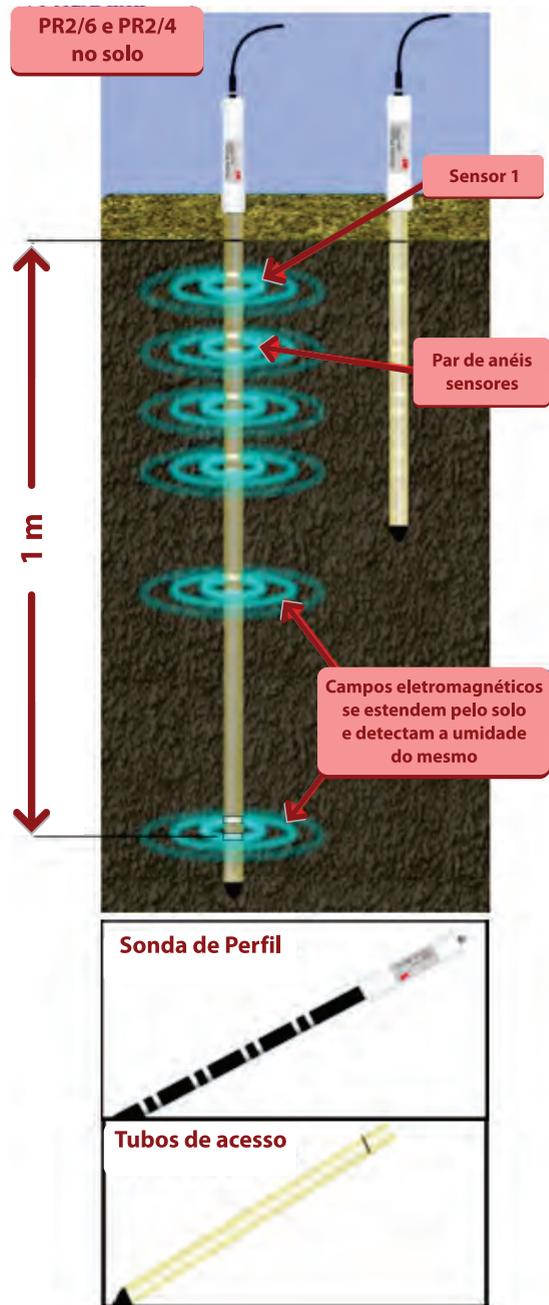


Figura 3. Ilustração da sonda de perfil FDR no solo.

Foto: Mariana Pereira



Figura 4. Instalação do tubo de acesso para sonda de perfil FDR em dezembro de 2015 na área experimental.



Figura 6. Ilustração do medidor portátil HH2 conectado à sonda de perfil FDR.

Foto: Mariana Pereira



Figura 7. Leitura de umidade do solo com medidor HH2 portátil conectado à sonda de perfil na área experimental.



A



B



C

Figura 5. (A) Detalhe da sonda de perfil instalada no solo e com gaiola protetora de pisoteio; (B) Detalhe da sonda na fileira de árvores; (C) Alocação das sondas em pontos equidistantes entre as fileiras de árvores.

Fotos: Mariana Pereira

Resultados

Clima: o clima no período do estudo mostrou distribuição característica das chuvas em uma savana tropical do hemisfério Sul, com as maiores quantidades entre novembro e maio e uma estação seca de junho a outubro (Figura 8A). A quantidade total de chuva recebida durante o ano foi de 1550 mm e a temperatura média foi de 24 °C.

Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA): os resultados mostraram variações muito altas de entrada de radiação ao longo das estações do ano no local do estudo, localizado a 20° 25'S (Figura 8B). A posição central (C) entre as fileiras de árvores, como esperado, recebe as maiores quantidades de radiação durante o verão do hemisfério Sul (em média, > 1200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), onde a radiação solar atinge a superfície a 90°. A maior inclinação ocorre perto do solstício de verão. Para o solstício de inverno, todos os pontos do gradiente recebem comparativamente baixa entrada de energia via radiação (em média, 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), principalmente devido ao sombreamento das copas das árvores resultantes da menor inclinação do sol. No entanto, a entrada de radiação próxima às fileiras das árvores foi cerca de três vezes maior durante o inverno em comparação ao verão, enquanto que nas posições centrais ocorreu o contrário (Figura 8B). A figura 9 ilustra o sombreamento nas duas estações e na transição entre as mesmas.

Água: as medidas com o pluviômetro revelaram que a interceptação de chuva pelo dossel das árvores não influenciou nas quantidades de chuva recebidas ao longo do gradiente de pontos entre as árvores. No entanto, o teor de água na camada superior do solo foi, em média, 5 a 8 % menor nos pontos próximos das linhas das árvores em comparação com as posições centrais (Figura 8C). A diferença diminuiu durante a estação seca. As diferenças na umidade do solo entre a estação chuvosa e a estação seca nos mesmos pontos de amostragem foram de até 10 %, mas apenas os pontos de amostragem próximos às fileiras das árvores estavam se aproximando do ponto de murcha durante a estação seca, que é um forte indicador de estresse hídrico sofrido pelas plantas.

Produção de biomassa: a biomassa aérea da forrageira (acima do solo) atingiu seu pico durante a estação chuvosa, com o dobro da quantidade nas posições centrais, em comparação com os pontos de amostragem próximos às linhas das árvores (Figura 8D). A biomassa verde foi fortemente reduzida durante a estação seca no gradiente entre as linhas das árvores, mas ainda assim foi duas vezes maior nas posições centrais. A Figuras 10 ilustra o estado da produção de biomassa na área experimental nas estações chuvosa e seca.

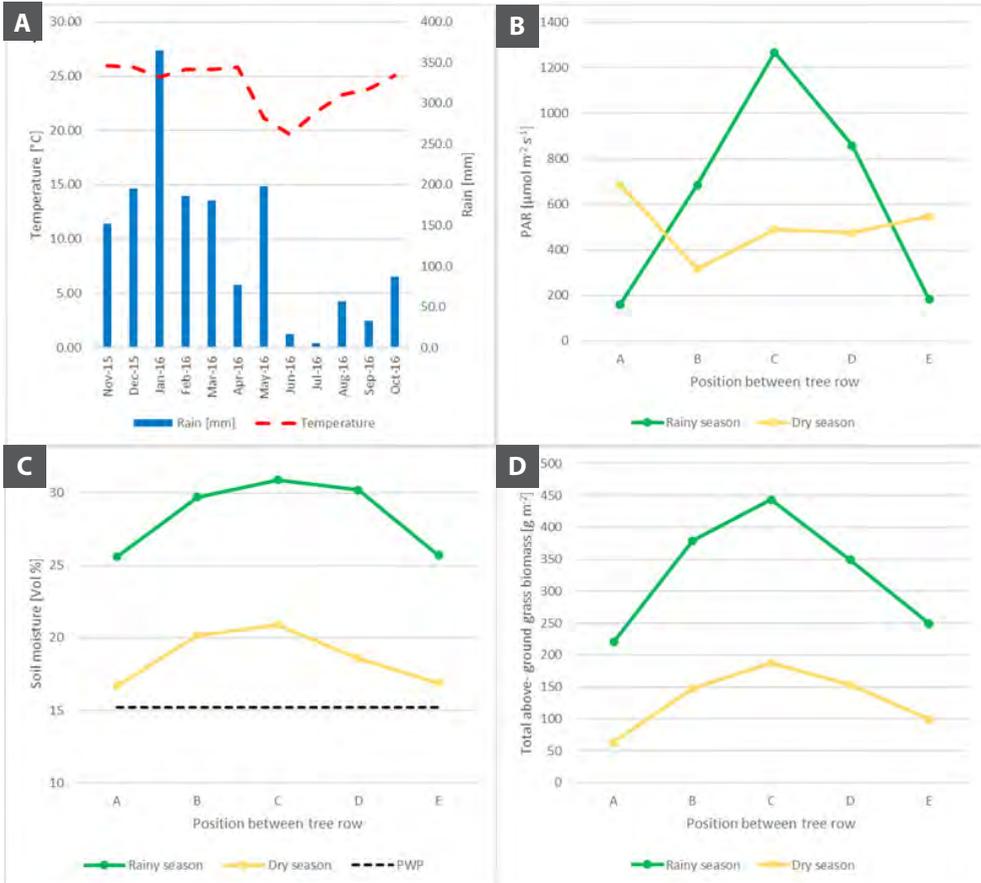
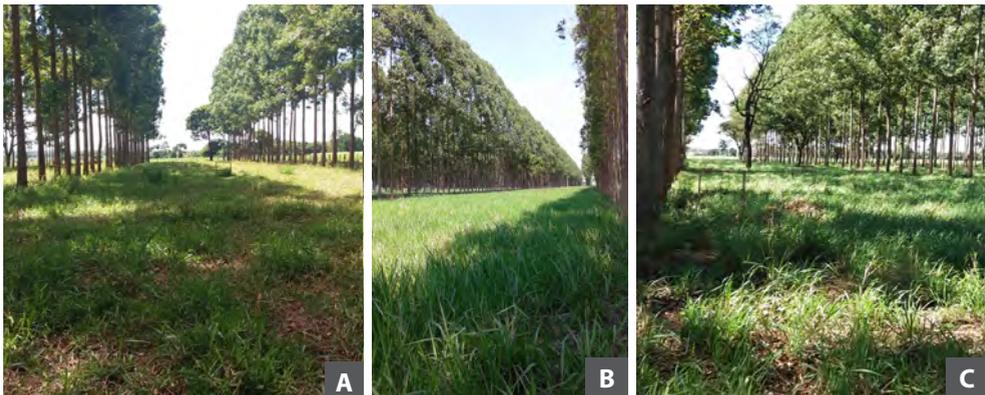


Figura 8. (A) Temperatura em °C e chuva em mm; (B) Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; (C) Umidade do solo em $\text{cm}^3 100\text{cm}^{-3}$, ponto de murcha permanente PWP; (D) Biomassa total de capim acima do solo em g m^{-2} , a linha verde representa a estação chuvosa e a linha amarela a estação seca.



Fotos: Mariana Pereira

Figura 9. Ilustração do sombreamento feito pelas árvores no sistema de ILPF estudado. (A) na estação de transição (setembro de 2015); (B) estação de chuvosa (novembro de 2015) e (C) estação seca (julho de 2016).

Fotos: Mariana Pereira



Figura 10. Ilustração da produção de biomassa no sistema de ILPF estudado. (A) na estação de chuvosa (janeiro de 2016) e (B) estação seca (julho de 2016).

Discussão

Como esperado, os teores de água no solo do sistema de ILPF mostrou uma dinâmica sazonal distinta induzida pelas estações seca e chuvosa. A interceptação do dossel das árvores não afetou a distribuição das chuvas no gradiente entre as fileiras de árvores. Embora as posições centrais entre as fileiras de árvores recebessem mais radiação durante o verão e tivessem muito mais biomassa verde para possíveis perdas de água por transpiração, os teores de água no solo nesses pontos foram os mais altos do gradiente e os pontos de murcha nunca foram atingidos, nem durante a estação seca, no inverno. Para o verão chuvoso, a umidade do solo e a entrada de radiação foram positivamente relacionadas e, conseqüentemente, o sombreamento não parece ter um efeito pronunciado na umidade crítica do solo no sistema de ILPF estudado. No entanto, como o conteúdo de água no solo estava muito acima dos pontos de murcha durante o verão, a RFA parece dominante na limitação do crescimento das plantas forrageiras ao longo do gradiente entre as fileiras de árvores. No entanto, outras influências, como competição biológica e dinâmica de nutrientes, podem interagir com a disponibilidade de água e luz. O menor teor de água da camada superficial do solo medido nas posições de amostragem próximas às fileiras de árvores poderia, portanto, ser provavelmente atribuído ao aumento da captação de água pelas árvores. Durante o inverno seco, as diferenças no teor de água no solo ao longo do gradiente foram menos distintas, situando-se em torno de 10% abaixo dos valores de verão. Como consequência, o teor de água no solo próximo às fileiras de árvores estava se aproximando do ponto de murcha, indicando sérias condições de estresse hídrico para as plantas enraizadas na camada superficial do solo, em especial, as forrageiras. Essa condição parcial de estresse hídrico durante a estação seca pode ser um indicador de esgotamento crítico de recursos e vulnerabilidade durante períodos de estiagem.

É importante ter em conta que uma tarefa da pesquisa agrícola aplicada é fornecer dados sólidos e confiáveis que possam ser usados para tirar conclusões para a prática do agricultor. Os resultados podem também contribuir para enfrentar os desafios decorrentes das mudanças climáticas e podem ser usados no contexto de uma gestão aprimorada

para nossos objetivos de sustentabilidade. Nosso trabalho, estudando a dinâmica sazonal da água no solo de um sistema de ILPF, mostrou a complexidade dessa tarefa. Embora tenhamos conseguido monitorar o conteúdo de água no solo durante as estações contrastantes, incluindo vários outros parâmetros complementares, nossas conclusões permanecem em um nível descritivo para comparações. Explicações e discussões permanecerão especulativas se não continuarmos a apoiar pesquisas com mais trabalhos de medição que englobem diferentes sistemas de ILPF em diferentes ambientes.

A demanda é alta por indicadores que sejam fáceis de medir, sem a necessidade de se usar equipamentos sofisticados e caros. São recomendados indicadores que possam ser usados como referência para uma determinada condição ou um ponto de inflexão de sistemas de ILPF. Ou seja, os pontos nos quais os agricultores devem tomar as medidas apropriadas para melhorar ou manter o rendimento e/ou a sustentabilidade de seu sistema. No que diz respeito à sustentabilidade, vale a pena relacionar a ecodinâmica de diferentes sistemas de uso da terra com os ecossistemas naturais, como a vegetação do Cerrado. Nesse sentido, comparar a dinâmica da água e outras funções do ecossistema entre os diferentes sistemas de uso da terra e ecossistemas naturais irá fornecer informações valiosas sobre os parâmetros-chave alterados pelos seres humanos. Por sua vez, isso nos ajudará a avaliar e definir indicadores e, conseqüentemente, ajustar nossas metas em direção à sustentabilidade.

Conclusões

A dinâmica da água dos sistemas de ILPF é afetada por interações complexas de componentes únicos e, portanto, precisa ser examinada com cuidado durante os estudos ecológicos. O sistema de ILPF estudado mostrou sazonalidade distinta induzida pela estação seca e chuvosa. O gradiente entre as fileiras de árvores apresentou maior teor de água no solo, biomassa e radiação, no verão e nas posições centrais. O sombreamento resultou em fortes variações sazonais e diferenças ao longo do gradiente na entrada de luz que, surpreendentemente, não estavam relacionadas à dinâmica da água no solo, mas pareciam limitar o crescimento da vegetação do sub-bosque. As posições de amostragem próximas às fileiras de árvores estavam se aproximando do ponto de murcha durante a estação seca, provavelmente, devido ao aumento da captação de água pelas árvores. Essa condição parcial de estresse hídrico durante a estação seca pode ser um indicador de esgotamento crítico de recursos e vulnerabilidade durante períodos de estiagem. No entanto, são necessárias análises mais aprofundadas para se obter uma imagem abrangente da dinâmica da água de sistemas de ILPF, a fim de preencher lacunas de conhecimento na avaliação da intensificação sustentável.

Referências

Moraes A, Faccio Carvalho PC, Anghinoni I, Lustosa SB, Costa SE, Kunrath TR (2013) Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *Eur. J. Agron.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004>

Goldstein G, Meinzer FC, Buccì SJ, Scholz FG, Franco AC, Hoffmann WA (2008) Water economy of Neotropical savanna trees: six paradigms revisited, *Tree Physiology* 28, 395–404.

Lemaire G, Franzluebbers A, Faccio Carvalho PC, Dedieu B (2014) Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 190, 4–8.

Sarmiento E (1984) **The ecology of Neotropical savannas**. Harvard University Press, Cambridge, MA, 235 p.