

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Gado de Corte  
Embrapa Amazônia Oriental  
Embrapa Acre  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ILPF

## inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta

---

*Davi José Bungenstab  
Roberto Giolo de Almeida  
Valdemir Antônio Laura  
Luiz Carlos Balbino  
André Dominghetti Ferreira  
Editores técnicos*

**Embrapa**  
Brasília, DF  
2019

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na

**Embrapa Gado de Corte**

Av. Rádio Maia, 830, Zona Rural  
CEP 79106-550 Campo Grande, MS  
Fone: (67) 3368-2000  
Fax: (67) 3368-2150  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Unidade responsável pelo conteúdo**

Embrapa Gado de Corte

Comitê Local de Publicações  
Presidente  
*Thais Basso Amaral*

Secretário-executivo  
*Rodrigo Carvalho Alva*

Membros  
*Alexandre Romeiro de Araújo*  
*Andréa Alves do Egito*  
*Liana Jank, Lucimara Chiari*  
*Marcelo Castro Pereira, Mariane de Mendonça Vilela*  
*Rodiney de Arruda Mauro, Wilson Werner Koller*

**Embrapa Acre**

Rodovia BR-364, Km 14  
Caixa Postal: 321  
CEP 69900-970 Rio Branco, AC  
Fone: (68) 3212-3200  
Fax: (68) 3212-3284  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Embrapa Amazônia Oriental**

Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n  
CEP 66095-903 Belém, PA  
Fone: (91) 3204-1000  
www.embrapa.br  
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

**Unidades responsáveis pela edição**

Embrapa Gado de Corte  
Embrapa Acre  
Embrapa Amazônia Oriental

Supervisão editorial  
*Rodrigo Carvalho Alva*

Revisão de texto  
*Davi José Bungenstab*

Normalização bibliográfica  
*Andréa Liliane Pereira da Silva*  
*Renata do Carmo Franca Seabra*

Projeto gráfico, capa, tratamento de ilustrações e fotografias  
e editoração eletrônica  
*Vitor Trindade Lôbo*

Foto da capa  
*Paulino Gauna Gomes*

**1ª edição**

Publicação digitalizada (2019)

O conteúdo dos capítulos, assim como as terminologias técnicas e nomes científicos utilizados são de responsabilidade dos respectivos autores.

**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 Gado de Corte

ILPF : inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta / Davi José Bungenstab ... [et al.], editores técnicos. — Brasília, DF : Embrapa, 2019.  
PDF (835 p.) : il. color.

ISBN 978-85-7035-922-3

1. Agricultura sustentável. 2. Agressilvicultura. 3. Diversificação de cultura. 4. Mudanças climáticas. 5. Planejamento agrícola. I. Almeida, Roberto Giolo de. II. Laura, Valdemir Antônio. III. Balbino, Luiz Carlos. IV. Ferreira, André Dominghetti. V. Embrapa Gado de Corte. VI. Embrapa Amazônia Oriental. VII. Embrapa Acre. VIII. Título.

CDD (23. ed.) 633.2



## Capítulo 10

# Serviços Ambientais em sistemas silvipastoris

---

*Maria Luiza Franceschi Nicodemo  
Odo Primavesi*

## Serviços ambientais naturais: conceitos básicos

A estabilidade do nosso planeta depende de uma série de processos biofísicos que estão sendo comprometidos pela atividade humana (Steffen et al., 2015). Um grupo de especialistas propôs limites de segurança para esses processos fundamentais, acima dos quais corremos grande risco de um colapso, com mudanças abruptas que poderiam ter consequências devastadoras para a população humana. Três (diversidade genética e fluxos bioquímicos do nitrogênio e do fósforo) dos nove processos identificados - que também incluem uso de água doce; alteração de uso da terra; acidificação dos oceanos; perda de ozônio da estratosfera; e carga de aerossóis da atmosfera - já ultrapassaram esses limites. Precisamos mudar a forma de produzir, de modo a reduzirmos ao mínimo o impacto negativo sobre a vida na Terra. Vamos discutir, então, as relações entre a provisão de serviços ambientais e a agropecuária.

No início da história da Terra, os ambientes apresentavam predominância de rocha matriz, sem solo, impermeável, sem lençol freático, com ciclo hidrológico curto (chuvas intensas de curta duração, com escoamento superficial, retornando logo de volta ao oceano), com amplitude térmica e hídrica elevada, sem cadeia alimentar, sem serviços ecossistêmicos favorecedores de vida superior, inóspita à vida superior e à produção de biomassa, constituindo os *ambientes naturais primários*. Com o desenvolvimento construtivo (ou sintrópico) do nosso planeta, a situação se inverteu na maior parte dos ambientes terrestres. Chegamos aos *ambientes naturais de clímax*, geralmente florestais, com solo permeável, com lençol freático e água doce armazenada, residente, disponível mesmo em períodos sem chuva, com ciclo hidrológico longo (chuvas menos intensas e mais distribuídas, submetidas a ciclos de evapotranspiração-chuva-infiltração e pouco escoamento superficial, demorando a volta ao oceano), amplitudes térmicas e hídricas atenuadas de forma continuada, com condições excelentes para uma complexa teia alimentar, de vida superior abundante, diversificada e de produção de biomassa. A mudança das características das estruturas e dos processos ou serviços ecossistêmicos de ambientes naturais de clímax de volta para características de ambientes primários (como em áreas degradadas, com solos impermeabilizados), chama-se regressão ecológica, e deve ser evitada para preservar a vida superior (incluindo a humana) e a capacidade produtiva do ambiente.

A natureza se expressa por meio do conjunto de estruturas (ou infraestrutura natural, análoga ao *hardware* de um computador) e de processos (ou funções ou serviços ambientais naturais ou serviços ecossistêmicos, análogos aos *softwares*). Fica mais fácil perceber os serviços ambientais naturais ao se comparar os processos, sua intensidade e amplitude, que ocorrem em ambientes naturais primários e ambientes naturais de clímax. Ambientes que apresentem estruturas e serviços ambientais naturais mais afastados de um ambiente natural primário, em geral, permitem um retorno eficaz e ótimo dos recursos e dos insumos investidos em um sistema de produção. Tornam-se mais eficientes.

Assim, serviços ambientais naturais são os benefícios que as pessoas recebem dos ecossistemas. Podem ser classificados em serviços de provisão (produção de alimentos, fibras, energia e água doce), de regulação, de suporte - que são serviços necessários para

a produção de outros serviços - e serviços culturais, que são benefícios não-materiais que enriquecem a qualidade de vida e promovem o enriquecimento espiritual, recreação e experiências estéticas (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Dentre os serviços de regulação e de suporte, podemos citar:

- Manutenção da qualidade do ar e controle da poluição, por meio da regulação da composição dos gases atmosféricos;
- Controle da temperatura e do regime de chuvas, por meio do ciclo biogeoquímico do carbono e da evapotranspiração da vegetação que vai contribuir para manter a umidade relativa do ar; além da atenuação da velocidade de brisas e ventos;
- Regulação do fluxo de águas superficiais e controle das enchentes;
- Formação e manutenção do solo e da fertilidade do solo, pela decomposição de rochas e da matéria orgânica e pelas interações entre raízes de plantas, bactérias e fungos.
- Degradação de dejetos industriais e agrícolas e ciclagem de nutrientes;
- Redução da incidência de pragas e doenças pelo controle biológico ou equilíbrio de populações, bem como atuando como barreira de propagação; e
- Polinização de plantas agrícolas e silvestres.

Esses processos são, em sua maioria, mediados pela atividade biológica, que depende assim da manutenção da biodiversidade. Com a revolução verde, optou-se por transformar a paisagem (os ecossistemas naturais clímax ou próximo a eles) em agroecossistemas intensivos e simplificados (aproximando-os mais ou menos de características de ambientes naturais primários), onde muitos serviços ambientais naturais ou ecossistêmicos foram reduzidos, ou mesmo desligados, e substituídos pela intervenção humana (atualmente chamados serviços ambientais antrópicos). Nesses sistemas, o preparo mecanizado do solo substituiu as alterações nas propriedades físicas do solo oriundas da interação entre raízes, organismos vivos do solo e matéria orgânica que favorecem a germinação e o desenvolvimento das sementes; a adição de fertilizantes minerais substituiu os processos de reciclagem de nutrientes; pesticidas para controle de plantas daninhas, doenças e pragas; a manipulação genética das cultivares substituiu o processo natural de seleção de plantas (Altieri, 1999).

Dos 24 serviços ambientais naturais estudados em Millenium Ecosystem Assessment, (2005), 15 deles (aproximadamente 60%), foram classificados como degradados ou utilizados de forma não-sustentável, especialmente água doce, recursos pesqueiros de captura, purificação da água e do ar, controle do clima regional e local e de desastres naturais e de pragas (Tabela 1).

**Tabela 1.** Situação global de serviços ambientais.

Serviço	Sub-categoria	Status	Notas
<b>Serviços de provisão</b>			
Alimento	Cultivos	▲	Grande aumento na produção
	Produção animal	▲	
	Recursos pesqueiros	▼	Declínio na produção por sobrepesca
	Aquicultura	▲	Grande aumento na produção
	Alimentos selvagens	▼	Declínio na produção
Fibra	Madeira	±	Perda em algumas regiões; aumento em outras
	Algodão, linho, seda	±	
	Lenha/carvão	▼	Declínio na produção
Recursos genéticos		▼	Perdas por extinção; perda de recursos genéticos de cultivos
Bioquímicos, farmacêuticos e remédios naturais		▼	Perdas por extinção e por colheita excessiva
Água doce		▼	Uso não-sustentável para dessedentação, indústria e irrigação
<b>Serviços de regulação</b>			
Controle da qualidade do ar		▼	Declínio na capacidade de autoregulação da atmosfera
Controle do clima	Global	▲	Fonte líquida de sequestro de carbono nos últimos 50 anos
	Regional e local	▼	Preponderância de impactos negativos. Há redução dos benefícios obtidos dos serviços, seja por alteração no serviço – por exemplo, o desmatamento reduz a precipitação pluvial - ou porque a pressão antrópica excede a capacidade de provisão do serviço.
Controle da água		±	Variável, dependendo de local e mudança do ecossistema
Controle da erosão		▼	Aumento da degradação do solo
Purificação da água e tratamento de resíduos		▼	Perda da qualidade da água
Controle de doenças		±	Variável dependendo da mudança do ecossistema
Controle de pragas		▼	Controle natural degradado pelo uso de pesticidas
Polinização		▼ <sup>a</sup>	Aparente declínio global de polinizadores
Controle de desastres naturais		▼	Perda de zonas-tampão (mangues e alagados)
<b>Serviços culturais</b>			
Valores espirituais e religiosos		▼	Rápido declínio em espécies e lugares sagrados
Valores estéticos		▼	Declínio na qualidade e quantidade de áreas naturais
Recreação e ecoturismo		±	Mais áreas acessíveis, mas várias estão degradadas

<sup>a</sup> indica certeza de baixa a média; todas as outras tendências tem grau de certeza de médio a alto.

Símbolos: ▲ elevação; ▼ redução; ± efeito variável.

Fonte: Millenium Ecosystem Assessment (2005).

A introdução de árvores nos sistemas de produção, por meio de sistemas agroflorestais ou da integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF), pode ser um caminho para minimizar a perda de serviços ambientais. Um estudo avaliou trabalhos publicados em língua inglesa de 1950 a 2015 (Reed et al., 2017) sobre o impacto da presença de árvores nos serviços ecossistêmicos nos trópicos. O impacto positivo gerado pelas árvores na renda, fertilidade do solo, polinização, controle de pragas e conservação do solo, entre outros, compensou a eventual redução da produção agrícola. Apenas 16% dos casos estudados mostraram redução nos benefícios auferidos pela soma dos impactos trazidos pelas árvores em relação às áreas sem árvores, mesmo considerando que 36% dos casos mostraram redução da produção agrícola. A presença das árvores pode contribuir, então, significativamente para a redução de riscos, trazidos, por exemplo, por flutuações do mercado ou por mudanças climáticas.

## Água e solo

As florestas são produtoras (recicladoras de água de chuvas) e cotransferidoras de chuvas do litoral (produzidas sobre os mares e empurradas ao continente pelos ventos alísios) ao interior. Diversos estudos têm mostrado a importância da manutenção das matas para a conservação do regime de chuvas suprarregional. No caso do Brasil, um processo muito conhecido foi popularmente denominado “Rios Voadores”, que são correntes de ar que carregam umidade de Norte a Sul do país e são responsáveis por grande parte da precipitação pluvial no Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, com impacto ainda no Uruguai, Paraguai e Argentina. Os ventos dominantes da Amazônia carregam a umidade do mar para o interior. A cada ciclo de precipitação se cria novo ciclo de evapotranspiração da mata, em que parte da umidade original é carregada cada vez mais para o interior do continente, até encontrar a barreira andina, quando essa umidade é redirecionada para o Sul. Estima-se que 70% da precipitação que atinge o Estado de São Paulo na época das chuvas seja fruto deste processo (Fearnside, 2004). Mudanças de uso de solo, com substituição da floresta por pastagens ou por agricultura, aumentam a perda da água por escoamento superficial, reduzindo não só a umidade que chega ao interior do solo, mas também aquela que se desloca pelo continente (Fearnside, 2004; Spracklen et al., 2012). Como consequência, poderemos observar o encurtamento perigoso do ciclo da água e o aumento do número e extensão dos períodos secos.

Esse processo de formação de chuvas ocorre, em menor extensão, em outras áreas florestadas, apontando para a importância de estruturas vaporizadoras permanentes para a manutenção da umidade do ar. Em uma mata ciliar de área de “Cerradão” no Estado de São Paulo, da chuva que atingiu a cobertura vegetal, apenas 62,4% chegou ao piso florestal; o restante, 37,6%, foi interceptado pelos galhos, folhas e troncos e retornou à atmosfera por evaporação, contribuindo para a formação de novas precipitações (Lima, 1998). Árvores e arbustos têm 4 a 6 vezes mais probabilidade de ter raízes profundas ( $\geq 4$  m) que plantas herbáceas perenes. De modo geral, a profundidade média das raízes segue o gradiente, de maior para menor profundidade: árvores > arbustos > gramíneas > plantas anuais (Schenk; Jackson, 2005). Assim, durante o período de seca, o solo seca da superfície para maiores profundidades, e a árvore tem melhores condições de auxiliar na manutenção da umidade relativa do ar pela transpiração. Essa água pode não estar disponível para plantas herbáceas, mas ajuda na manutenção da umidade relativa do ar, reduzindo a demanda de evapotranspiração. Além disso, árvores adultas, com sistema

radicular profundo, podem bombear água para a camada superficial do solo, em especial, nas regiões de Cerrado, beneficiando as plantas de raízes mais superficiais (Goldstein et al., 2008), e a manutenção de fungos e bactérias do solo.

No desenvolvimento de ambientes naturais primários para clímax, é priorizada a atração ou facilitação, a captação e o armazenamento, bem como a redução da perda de água pluvial. Isso ocorre por meio do estabelecimento de uma estrutura fundamental constituída de um solo permeável e rico em material orgânico, protegido por cobertura vegetal permanente diversificada e seus resíduos e pela atividade radicular, com micro e mesorganismos associados às plantas. O solo permeável não se mantém sem essa tripla proteção: dossel vegetal, serapilheira e atividade radicular. O binômio solo-planta permanente é estratégico. O solo sem planta, com baixa atividade biológica, que adensa reduzindo os macroporos para menos de 10% (o mínimo necessário), em realidade deixa de realizar sua função primeira, que é captar e conservar água das chuvas. Assim, para conservar a água no solo é necessário:

- Manter o solo coberto;
- Reduzir perdas por impermeabilização e aquecimento do solo;
- Reduzir perdas por brisas e ventos;
- Aumentar a capacidade de armazenar água no solo;
- Promover a nutrição adequada das plantas, permitindo alta produção de biomassa (maior eficiência de uso da água);
- Remover impedimentos ao desenvolvimento das raízes em profundidade.

A introdução de árvores e arbustos em um sistema produtivo agrícola pode ter um papel importante na consecução desses objetivos. A presença de árvores, além de facilitar a precipitação de chuvas e de ajudar a interceptar água das chuvas, pode melhorar características físicas do solo, promovendo maior infiltração da água. Em um estudo realizado em Jaboticabal (SP), estimou-se que foram perdidos 61% e 42% da água que deveria infiltrar-se no solo de uma pastagem e de uma área agrícola, respectivamente, em comparação com a área florestada (Borges et al., 2005).

As árvores desempenham importante papel no controle da erosão e redução do escoamento superficial por meio de vários mecanismos (Ong; Swallow, 2003), que incluem:

- Interceptação da água da chuva pelas copas, reduzindo o impacto das gotas de chuva no solo;
- Maior permeabilidade dos solos;
- Aumento da rugosidade do solo, que cria obstáculos para a movimentação horizontal da água.

A água das chuvas é, em parte, interceptada pelas copas das árvores e pode escorrer pelos galhos e troncos até a superfície do solo ou evaporar antes de alcançar o solo. Como discutido em capítulo específico desta obra, a existência de barreiras (raízes, galhos caídos, folhas e serapilheira) faz com que a água da chuva depositada no solo permaneça no local



por mais tempo, tendo maior oportunidade de infiltração. Ocorre um alongamento do ciclo da água, altamente desejável.

No mundo, cerca de 2 bilhões de hectares de terra e 1,5 bilhão de pessoas são afetados pela degradação dos solos, especialmente nos países em desenvolvimento. Estima-se que anualmente 12 milhões de hectares, que poderiam produzir 20 milhões de toneladas de grãos, são perdidos no processo de degradação, causado pela perda da permeabilidade, uma vez que os macroporos de aeração e de drenagem são reduzidos por adensamento, compactação ou eliminados por erosão, além da perda de fertilidade química e biológica. Um cálculo aproximado, considerando as taxas de degradação atuais, indica que sobraram apenas 60 anos de solo produtivo (“topsoil”). O solo do planeta está sendo perdido entre 10 e 40 vezes a taxa que pode ser naturalmente formado (Nair, 2014).

Foram estimados, no Brasil, prejuízos anuais da ordem de 30 milhões de dólares, por perda de matéria orgânica e de nutrientes, queda na produtividade, perda da fertilidade do solo, depreciação da terra, custos adicionais de tratamento da água para consumo humano, soterramentos e inundações, eutrofização, manutenção de estradas e desassoreamento de reservatórios, entre outros (Telles, 2010).

A introdução de árvores nos sistemas de produção pode contribuir para amenizar a situação acima exposta. Sistemas silvipastoris na Costa Rica, Nicarágua e Colômbia reduziram a perda de solos em quase 50% entre 2002 e 2007, passando de 80,9 a 44,1 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Banco Mundial, 2013).

As árvores melhoram a qualidade da água. A capacidade de captura das raízes nos horizontes mais profundos melhora o estoque de nutrientes no sistema planta-solo e diminui a lixiviação e escoamento superficial da água carregada de nutrientes, pesticidas e sedimentos que poderiam contaminar águas superficiais e subterrâneas. Árvores e arbustos podem contribuir também para a redução da lixiviação de pesticidas e outros contaminantes, como sulfas e antibióticos, pelo aumento da infiltração e consequente aumento das interações entre as substâncias em solução e o solo; pela redução da velocidade da água carregada por escoamento superficial, promovendo a deposição de sedimentos aos quais os poluentes podem estar associados; por promover o desenvolvimento de comunidades microbianas capazes de degradar agroquímicos orgânicos e por melhorar a capacidade do solo de reter e adsorver/absorver contaminantes orgânicos (Chu, 2011; Lin et al., 2011). Ainda pensando no controle da poluição, as árvores têm a capacidade de melhorar a qualidade do ar pela absorção parcial ou total de alguns gases considerados poluentes, tais como gás carbônico, enxofre e ozônio, através dos estômatos das folhas e lenticelas, bem como pela retenção de material particulado em sua parte aérea (deposição de poeira).

Outro fator que influencia a dissipação da poluição é a formação de células de circulação de ar. A Figura 1 ilustra como ocorre a circulação de ar sobre uma superfície aquecida (A). Se a temperatura em A é maior do que a temperatura no ponto B, esse aquecimento faz diminuir a pressão em A. O ar que estava em A sobe então na direção do ponto B. Como não podem ficar espaços vazios, uma massa de ar vai ocupar o lugar deixado pelo ar que saiu de A. Isso faz com que o ar no ponto D se desloque horizontalmente, indo ocupar o espaço deixado em A. Ao mesmo tempo, a parcela de ar que estava em C desce para ocupar

a posição D, com isso, a parcela de ar que estava em B se desloca para C. O ciclo entre A, B, C e D é chamado de célula de circulação. Uma célula de circulação é responsável pelo movimento entre áreas aquecidas e áreas mais frias. Aqui deve ser destacado que um solo coberto por árvores aquece muito menos que um solo limpo, nu, gerando térmica (massa de ar quente ascendente) menos intensa, isto é, gera um vácuo ou menos sustentação nas horas mais quentes do dia, de forma a facilitar a queda de particulados (poeira, fuligem) e também da água retida nas nuvens, que precipita com maior facilidade. À noite ocorre o inverso, com maior vácuo nas áreas mais frias sobre solo nu.



**Figura 1.** Formação de uma célula de circulação. Durante o dia, o ar se movimenta entre os pontos A (ponto inicialmente mais aquecido), B, C e D em função da temperatura próxima à superfície do solo. À noite, o sentido da circulação se inverte, pois a temperatura é mais estável na área de mata.

Sistemas silvipastoris são capazes de aumentar e manter a fertilidade do solo, por meio do maior aporte de nitrogênio de espécies lenhosas fixadoras de N; maior disponibilidade de nutrientes pela deposição de serapilheira; e maior absorção e ciclagem de nutrientes das camadas mais profundas do solo (Nair, 2011). As propriedades físicas e químicas do solo podem ser melhoradas dentro de quatro a cinco anos da implantação de sistemas silvipastoris (Carvalho et al., 2002).

Além disso, ao alterar o balanço hídrico, esses sistemas criam condições mais favoráveis para a vida no solo (Jose, 2009). Ao se comparar sistemas silvipastoris com pastagens solteiras a pleno sol, observou-se que mudanças no microclima como redução das temperaturas do ar e do solo e menor taxa de evaporação da superfície do solo aumentaram a água disponível do solo, as atividades biológicas do solo e a mineralização de nitrogênio. Constatou-se aceleração na decomposição da matéria orgânica e ciclagem de nitrogênio e aumento de bactérias e invertebrados, com consequente influência na maior agregação do solo, na maior disponibilidade de fósforo e na maior taxa de ciclagem

de nutrientes (Franco et al., 2003). Esses eventos resultam em maior teor disponível de nutrientes e maior produção de biomassa por unidade de área, resultando em menor pegada ecológica (maior produção de forragem de qualidade e de carne por unidade de área por ano), menor pegada de água (maior produção de carne por litro de água utilizado no sistema de produção) e menor pegada de nitrogênio (menor gasto e perda de nitrogênio por unidade de produto gerado), o que é altamente desejável.

## Microclima

A vegetação ajuda a diminuir a variação da temperatura e da umidade do ar. Como vimos, a evapotranspiração é importante na manutenção da umidade relativa do ar. Quando ocorrer em escala, com geração de nebulosidade extensa, pode reduzir a temperatura do ar por meio da redução da incidência de radiação solar, refletida pela superfície superior das nuvens de vapor de água (albedo elevado), à semelhança do que ocorre na Amazônia, em que os menores valores de radiação ocorrem de dezembro a fevereiro (pico do verão). Vale ressaltar que, por outro lado, na estratosfera ocorrem nuvens de cristais de gelo, que não refletem radiação solar, mas retêm radiação de ondas longas, caloríficas, e são originadas sobre áreas degradadas com geração de térmicas intensas.

À medida que o ar tem menos umidade, aumenta a demanda de água da atmosfera para o sistema vegetação-solo. As plantas respondem à menor umidade do ar aumentando a transpiração, dentro de certos limites, e se tiverem acesso à água no solo. Dessa maneira, em sistemas arborizados, as árvores utilizam a água que acessam em maiores profundidades do solo para continuar transpirando. Na Amazônia ocidental, a água encontrada entre 2 m e 8 m de profundidade contribuiu com mais de  $\frac{3}{4}$  da transpiração de árvores perenes na estação seca (Jackson et al., 2000). Em sistemas silvipastoris, pode ocorrer uma situação parecida: as árvores transferem umidade para a atmosfera, o que beneficia a produção continuada da pastagem associada a ela, pois o capim pode manter os estômatos abertos por mais tempo numa condição de menor ressecamento do ar. Entretanto, se o sistema silvipastoril estiver associado a uma área onde predomina a pastagem convencional ou a agricultura, corre o risco de exaurir mais rapidamente suas reservas de água. Com o aumento da demanda evapotranspirativa da atmosfera, a árvore pode competir mais intensamente com o cultivo associado pela água disponível no solo, promovendo seu ressecamento mais rapidamente. Em especial, quando estas áreas adjacentes tiverem amplitudes térmicas maiores, com maiores quedas da umidade relativa do ar, e gerarem brisas e ventos, que carregam a umidade, num processo que procura distribuir a umidade para as áreas com maior demanda atmosférica.

Além disso, sistemas silvipastoris podem contribuir para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e os efeitos do aquecimento global e das mudanças climáticas por meio de fixação de carbono (no solo e na biomassa aérea), aumento da eficiência de produção, redução da emissão de metano ruminal e por causa do melhor valor nutricional da dieta animal. Esses eventos levam à redução da pegada de carbono (p.e. menos carbono emitido por quilograma de carne) do produto final, o que é altamente desejável. As árvores de sistemas silvipastoris servem como instrumento para a renovação e recuperação de pastagens e favorecem a ciclagem de nutrientes, especialmente pelo uso de leguminosas lenhosas, auxiliando na disponibilização desses recursos para os

cultivos associados. Estima-se que sistemas agroflorestais (SAF) possam armazenar de 0,29 a 15,21 C t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> acima do solo e de 30 a 300 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> até 1 m de profundidade do solo. O acúmulo de C orgânico no solo cresce com o aumento da diversidade e da densidade de árvores (Nair, 2011).

O desmatamento e a degradação ambiental de grandes áreas pode afetar o clima local mais que o aquecimento global (Primavesi, 2013). Pois as amplitudes térmicas podem ser de até 13°C contra os 1°C a 3°C do aquecimento global, e que reduzem significativamente a umidade relativa do ar, especialmente nas horas mais propícias para a fotossíntese e produção vegetal, que fica assim prejudicada, pois as folhas murcham e os estômatos se fecham.

### Biodiversidade

A biodiversidade inclui a riqueza, a abundância relativa e a composição de espécies, genótipos, grupos funcionais e ecossistemas. A redução da biodiversidade pode afetar negativamente o funcionamento e a estabilidade dos ecossistemas e diminuir o bem-estar humano ao reduzir a provisão de serviços ambientais naturais.

As propostas de conservação da biodiversidade combinam ações que visam o aumento da conectividade dos remanescentes de vegetação original, a melhoria na qualidade do habitat nas áreas de produção e o aumento da heterogeneidade das paisagens. Assim, sistemas silvipastoris contribuem para promover a conservação da biodiversidade, por meio de provisão de habitat para espécies que toleram alguma perturbação, da conservação de germoplasma de espécies ameaçadas, que podem inclusive integrar os sistemas de produção, e da redução da pressão sobre áreas naturais. Por exemplo, ao se produzir, nestes sistemas, lenha e madeira para serraria, há menor necessidade de exploração de remanescentes naturais. Sistemas silvipastoris podem contribuir também para o aumento da conectividade e proteção de remanescentes naturais. Apesar da maioria das espécies conseguir se dispersar a partir de uma área de vegetação nativa por até 350 m em áreas abertas adjacentes às florestas nativas, alguns insetos e aves não atravessam distâncias acima de 100 m. Considerando-se que as pastagens brasileiras nos biomas Mata Atlântica, Cerrado e Amazônia apresentarem de 4 a 5 árvores por hectare (Andrade et al., 2012), é fácil perceber-se como a arborização de pastagens pode contribuir fortemente para formar corredores para a fauna. Ainda em sistemas silvipastoris pouco diversos, formados por braquiária e eucalipto, estes fornecem poleiros e abrigos para as aves, permitindo assim a transposição de trechos mais longos entre fragmentos de vegetação natural. Sistemas silvipastoris também auxiliam na manutenção da biodiversidade ao prover serviços ambientais como controle da erosão e recarga da água, evitando a degradação e perda dos habitats próximos. Aqui pode ser destacado que as fileiras de árvores podem atuar como barreiras que dificultam a propagação de pragas e patogenias levadas pelos ventos.

Entretanto, deve-se ressaltar que sistemas agroflorestais, mesmo diversificados, não substituem as áreas de vegetação nativa. Um estudo na Costa Rica mostrou que no sistema agroflorestal houve redução no número de espécies de pássaros especializados da floresta, predominando os generalistas e os de campo aberto, quando comparado à área de mata (Harvey; González Villalobos, 2007). Esses estudos enfatizam a importância da

manutenção de áreas de vegetação nativa interligadas, em ambientes onde predominam áreas alteradas pelo homem (pastagens ou agricultura).

A maior complexidade estrutural favorece a biodiversidade, que, em regra, é fundamental para a redução do parasitismo (Grønvold et al. 1996; Keesing et al. 2009). Assim, ambientes de alta diversidade favorecem o controle de pragas e de doenças (Civitello et al. 2015). Maior diversidade da cobertura vegetal implica em maior disponibilidade de recursos, como abrigo e alimento, ao longo do ano, e, por conseguinte, favorecem uma variedade de organismos. Como exemplo, na Colômbia, a população de besouros coprófagos aumentou nos sistemas silvipastoris, comparado à pastagem em monocultivo (Giraldo et al., 2011), reduzindo assim o número de mosca-do-chifre adultas e suas larvas. Soca et al. (2002) relataram maior degradação do bolo fecal no sistema silvipastoril comparados a pastagem solteira (94% vs. 40%), relacionando-a a maior riqueza da fauna do solo, especialmente besouros coprófagos. Estes besouros destroem e enterram o bolo fecal, expondo ovos e larvas de parasitas a outros predadores e aumentando os riscos de ressecamento. No Brasil, a menor infestação de bovinos por mosca-dos-chifres em SSP (comparado a pastagem solteira) foi relacionada à maior presença de inimigos naturais (Gusmão et al., 2015 ; Nicodemo et al., 2015).

## Considerações finais

Sistemas silvipastoris bem conduzidos constituem sistemas de produção agrícola que alcançam maior eficiência no uso de recursos, com menor pegada ecológica, de água, de nitrogênio e de carbono, para a obtenção do produto final. Portanto, tais sistemas constituem um passo à frente no desenvolvimento de sistemas agrícolas conservacionistas, com maior grau de sustentabilidade, e que podem contribuir para assegurar as condições propícias para manter a vida superior e a produção de biomassa útil e de água, de maneira eficaz, especialmente nas regiões tropicais. Isso causa um reflexo positivo sobre o planeta, com água residente em solo permeável (alongando o ciclo da água), com estruturas vaporizadoras e diversificadas permanentes, mantendo temperatura e umidade estáveis, além de acumular carbono.

## Referências

ALTIERI, M. A. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 74, n. 1-3, p. 19-31, June 1999.

ANDRADE, C. M. S. de; SALMAN, A. K. D.; OLIVEIRA, T. K. de. **Guia ARBOPASTO**: manual de identificação e seleção de espécies arbóreas para sistemas silvipastoris. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 345 p.

BANCO MUNDIAL. **Evaluación ambiental**: zona de deforestación crítica meta – Colombia. [2013]. Disponível em: <<http://documents.worldbank.org/curated/en/967461468026070473/Evaluacion-ambiental-zona-de-deforestacion-critica-meta>>. Acesso em: 21 nov. 2014.

BORGES, M. J.; PISSARA, T.; VALERI, S. V.; OKUMURA, E. M. Reflorestamento compensatório com vistas à retenção de água no solo da bacia hidrográfica do Córrego Palmital, Jaboticabal, SP. **Scientia Forestalis**, v. 69, p. 93-103, dez. 2005.

CARVALHO, M. M.; FERNANDES, E. N.; ALVIM, M.; XAVIER, D. F. Experiências com sistemas silvipastoris e agrossilvipastoris nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS AGROFLORESTAIS, 4., 2002, Ilhéus. **Sistemas agroflorestais, tendência da agricultura ecológica nos trópicos: sustento da vida e sustento de vida: anais**. Ilhéus: Sociedade Brasileira de Sistemas Agroflorestais: Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira; [Campos dos Goytacazes]: Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2004. p. 125-140.

CHU, B. **Sorption and transport of veterinary antibiotics in agroforestry buffer, grass buffer and cropland soils**. 2011. 174 f. Dissertação (Doctor of Philosophy) - University of Missouri, Columbia.

CIVITELLO, D. J.; COHEN, J.; FATIMA, H.; HALSTEAD, N. T.; LIRIANO, J.; MCMAHON, T. A.; ORTEGA, C. N.; SAUER, E. L.; SEHGAL, T.; YOUNG, S.; ROHR, J. R. Biodiversity inhibits parasites: broad evidence for the dilution effect. **PNAS**, v. 112, n. 28, p. 8667–8671, July 2015.

FEARNSIDE, P. M. A água de São Paulo e a floresta amazônica. **Ciência Hoje**, v. 34, n. 203, p. 63-65, 2004.

FRANCO, A. A.; RESENDE, A. S. de; CAMPELLO, E. F. C. Importância das leguminosas arbóreas na recuperação de áreas degradadas e na sustentabilidade de sistemas agroflorestais. In: SEMINÁRIO SISTEMAS AGROFLORESTAIS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2003, Campo Grande, MS. **Palestras...** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte; Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Corumbá: Embrapa Pantanal, 2003. 24 p. 1 CD ROM.

GEO Brasil 2002: perspectivas do Meio Ambiente no Brasil. Brasília, DF: Edições Ibama, 2002. 447 p. Disponível em: <[https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site\\_cnia/geo\\_brasil\\_2002.pdf](https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/site_cnia/geo_brasil_2002.pdf)>. Acesso em: 20 nov. 2014.

GIRALDO, C.; ESCOBAR, F.; CHARÁ, J. D.; CALLE, Z. The adoption of silvopastoral systems promotes the recovery of ecological processes regulated by dung beetles in the Colombian Andes. **Insect Conservation and Diversity**, v. 4, p. 115-122, 2011.

GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; BUCCI, S. J.; SCHOLZ, F. G.; FRANCO, A. C.; HOFFMANN, W. A. Water economy of Neotropical savanna trees: six paradigms revisited. **Tree Physiology**, v. 28, n. 3, p. 395-404, Mar. 2008.

GRØNVOLD, J.; HENRIKSEN, S. A.; LARSEN, M.; NANSEN, P.; WOLSTRUP, J. Biological control aspects of biological control—with special reference to arthropods, protozoans and helminths of domesticated animals. **Veterinary Parasitology**, v. 64, n. 1-2, p. 47-64, Aug. 1996.

GUSMAO, M. R.; INACIO, G. R.; OLIVEIRA, M. C. de S.; NICODEMO, M. L. F.; PEZZOPANE, J. R. M. Diversity of invertebrates associated with dung patches in two livestock systems. In: WORLD CONGRESS ON INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST SYSTEMS, 2015, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa, 2015.

HARVEY, C. A.; GONZÁLEZ VILLALOBOS, J. A. Agroforestry systems conserve species-rich but modified assemblages of tropical birds and bats. **Biodiversity and Conservation**, v. 16, n. 8, p. 2257-292, July 2007.

JACKSON, R. B.; SPERRY, J. S.; DAWSON, T. E. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. **Trends in Plant Science**, v. 5, n. 11, p. 482-488, Nov. 2000.

JOSE, S. Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: an overview. **Agroforestry Systems**, v. 76, n. 1, p. 1-10, May 2009.

KEESING, F.; BRUNNER, J.; DUERR, S.; KILLILEA, M.; LOGIUDICE, K.; SCHMIDT, K.; VUONG, H.; OSTFELD, R. S. Hosts as ecological traps for the vector of Lyme disease. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 276, p. 3911-3919, 2009.

LIMA, P. R. de A. **Retenção de água de chuva por mata ciliar na região central do Estado de São Paulo**. 1998. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

LIN, C. H.; LERCH, R. N.; GOYNE, K. W.; GARRETT, H. E. Reducing herbicide and veterinary antibiotics losses from agroecosystems using vegetative buffers. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, p. 791-799, Mar. 2011.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: synthesis: a report of the Millennium Ecosystem Assessment**. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: <<https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2014.

NAIR, P. K. R. Agroforestry systems and environmental quality: introduction. **Journal of Environmental Quality**, v. 40, n. 3, p. 784-790, May 2011.

NAIR, P. K. R. Grand challenges in agroecology and land use systems. **Frontiers in Environmental Science**, v. 2, p. 1-4, Jan. 2014.

NICODEMO, M. L. F.; OLIVEIRA, M. C. de S.; BILHASSI, T. B.; NÉO, T. A.; GONÇALVES, T. C.; RABELO, M. D.; GIGLIOTI, R.; PEZZOPANE, J. R. M.; GUSMAO, M. R. La infección con parásitos gastrointestinales e infestación por ectoparásitos en el ganado en el sistema silvopastoral en comparación con el sistema convencional. In: CONGRESO NACIONAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES, 3.; CONGRESO INTERNACIONAL SISTEMAS AGROFORESTALES, 8., 2015, Argentina. **Anais... Iguazú-Misiones, Argentina: INTA**, 2015. p. 27-30.

ONG, C. K.; SWALLOW, B. M. Water productivity in forestry and agroforestry. In: KIJNE, J. W.; BARKER, R.; MOLDEN, D. (Ed.). **Water productivity in agriculture: limits and opportunities for improvement**. Wallingford: CAB International, 2003. p. 217-228.

PRIMAVESI, O. **Manejo ambiental agrícola, para agricultura tropical agrônômica e sociedade**. São Paulo: Ceres, 2013. 840 p.

REED, J.; VIANEN, J. van; FOLI, S.; CLENDENNING, J.; YANG, K.; MACDONALD, M.; PETROKOFKY, G.; PADOCH, C.; SUNDERLAND, T. Tree for life: the ecosystem service contribution of trees to food production and livelihood in the tropics. **Forest Policy and Economics**, v. 84, p. 62-71, Nov. 2017.

SAMPAIO, G., NOBRE, C.; COSTA, M. H.; SATYAMURTY, P.; SOARES-FILHO, B. S.; CARDOSO, M. Regional climate change over eastern Amazonia caused by pasture and soybean cropland expansion. **Geophysical Research Letters**, v. 34, p. L17709, 2007.

SCHENK, H. J.; JACKSON, R. B. Mapping the global distribution of deep roots in relation to climate and soil characteristics. **Geoderma**, v. 126, n. 1-2, p. 129-140, May 2005.

SOCA, M.; SIMÓN, L.; SÁNCHEZ, S.; GÓMEZ, E. Dinámica parasitológica em bostas de bovinos bajo condiciones silvopastoriles. **Agroforesteria em las Américas**, v. 9, p. 33-34, 2002.

SPRACKLEN, D. V.; ARNOLD, S. R.; TAYLOR, C. M. Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. **Nature**, v. 489, p. 282-285, Sept. 2012.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J.; CORNELL, S. E.; FETZER, I.; BENNETT, E. M.; BIGGS, R.; CARPENTER, S. R.; DE VRIES, W.; DE WIT, C. A.; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G. M.; PERSSON, L. M.; RAMANATHAN, V.; REYES, B.; SÖRLIN, S. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. **Science**, v. 347, n. 6223, p. 1259855, Feb. 2015.

TELLES, T. S. **Os custos da erosão do solo**. Universidade Estadual de Londrina. Londrina, p. 61, 2010.