

## **Efeito da composição vegetal nos serviços ambientais oferecidos por sistemas agroflorestais**

### **Effect of vegetable composition in environmental services offered in agroforestry systems**

DOI:10.34117/bjdv7n6-626

Recebimento dos originais: 07/05/2021

Aceitação para publicação: 01/06/2021

#### **Marcelo da Silva Irmão**

Graduando em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Catarina  
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Curitibanos  
Rodovia Ulysses Gaboardi, Caixa Postal 101, Curitibanos-SC - CEP 89520000  
E-mail: m.s.irmao@grad.ufsc.br

#### **Karine Louise dos Santos**

Doutora em Ciências - Área de concentração em Recursos Genéticos Vegetais  
Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina – Campus Curitibanos, Programa de Pós Graduação em Ecossistemas Agrícolas e Naturais  
Rodovia Ulysses Gaboardi, Caixa Postal 101, Curitibanos-SC - CEP 89520000  
E-mail: karine.santos@ufsc.br

#### **RESUMO**

O presente manuscrito buscou discutir a importância do componente vegetal em sistemas agroflorestais, no sentido de elucidar seu papel na garantia dos serviços ambientais, dos quais dependem a biodiversidade e a espécie humana. Essa discussão baseou-se em revisão bibliográfica, apresentando os principais desdobramentos epistemológicos do século XX que influenciaram a ciência agroecológica e a consequente formação da visão holística dos ecossistemas, em contrapartida ao modelo hegemônico. O manuscrito mostra, a partir desse olhar, que o sutil funcionamento dos ecossistemas pode proporcionar novos modos de relação homem-natureza, especialmente no que concerne ao contexto agrícola que, embora regido atualmente pela tecnificação oriunda da Revolução Verde, tem passado por profundas e positivas mudanças motivadas por pesquisas no campo da – mas não se limitando a – Agroecologia. Por fim, busca-se estimular estudos multidisciplinares e práticas transgeracionais.

**Palavras-chaves:** Resiliência, Agroecossistemas, Ecologia, Diversidade

#### **ABSTRACT**

This manuscript aimed to discuss the importance of the vegetable component in agroforestry systems, in order to elucidate its role in guaranteeing environmental services, on which biodiversity and the humans depend. This discussion was based on a bibliographic review, presenting the main epistemological developments of the 20th century that influenced agroecological science, and the consequent, formation of a holistic view of ecosystems, in contrast to the hegemonic model in force until then. The manuscript shows, from this point of view, that the subtle functioning of ecosystems can provide new ways of man-nature relationship, especially with regard to the agricultural context that, although currently governed by the technification arising from the Green

Revolution, has undergone profound and positive changes motivated by research based on - but not limited to - Agroecology. Finally, it seeks to encourage multidisciplinary studies and transgenerational practices.

**Keywords:** Resilience, Agroecosystems, Ecology, Diversity

## 1 INTRODUÇÃO

Em sua relação com a natureza, a humanidade desenvolveu mecanismos técnicos de alteração dos ciclos naturais para deles obter regularidade, e constância no abastecimento de suas necessidades (BRÜSEKE, 1998). Com a intensificação dessas necessidades, esses mecanismos foram aprimorados de forma a compor a chamada sociedade moderna, em cuja estrutura esses mesmos mecanismos estão voltados à produção de capital privado a partir do trabalho coletivo, tanto do ser humano, enquanto força produtiva, como da natureza, enquanto fornecedora de bens e serviços essenciais à sobrevivência (BRÜSEKE, 1998; HARARI, 2015).

As atividades humanas capazes de alterar a dinâmica da vida surgiram após a Revolução Agrícola – ocorrida há 12 mil anos. A domesticação das plantas, o aumento das aglomerações humanas, a formação de sociedades complexas, classes e divisão social do trabalho, são algumas das consequências dessa revolução (HARARI, 2015).

Por outro lado, a diversidade de alimentos consumidos diminuiu, a dominação dos outros seres se intensificou, as aglomerações humanas se tornaram mais frequentes e complexas (HARARI, 2015). Para sustentar essas sociedades o ser humano passou a simplificar a natureza ao máximo, e isso modificou severamente sua relação com outros seres (ALTIERI, 2012). Atualmente, essa relação é quase em sua totalidade dominada por práticas típicas do período da Revolução Verde, ocorrida na segunda metade do século XX (BRÜSEKE, 1998; HARARI, 2015).

A prática hegemônica da agropecuária expressa o ímpeto humano em simplificar a natureza (ALTIERI, 2012). Como no passado, isso tem gerado diversas consequências desastrosas, mas tomou hoje proporções globais nunca vistas. Agrotóxicos, transgenia, adubação química de alta solubilidade, transporte intercontinental de animais, esses são exemplos de práticas herdeiras da revolução agrícola que foram aprimoradas pela técnica e rigor científicos tipicamente modernos. E com essas práticas, as consequências: poluição e destruição desenfreada, extinção em massa da biodiversidade, conversão de vastas áreas em paisagens agrícolas homogêneas, erosão de recursos genéticos, perda da fertilidade dos solos, etc. (ALTIERI, 2012). Apesar dessas consequências, o modelo

produtivo dominante se mantém no posicionamento de que as quedas na produtividade, problemas ambientais graves, insegurança alimentar, intoxicação humana, desequilíbrios socioeconômicos etc., se devam a fatores ou sintomas específicos que, tomados isoladamente, serão corrigidos com a aplicação cada vez mais intensa de novas tecnologias (COELHO, 2012).

Emerge, como alternativa a esse modelo, a intensificação ecológica da agricultura, ou ecologização, que, segundo Caporal e Costabeber (2000a), consiste numa alternativa à corrente tecnocrática, apresentando-se como uma nova transição dos atuais agroecossistemas simplificados e controlados industrialmente, para modelos baseados na Agroecologia. Entre as preocupações norteadoras da intensificação ecológica da agricultura destacam-se os atuais níveis de degradação ambiental aos quais estão submetidos os ecossistemas sob uso humano, fato que, de imediato, lança luz sobre as novas tendências de uso da terra como a agricultura regenerativa (SCHREEFEL et al., 2020). Adotada em vários países (DIOP, 1999; BLAU, LUZ e PANAGOPOULOS, 2018; DE HAAS et al., 2019; COLLEY et al., 2019), a agricultura regenerativa (AR) busca corrigir as externalidades negativas que têm sido depositadas sobre os ecossistemas pela atividade agrícola (SCHREEFEL et al., 2020), principalmente por meio do manejo das funcionalidades naturais dos próprios ecossistemas (por exemplo TEAGUE & BARNES, 2017; DE HAAS et al., 2019; WARTH, 2020).

Não obstante os importantes resultados apresentados pela agricultura regenerativa, que costuma ter maior enfoque em questões ambientais, especialmente concernentes ao solo (RHODES, 2017; WHITE & ANDREW, 2019; SCHREEFEL ET AL., 2020), a ecologização busca uma integração não só entre as práticas agronômicas e os conhecimentos ecológicos, mas também com as especificidades socioculturais dos agentes envolvidos, que acabam por configurar-se como modelos de desenvolvimento rural (CAPORAL & COSTABEBER, 2000) e não apenas de cunho agrícola.

Ainda nesse sentido, observa-se a expansão do uso dos chamados sistemas integrados de produção, em cuja estrutura observa-se a presença da lavoura e da pecuária (iLP) em co-atuação para garantir rentabilidade e minimização das externalidades negativas (COSTA et al., 2018). O uso de diferentes componentes num agroecossistema é prática tão antiga quanto a própria agricultura (KICHEL et al., 2012), tendo sido registrado por ilustres escritores da Roma antiga (BALBINO et al., 2012). Mais recentemente percebeu-se que a introdução do componente florestal-arbóreo, juntamente à lavoura e pecuária (iLPF), poderia alavancar ganhos econômicos e ambientais,

garantindo “a maximização da produtividade sem perder de vista a sustentabilidade” (ALVARENGA et al., 2010). Dentre esses modelos de integração de cultivos destaca-se o sistema agroflorestal (SAF), que se fundamenta no consórcio entre os componentes arbóreo, agrícola e animal (COELHO, 2012), com especial enfoque, porém, na participação do componente arbóreo. Esse consórcio visa reproduzir em agroecossistemas as funcionalidades observadas nos ecossistemas naturais, como a ciclagem de nutrientes, as interações ecológicas e a resiliência ecossistêmica, todos relacionados, direta ou indiretamente, à atividade do componente vegetal (COELHO, 2012).

Sendo assim, este texto tem por objetivo a exposição de características funcionais do sistema agroflorestal de modo que se evidencie a participação positiva do componente vegetal na oferta de serviços ambientais. Por meio da revisão de literatura, perpassando os avanços epistemológicos ocorridos no século XX, esclarece-se a importância de se adotar uma visão sistêmica dos agroecossistemas, para que a atuação complexa do componente vegetal não passe despercebida aos profissionais das Ciências Agrárias. Espera-se, portanto, acrescentar saberes ao debate referente às deficiências do sistema agrícola de monocultivo e suas consequências a longo prazo, bem como promover reflexão sobre a implementação de agroecossistemas resilientes.

## **2 DINÂMICA DOS ECOSSISTEMAS**

A partir da Teoria Geral dos Sistemas (TGS), novas formas de se compreender os organismos vivos foram estabelecidas (BERTALANFFY, 1968). O pensamento analítico e mecanicista, até então predominante nos meios científicos, teve sua eficácia questionada em meios aos novos desafios que inundaram a ciência do século XX, oriundos das ciências sociais, biológicas e da física de partículas. Esse pensamento analítico remonta a pensadores como Francis Bacon, René Descartes e Isaac Newton, e fundamenta-se no pressuposto de que todos os objetos de estudo podem ser divididos em suas partes menores, independentes e fundamentais e, assim, estudadas isoladamente. Nesse sentido, o objeto estudado terá a sua totalidade compreendida a partir da simples soma das explicações de suas partes (ARAÚJO & GOUVEIA, 2016).

A abordagem da TGS propõe, por outro lado, que, embora seja importante entender o funcionamento das partes isoladas, esse entendimento é insuficiente para a compreensão da totalidade de um sistema (ARAÚJO & GOUVEIA, 2016; BERTALANFFY, 1968). Essa abordagem se mostrou tão abrangente que alcançou campos da ciência aparentemente distantes entre si, como a física, a filosofia, a

engenharia, a genética, a sociologia, a psicologia e, especialmente, a Ecologia (BERTALANFFY, 1968). Na Ecologia de modo geral, essa abordagem promoveu a extrapolação da visão unidimensional dos objetos de estudo para abarcar um entendimento holístico de seus componentes, agora não mais tomados isoladamente, mas enfatizando suas inter-relações e a dinâmica complexa dos processos ecológicos envolvidos. Uma vez que a ecologia estuda justamente as interações dos seres vivos entre si e com o meio que os cerca, há uma íntima relação com a TGS, conforme afirma Bertalanffy (1968) “além do organismo individual, os princípios dos sistemas são também usados na dinâmica das populações e na teoria ecológica”.

É possível tomar como exemplo o comportamento de ecossistemas florestais, como o Amazônico, para esclarecer alguns princípios fundamentais da TGS, como a capacidade dos sistemas de se autorregular (ODUM, 2004; BERTALANFFY, 1968), e o fato de eles trocarem informação e energia com o meio externo (BERTALANFFY, 1968). Sabe-se que o solo amazônico é pobre e a permanência da floresta se deve ao delicado fenômeno da ciclagem de nutrientes (LUIZÃO, 2007). Em geral as árvores são capazes de produzir raízes maiores e mais profundas do que plantas de ciclo curto, isso significa que podem explorar e absorver nutrientes ao longo do perfil do solo. Por meio de folhas, ramos e outras partes vegetais (serrapilheira) que caem sobre o solo, as árvores pouco a pouco depositam nas camadas superficiais os nutrientes absorvidos das regiões mais profundas. Isso beneficia gradualmente o desenvolvimento de plantas de menor porte (PODGAISKI & RODRIGUES, 2010; COELHO, 2012). Em outras palavras, existe um delicado estado de interdependência entre os indivíduos que compõe o componente vegetal, bem como entre este e os outros componentes dos ecossistemas.

Ao contrário do que o tempo de vida humano permite observar, esse estado está longe de ser um fenômeno recente. A vida na Terra existe há pouco mais de 3,5 bilhões de anos (DODD et al., 2017), é nesse intervalo de tempo que as formas observadas pelas ciências biológicas estabeleceram a si próprias e as dinâmicas ecossistêmicas de que participam. Esse estabelecimento, porém, não se deu livre de obstáculos; em sua trajetória, a vida presenciou grandes perturbações que lhe impuseram condições extremas para se desenvolver, o que ocasionou, por um lado, reduções drásticas da biodiversidade mundial (GARCIA, 2019). Por outro lado, posto que é da essência da vida a mutação, a adaptação e a adequação (DARWIN, 2017), esses mesmos eventos proporcionaram o surgimento de novas formas de vida, bem como de novas dinâmicas ecossistêmicas, uma vez que os espaços deixados pela biodiversidade extinta passam a ser ocupados pelos

seres sobreviventes que vão se adequando às condições ambientais e estas, se estabilizando (GARCIA, 2019). Nesse sentido mesmo é que se entende a capacidade da natureza em reestabelecer equilíbrios dinâmicos diante de perturbações externas, conforme afirmam Liu & Liu (2020) “é porque as sucessões existem no ambiente que os ecossistemas degradados têm oportunidade de serem restaurados”.

Em se tratando de ecossistemas terrestres, a atuação do componente vegetal nas dinâmicas de restauração ecossistêmica se mostra definitivamente incontornável (CAMPBELL, ANTOS & VANAKKER, 2019). A colonização por espécies vegetais pioneiras em espaços desequilibrados, por exemplo, dá início ao gradual processo de sucessão ecológica (LIU & LIU, 2020), cujo fim é alcançado quando o local atinge um estado de equilíbrio termodinâmico (COELHO, 2012). A esse estado denomina-se clímax (ODUM, 2004) que pode variar devido às características de solo e clima, típicas de cada ecossistema. Em outras palavras, os ecossistemas são capazes de recuperar, em um intervalo de tempo mais ou menos longo, a estrutura e a composição de que dispunham antes de sofrerem perturbação externa, e essa capacidade tem forte e positiva influência do componente vegetal. É o que se denomina resiliência dos ecossistemas, ou homeostasia (ODUM, 2004). A partir dessa perspectiva, esclarece-se o fato de que os organismos individuais são passíveis de desaparecimento, porém sua participação no sistema como um todo promove a perpetuação de uma dinâmica complexa de relações dos seres entre si, e destes como o meio abiótico (BERTALANFFY, 1968).

No entanto, dependendo de sua magnitude, perturbações em ecossistemas terrestres são capazes de alterar significativamente diversos ciclos fundamentais para a manutenção da vida, como, por exemplo, aqueles que envolvem o solo. Os atributos físicos, químicos e biológicos do solo são passíveis de modificações a partir de perturbações externas relativamente grandes, modificações estas que podem se manifestar na volatilização do carbono presente na biomassa vegetal; diminuição da umidade do solo, bem como aumento em sua densidade e em seu nível de compactação; diminuição da fauna edáfica, entre outros efeitos que podem resultar na eliminação da fertilidade do solo, impedindo o surgimento de novas florestas ou seu restabelecimento (COELHO, 2012). Problemas com o solo – especialmente perda de fertilidade e compactação – são verificados em atividades produtivas humanas como a silvicultura (SZYMCAK et al., 2014) e a pecuária (PEREIRA; FERREIRA; GUIMARÃES, 2018; LANGE et al., 2019; MULLER et al., 2001). Inserem-se nesse contexto o desmatamento e a conseqüente desertificação dos solos (LOSS et al., 2014), uma vez que o solo de onde se retira as

árvores e demais formas de vida, não consegue abastecer as necessidades nutricionais dos cultivos que se pretende estabelecer, desequilibrando o ecossistema.

É nesse contexto que se tem buscado alternativas, como a agricultura regenerativa, embora com o tempo elas tenham deixado de ser simples alternativas e passaram a ser “necessidades inadiáveis” (CAPORAL & COSTABEBER, 1994).

A agricultura padrão, com sua visão reducionista, trata a problemática do solo como fator isolado, e, assim, propõe como correção o uso de toneladas de fertilizantes, o que pode causar a poluição de corpos hídricos superficiais e subterrâneos através da lixiviação (BERTOL et al., 2005; LORENSINI et al., 2012; FERREIRA, 2013), aumento na emissão de óxido nitroso (CARVALHO, ALVES & PEREIRA, 2010; COELHO, 2012), encarecer a produção (COELHO, 2012) e interferir nas características nutricionais de áreas adjacentes (UZÊDA et al., 2016).

## 2.1 A DINÂMICA DA NATUREZA DO PONTO DE VISTA HUMANO

Numa perspectiva socioeconômica, a manutenção da resiliência ecossistêmica garante à humanidade a melhora no fornecimento de serviços ecossistêmicos (GUEDES et al., 2011). Quando a atividade humana passa a ser deliberada no sentido de manejar adequadamente os recursos da natureza e os serviços fornecidos por ela, surgem os serviços ambientais (GUEDES et al., 2011). A título de exemplo, observa-se a influência positiva na oferta de serviços ambientais quando se decide adotar práticas agrícolas diversificadas, como sistemas agroflorestais ou agricultura de base agroecológica (MURADIAN et al., 2010).

No Brasil, o termo mais comumente utilizado é o de serviços ambientais, em geral como sinônimo de serviços ecossistêmicos (GONÇALEVES, 2017). O economista ecológico Robert Costanza (et al., 1997) define serviço ecossistêmico como o “fluxo de materiais, energia e informação que provêm dos estoques de capital natural e são combinados aos serviços de capital humano para produzir bem-estar humano”. A bióloga Gretchen Daily, por outro lado, estabelece que serviços ecossistêmicos consistem nas “condições e processos por meio dos quais os ecossistemas naturais, e as espécies que o formam, sustentam e satisfazem a vida humana” (DAILY, 1997; GONÇALVES, 2017).

## 3 O COMPONENTE VEGETAL EM SAF’S E OS SERVIÇOS AMBIENTAIS

Sistema agroflorestal (SAF) é um exemplo marcante de atividade humana que maximiza a oferta de serviços ambientais e bens ecossistêmicos (KITAMURA, 2003;

COELHO, 2012; FERREIRA, 2014; SILVA et al., 2015; CARDOSO; PARRON & FRANCISCON, 2015; MAIA & PARRON, 2015; GONÇALVES, 2017; SANTOS, CROUZEILLES & SANSEVERO, 2018). A trindade dos sistemas agroflorestais constitui-se dos componentes arbóreo, agrícola e animal. Todavia, nem sempre esses componentes estarão juntos no espaço e no tempo, o que diferencia as usuais categorias de SAF. Essas categorias são implementadas levando-se em consideração as características ambientais únicas de cada região, bem como as demandas das populações locais e suas especificidades socioculturais (COELHO, 2012).

Busca-se, com a implantação de sistemas agroflorestais, aproximar-se ao máximo das características encontradas nos ecossistemas naturais. Os benefícios advindos dos SAF's, porém, serão plenamente atingidos quando observados alguns fatores, entre eles a diversificação na composição do sistema. Nesse contexto, a diversidade de espécies que compõem o SAF tem primordial relevância não somente na manutenção dos serviços prestados (BALVANERA et al., 2006), mas na garantia da produtividade e da autossuficiência agropecuárias, uma vez que o aumento da complexidade de um agroecossistema é capaz de gerar aumento da produção e de sua regularidade (TILMAN; REICH & KNOPS, 2006; COELHO, 2012; FRANCHINI et al., 2015), bem como a possibilidade de dispensar a intensa utilização de insumos industriais e, portanto, reduzir a dependência da indústria (COELHO, 2012).

A importância da complexidade e da diversidade nos ecossistemas é perfeitamente compreensível quando se analisa do ponto de vista holístico. Sistemas com ampla diversidade de subsistemas, e alta complexidade de suas relações são capazes de melhor responder a interferência externa, uma vez que a perpetuação do sistema como um todo não depende exclusivamente do funcionamento de partes isoladas (materializando, desta forma, a asserção de Bertalanffy (1968) de que “o todo é maior que a soma das partes”).

A estabilidade dos ecossistemas naturais frente a variações climáticas, biológicas e outras interferências depende da diversidade presente no sistema, uma vez que um ecossistema complexo e biodiverso tem a sua disposição muitas alternativas possíveis para transferência de massa e energia, minimizando os possíveis estados de desorganização que as variações do ambiente externo podem causar (BALVANERA et al., 2006; ALTIERI, 2012; PLAS, 2019). Isso elucidado porque os atuais sistemas agrícolas, oriundos da tecnificação e da simplificação, são tidos como instáveis e incapazes de permanecerem a longo prazo. Enquanto a entropia é alta num sistema agrícola simples e sua permanência temporal é curta, num ecossistema natural ocorre o inverso, tendo baixa

entropia e longa permanência temporal (CAMPOS & CAMPOS, 2004; MARTIN et al., 2006; ALTIERI, 2012; ARTUZO et al., 2021).

O manejo de sistemas produtivos complexos, com alta diversidade vegetal, permite o consumo tanto de serviços diretamente fornecidos – como alimento, óleos, combustível, água, fibras, lenha e afins – como diversos outros serviços oferecidos e/ou influenciados positivamente pelo componente vegetal que podem ser evidenciados sob o ponto de vista das relações que se estabelecem entre ele e os outros fatores presentes no ecossistema, como exemplos explorados nos itens a seguir:

### 3.1 AUTORREGULAÇÃO TRÓFICA

Na agricultura padrão predomina a homogeneização da paisagem e simplificação dos ecossistemas. Ao considerar-se que nenhuma espécie sozinha consegue explorar plenamente os recursos (água, luz, nutrientes) disponíveis no meio abiótico, conclui-se que esses recursos são subaproveitados, perdidos ou atraem espécies indesejáveis para consumi-los (COELHO, 2012).

Com relação às espécies indesejáveis, que se convencionou chamar de “pragas”, Coelho (2012) argumenta que é razoável que essas “pragas” se manifestem, uma vez que sistemas simplificados demais são desprovidos de uma diversidade biótica capaz de se autorregular. Por outro lado, Power (2010) afirma que os agroecossistemas dependem de serviços fornecidos por ecossistemas naturais que não são geridos, e por isso acabam sendo desvalorizados e/ou até prejudicados pela atividade antrópica. Entre eles está o serviço de regulação prestado por inimigos naturais que em muitos casos se originam dos ecossistemas adjacentes ao cultivo, e que o auxiliam no controle da fauna herbívora.

É nesse sentido que Williams-Guillén, Perfeto e Vandermeer (2008) mostram que pássaros e morcegos no México foram capazes de reduzir em 46% na estação seca a presença de artrópodes em um sistema agroflorestal com café. O trabalho desses autores deu destaque especial para a atuação de morcegos, responsáveis pela redução de 84% dos artrópodes do agroecossistema na estação chuvosa; bem como Bastos et al (2003) mostram que as populações do herbívoro monófago do milho *Dalbulus maidis* Delong & Wolcott (cigarrinha-do-milho), e de outros insetos, manifestam-se em menores densidades em sistemas de policultivos, em que há associação entre as espécies vegetais.

Wunderle Jr (1997) corrobora a associação entre espécies vegetais – com destaque para a presença de árvores – ao destacar que aves dispersoras de sementes serão atraídas para o agroecossistema que puder oferecer-lhes poleiro, sombra e recursos

alimentares, como frutas e insetos. A presença dessa biodiversidade vegetal é determinante para a regulação das funções ecossistêmicas, possibilitando os fluxos de energia, nutrientes e informações necessários ao sistema (SWIFT & ANDERSON, 1994), bem como alavancando a formação da teia trófica (COELHO, 2012). Sabe-se que a própria estabilidade do ecossistema, isto é, sua capacidade de preservar um estado de equilíbrio termodinâmico ao longo do tempo, está diretamente relacionada à presença da biodiversidade (SWIFT & ANDERSON, 1994; RISSER, 1995; SAINT-BÉAT et al., 2015). Essa estabilidade não apenas evolui em função da maturidade de cada ecossistema como está associada à sua estrutura única de teia trófica, cujo pilar é a biodiversidade (SAINT-BÉAT et al., 2015).

É nesse sentido que Gomes et al (2012) evidenciam, através de estudos com tomateiro, a influência positiva da diversidade vegetal para manejo de pragas em sistemas de policultivo; bem como Bianchini, Booij & Tschardtke (2006) mostram que a atividade de inimigos naturais é melhorada em função do aumento da complexidade e da diversidade da composição paisagística em cerca de 80% em habitats herbáceos e 71% em habitats arborizados. Observa-se também a atuação de árvores secretoras de nectários extraflorais, uma vez que essas substâncias, compostas por açúcares, aminoácidos, vitaminas e outros nutrientes, servem de alimento alternativo a himenópteros que auxiliam no controle natural de pragas, especialmente formigas, cuja presença está associada à maior diversidade vegetal, podendo auxiliar diretamente no controle natural das pragas molestando a fauna herbívora (cortadeiras e saúvas representam apenas 2% das espécies de formigas da América do Sul e Central) (FLUENTE & MARQUIS, 1998; FERNÁNDEZ & OSPINA, 2003; REZENDE et al., 2014).

### 3.2 MICROCLIMA E MANEJO DOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Além de sua importante influência na regulação trófica, o componente vegetal também influencia na formação de um microclima próprio do ecossistema, permitindo que ele apresente temperaturas mais amenas quando comparado com o meio desprovido de cobertura vegetal. Esse efeito se deve à cobertura de dossel realizada pela copa das árvores, que geram sombreamento direto sobre o solo, ao mesmo tempo em que oferecem obstáculo físico ao fluxo do vento (VIGIAK et al., 2003; KARVATTE JR. et al., 2016). O sombreamento, o efeito corta-vento e a decorrente formação de microclima próprio atraem animais polinizadores, como as abelhas; decompositores, como os besouros

Scarabaeinae; dispersores, como os pássaros; ou inimigos naturais (ALTIERI, 2012; FILHO, 2015).

A formação de microclima também desacelera o processo de decomposição da serrapilheira devido à menor incidência solar sobre o solo, isso garante que os nutrientes sejam mais regularmente aproveitados no longo prazo pelos seres que compõe o sistema (SHUKLA et al., 2009; COELHO, 2012), possibilitando a formação de um ecossistema perene. A título de exemplo, Valentini et al (2010) analisaram o efeito da arborização de um cafezal no município de Mococa – SP. O estudo comparou um cultivo a pleno sol e dois sistemas arborizados, um com coqueiro-anão e outro com seringueira, tendo este último apresentado o melhor desenvolvimento do cultivo, com redução de até 3°C das temperaturas máximas e elevação de até 2°C das temperaturas mínimas. A atuação das árvores, portanto, proporcionou ao agroecossistema a estabilização da temperatura numa média confortável, evitando ao mesmo tempo o aquecimento e o resfriamento excessivos.

Uma das consequências mais diretas dessa estabilização é o manejo mais racional dos recursos hídricos presentes no ecossistema. A disponibilidade de água, por sua vez, é um convite aos animais da redondeza, que certamente preferem ambientes mais frescos. Entre esses animais figuram os besouros Scarabaeinae, que contribuem positivamente para a ciclagem de nutrientes, formação de solos quimicamente férteis e dispersão secundária de sementes presentes nas fezes que utilizam como recurso (FILHO, 2015).

Junior & Parron (2015) afirmam que os serviços ecossistêmicos hídricos abrangem os serviços de provisão, regulação e suporte. Ressaltam a atuação fundamental da vegetação ripária na proteção dos recursos hídricos naturais e na melhoria da prestação dos serviços que eles oferecem, como a melhora da qualidade da água, a manutenção da fauna aquática, o controle do ciclo dos nutrientes na bacia hidrográfica, a estabilidade de ribanceiras (com a formação do emaranhado de raízes), a filtragem do escoamento superficial, entre outros. Ainda assim, Bonnesoeur et al. (2019) reforçaram a importância da floresta para regulação hidrológica e mitigação da erosão do solo e deslizamento de terra sobre corpos hídricos nos Andes.

### 3.3 ATIVIDADE EDÁFICA E CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Evidentemente que toda riqueza vegetal (e consequentemente animal) presente em um ecossistema está relacionada e sofre influência de processos que ocorrem no solo, seja sob influência biótica ou abiótica. De fato, é essa interdependência multifatorial que projeta a necessidade de uma visão holística nas ciências agrárias

(BERTALLANFY, 1968). Isso se mostra especialmente evidente quando se trata do solo, sua formação geológica, características físico-químicas e claro, a influência dos organismos vivos sobre ele e vice-versa.

Há pouco foi falado da ciclagem de nutrientes. Esse é um fenômeno, como dito, que é promovido por espécies vegetais arbóreas e sua rizosfera, no entanto sua atuação está relacionada com outro fator de grande importância: a atividade microbiológica. Os microorganismos são fundamentais para diversos processos que determinam o funcionamento da teia trófica e, portanto, de todo o ecossistema, como a fixação de nitrogênio, decomposição de matéria orgânica, mutualismos, entre outros; além disso, eles compõem de 1 a 5% da biomassa total do solo (BRADY & WEIL, 2013; LEPSCH, 2011).

Alguns microorganismos do solo são importantes por sua capacidade de fixar o nitrogênio, tornando-o disponível para absorção pelas plantas. No mesmo sentido, atuam convertendo formas orgânicas de nitrogênio, fósforo e enxofre para formas minerais que podem ser absorvidas pelas raízes. Ainda participam de transformações inorgânicas que controlam o potencial de toxicidade dos solos, favorecendo o crescimento das plantas. E quando se fala em crescimento de plantas, não há como não citar as importantes rizobactérias promotoras do crescimento (microorganismos adaptados para sobreviver na região imediatamente ao redor de raízes). Em outras palavras, pouca interação ocorre entre solo e raízes na ausência de microorganismos (BRADY & WEIL, 2013).

O sistema florestal se destaca como promotor de melhorias na atividade microbiológica do solo (YADAV et al., 2011), por consequência, esse tipo de uso da terra favorece a formação de solos quimicamente férteis (devido a formação de húmus pela decomposição), bem como o uso inesgotável dos recursos presentes no ecossistema, uma vez que os seres individuais compõem um contínuo ciclo termodinâmico de usos e trocas de recursos, formando o todo ecossistêmico (ODUM, 2004; BRADY & WEIL, 2013).

De fato, a importância do componente vegetal no estabelecimento à longo prazo de ciclos virtuosos, como o da água, é notória, mas pode ser entendido com mais clareza quando se trata dos ciclos do nitrogênio e do carbono. Há uma crescente preocupação com o primeiro, pois a aplicação de fertilizantes nitrogenados no solo tem sido aclamada como responsável por grande aumento da produtividade em sistemas de monocultivo (ALTIERI, 2012). No entanto, muitas espécies vegetais são ineficientes na absorção dos fertilizantes, o que ocasiona em perdas significativas por lixiviação (SCHROTH et al., 1999). Altieri (2012) alerta para o fato de que de todos os nutrientes que chegam aos

corpos hídricos superficiais nos EUA, de 50 a 70% tem sua origem nos fertilizantes químicos, o que acaba por ocasionar a eutrofização de rios, lagos, baías etc., e, conseqüentemente, a destruição de toda vida animal nesses ecossistemas aquáticos.

A influência positiva dos SAF's sobre os ecossistemas aquáticos já foi anunciada anteriormente, no entanto isso pode ser reforçado ao se observar que o nitrogênio lixiviado para corpos hídricos subsuperficiais pode ser reabsorvido por plantas com raízes suficientemente profundas (árvores) e, assim, reinserido na teia trófica do ecossistema por meio da serapilheira (BRADY & WEIL, 2013); no mesmo sentido, destaca-se a atuação da vegetação ripária em se tratando de corpos hídricos superficiais (JUNIOR & PARRON, 2015).

Com relação ao ciclo do carbono a preocupação assume contornos dramáticos quando do ponto de vista da crise climática global. Embora o quadro atual seja tido como alarmante, diversos modelos produtivos têm surgido como alternativa (ou “necessidades inadiáveis” conforme Caporal e Costabeber, 1994) para o sequestro de carbono da atmosfera. Isso destaca outra vez mais funcionalidades tipicamente encontradas em sistemas agroflorestais, uma vez que estes buscam se aproximar do funcionamento dos ecossistemas naturais.

George et al. (2012) ressaltam que a atuação positiva de práticas agroflorestais na Austrália tem sido importante para reverter o quadro de devastação das florestas ocorrida ao longo da colonização europeia e que, no entanto, essas práticas sofrem com pouco estímulo econômico e são desvalorizadas mesmo prestando importantes serviços ambientais à região, como regeneração das terras excessivamente salinas, aumento da qualidade da água, resiliência agrícola e sequestro de carbono. Este último é particularmente evidente quando comparado com pastagens e monoculturas. Callo-Concha et al. (2002) mostram o sequestro de carbono total (incluindo solo, serrapilheira e biomassa acima do solo) em diferentes usos da terra no mesmo período numa floresta tropical no Peru, com os sistemas agroflorestais apresentando sequestro de 205 toneladas/hectare do carbono atmosférico, enquanto pastagens e monoculturas realizaram o sequestro de 106 toneladas/hectare. Ainda nesse sentido, diversos estudos feitos no Brasil apontam que a presença do componente arbóreo em parques estaduais é fator determinante para o chamado conforto ambiental, decorrente da redução dos índices de CO<sub>2</sub> e, portanto, da temperatura local (CONCEIÇÃO *et al.*, 2021)

Fica assim evidenciada uma das formas pela qual um agroecossistema se comporta como sistema aberto (BERTALANFFY, 1968), neste caso em constante troca

de massa, energia e informação com o meio atmosférico. De fato, um dos fenômenos diretamente influenciados pela dinâmica vegetação-atmosfera são os chamados rios voadores (NASCIMENTO & QUADROS, 2018). Estes se formam a partir do movimento de massas de ar carregadas de umidade – boa parte proveniente da evapotranspiração das florestas – que se movem por milhares de quilômetros pelo continente e influenciam o ciclo hídrico de regiões como o sudeste e sul brasileiros.

Nessa perspectiva também pode-se observar as dinâmicas entre a vegetação e o solo; por exemplo Souza et al. (2017) mostram como o consórcio entre café conilon orgânico e espécies arbóreas/frutíferas são capazes de melhorar as qualidades físico-hídricas do solo; Maia et al. (2006) apontam para o sistema silvipastoril como alternativa para manutenção da qualidade do solo e produção de alimentos na região do semiárido cearense, sendo a qualidade do solo corroborada por Iwata et al. (2020) ao analisarem a atuação de um sistema agroflorestal em Bela Cruz – CE, que deu-se no incremento de matéria orgânica do solo bem com na redução de sua degradação, algo marcante na região pelo histórico uso do solo que lá se desenvolveu, intensivo e degradante. De modo complementar, Altieri & Nicholls (2012), afirmam que há importantes sinergias entre a melhora na fertilidade química do solo e o aumento da regulação das “pragas” pelas plantas, uma vez que a resistência natural da planta está diretamente relacionada à sua fisiologia e esta, por sua vez, pode ser influenciada pela qualidade do solo, bem como pela diversidade de seres que compõem a micro e a macrofauna edáficas. Em outras palavras, há uma correlação direta entre “solos saudáveis e plantas saudáveis” (ALTIERI & NICHOLLS, 2012).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS - O COMPONENTE FLORESTAL COMO ELO CONCILIADOR**

Tem-se argumentado a favor do uso de certas características físicas, químicas e biológicas dos (agro)ecossistemas como indicadores de serviços ambientais, como o estoque de matéria orgânica e carbono no solo, mitigação de emissões de gases do efeito estufa, a biodiversidade da fauna no solo, entre outras. Como demonstrado, os sistemas agroflorestais são capazes de interferir positivamente sobre essas características. Ressalta-se que cada região geográfica terá sua configuração própria de sistema agroflorestal em função de suas características únicas, como composição da biodiversidade, luminosidade, umidade, condições de solo, necessidades sócio-econômicas locais etc. Em todo caso, o cerne dos serviços ambientais oferecidos pelos variados sistemas agroflorestais está no

devido reconhecimento da participação complexa do componente vegetal, em especial das árvores. Embora seja sutil a curto prazo, compreender essa participação é fundamental para o estabelecimento de modelos produtivos de caráter perene, como as árvores o são.

Na natureza as árvores prestam serviços fundamentais para manutenção da vida. A ciclagem de nutrientes é o arcano para formação de florestas complexas. A sucessão ecológica permite que maior diversidade florísticas e faunísticas se manifeste numa região, estabelecendo a autorregulação.

Todos esses serviços ambientais podem ser utilizados pelos seres humanos, uma vez que forneçam a segurança e a permanência desses ecossistemas por meio do manejo consciente. Os sistemas agroflorestais possibilitam a conciliação desses ecossistemas com as demandas fisiológicas, históricas, antropológicas e econômicas do ser humano. Na verdade, essa conciliação não é só estimulada na agroecologia, é exigência central para que ela se consolide.

## REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. **Agroecologia: bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3. Ed., São Carlos: Editora Expressão Popular, 2012, 184p.
- ARAÚJO, A. C. M.; GOUVEIA, L. B., Uma revisão sobre os princípios da Teoria Geral dos Sistemas, **Revista Estação Científica**, n° 16, p. 1-14, 2016.
- ARTUZO, F. D. et al. Emergy unsustainability index for agricultural systems assessment: A proposal based on the laws of thermodynamics. **Science of the total environment**, v. 759, 2021.
- BALBINO, L. C. et al. Agricultura sustentável por meio da integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF). **Jornal Informações Agronômicas**, n° 138, p. 1-18, 2012.
- BALVANERA, P. et al. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. **Ecology Letters**, v. 9, n° 10, p. 1146-1156, 2006.
- BASTOS, C. S. et al, Incidência de insetos fitófagos e de predadores no milho e no feijão cultivados em sistema exclusivo e consorciado. **Revista Ciência Rural**, v. 33, n° 3, p. 391-397, 2003.
- BATILANI-FILHO, M. **Funções ecossistêmicas realizadas por besouros Scarabaeinae na decomposição da matéria orgânica: aspectos quantitativos em áreas de Mata Atlântica**, 2015, 115 p. Dissertação Mestrado em Ecologia – Centro de Ciências Biológicas, Univ. Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/135806>>. Acesso 24 abr. 2020.
- BERTOL, O. J. et al., Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em sistema de semeadura direta. **Revista Floresta**, v. 35, n° 3, 2005.
- BIANCHINI, F. J. J. A., BOOIJ, C. J. H., TSCHARNTKE, T. Sustainable pest regulation in agricultural landscapes: a review on landscape composition, biodiversity and natural pest control. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 273, p. 1715-1727, 2006.
- BLAU, M. L., LUZ, F., PANAGOPOULOS, T. Urban River Recovery Inspired by Nature-Based Solutions and Biophilic Design in Albufeira, Portugal. **Land**, v. 7, n° 4, p. 141, 2018.
- BONNESOEUR, V. et al. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review, **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 569-584, 2019.
- BREVILIERI, R. C., DIECKOW J. Mitigação de emissões de gases do efeito estufa em solos agrícolas e florestais como indicador de serviços ambientais. In: **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. 1ª Ed. PARRON, L. M. et al. (Ed.). Brasília: Embrapa, cap. 9, p. 109-121, 2015. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024082>>. Acesso 20 maio 2020.
- BROW, G. G. et al. Biodiversidade da fauna do solo e sua contribuição para os serviços ambientais. In: **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. 1ª Ed. PARRON, L. M. et al. (Ed.). Brasília: Embrapa, cap. 10, p. 122-

154, 2015. Disponível em <  
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024082>>. Acesso 20 maio 2020.

BRÜSEKE, F. J. A crítica da técnica moderna. **Revista Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 6, n° 1, p. 5-55, 1998.

CAMPBELL, E. M., ANTOS, J. A., VANAKKER, L. Resilience of southern Yukon boreal forests to spruce beetle outbreaks. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 52-63, 2019.

CAMPOS, Alexandre T., CAMPOS, Aloíso T., Balanços energéticos agropecuários: uma importante ferramenta como indicativo de sustentabilidade de agroecossistemas. **Ciência Rural**, v. 34, n° 6, 2004.

CAPORAL, F. R., COSTABEBER, J. A. Por uma nova extensão rural: fugindo da obsolescência. **Reforma Agrária**, v. 24, n° 2, p. 70-90, 1994.

CAPORAL, F. R., COSTABEBER, J. A. Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável: perspectivas para uma Nova Extensão Rural. **Revista Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, v. 1, n° 1, p. 16-37, 2000.

CARDOSO, D. J., PARRON, L. M., FRANCISCON, L., Carbono de biomassa em floresta nativa e sistemas florestais como indicador de serviços ambientais. In: **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. 1ª Ed. PARRON, L. M. et al. (Ed.). Brasília: Embrapa, cap. 6, p. 84-91, 2015. Disponível em <  
<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024082>>. Acesso 20 maio 2020.

CARVALHO, A. M.; ALVES, B. J. R., PEREIRA, L. L. **Emissão de Óxido Nitroso do solo com aplicação de fontes de fertilizantes nitrogenados em sistema de plantio direto no Cerrado**. In: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento n° 281. 1ª Ed., Planaltina: Embrapa Cerrados, 2010. 14 p.

COELHO, G. C., **Sistemas Agroflorestais**, 1ª Ed. São Carlos: Rima, 2012. 184 p.

COLLEY, T. A. et al. Delta Life Cycle Assessment of Regenerative Agriculture in a Sheep Farming System. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 16, n° 2, p. 282-290, 2019.

CONCEIÇÃO, M. M. M. et al. Condições ambientais e serviços ecossistêmicos de uma unidade de conservação de proteção integral. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n° 1, p. 9702-9718, 2021.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital, **Revista Nature**, v. 387, p. 253-260, 1997.

DAILY, Gretchen C. **Nature's services: Societal dependence on natural ecosystem**, 1997. Disponível em <<  
[https://www.researchgate.net/publication/37717461\\_Nature's\\_Services\\_Societal\\_Dependence\\_On\\_Natural\\_Ecosystems](https://www.researchgate.net/publication/37717461_Nature's_Services_Societal_Dependence_On_Natural_Ecosystems)>>. Acesso em 10 jun. 2020.

DE HAAS, B. R. et al. Combining agro-ecological functions in grass-clover mixtures. **AIMS Agriculture and Food**, v. 4, n° 3, p. 547-567, 2019.

DIOP, A. M. Sustainable Agriculture: New Paradigms and Old Practices? Increased Production with Management of Organic Inputs in Senegal. **Environment, Development and Sustainability**, v. 1, n° 1, p. 285–296, 1999.

DODD, M. et al. Evidence for early life in Earth's oldest hydrothermal vent precipitates, **Revista Nature**, v. 543, p. 60-64, 2017.

FERNÁNDEZ, F., OSPINA, M. Sinopsis de las hormigas de la región Neotropical, In: **Introducción a las Hormigas de la región Neotropical**, cap. 3, Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, p. 49-64. 2003. Disponível em <<<http://www.bionica.info/Biblioteca/Fernandez2003Hormigas03.pdf>>>. Acesso em 02/10/2020.

FERREIRA, L. R., **As agroflorestas como expressões do desenvolvimento rural no Rio Grande do Sul: Uma análise a partir da produção de novidades**, 2014, 148 p. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Rural - Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014. Disponível em <<http://hdl.handle.net/10183/109257>>. Acesso em 24 maio 2020.

FERREIRA, M. L. P. C. **A regulação do uso dos agrotóxicos no Brasil: uma proposta para um direito de sustentabilidade**, 2013, 346 p. Tese de Doutorado em Direito – Centro de Ciências Jurídicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/122689>>. Acesso em 21 abr. 2020.

FRANCHINI, J. C. et al. Integração lavoura-pecuária-floresta como estratégia para aumentar a produtividade e prover serviços ambientais no noroeste do Paraná. In: **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. 1ª Ed. PARRON, L. M. et al. (Ed.). Brasília: Embrapa, cap. 22, p. 266-270, 2015. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024082>>. Acesso em 20 maio 2020.

GOMES, F. B. et al. Incidência de pragas e desempenho produtivo de tomateiro orgânico em monocultivo e policultivo. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 756-761, 2012.

GONÇALVES, A. P. R. **Perspectivas para o pagamento por serviços ambientais para promover a agroecologia**. 2017, 212 p. Dissertação de Mestrado em Direito – Centro de Ciências Jurídicas, Univ. Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/176761>>. Acesso 18 jun. 2020.

GUEDES, F. B., SEEHUSEN, S. E. (Ed.), **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: Ministério do meio ambiente, 2011. Disponível em <[https://www.icmbio.gov.br/educacaoambiental/images/stories/biblioteca/educacao\\_ambiental/psa\\_na\\_mata\\_atlantica\\_licoes\\_aprendidas\\_e\\_desafios.pdf](https://www.icmbio.gov.br/educacaoambiental/images/stories/biblioteca/educacao_ambiental/psa_na_mata_atlantica_licoes_aprendidas_e_desafios.pdf)>. Acesso em 24/04/2020.

HARARI, Y. N. **Sapiens, uma breve história da humanidade**, Tradução de Janaína Marcoantonio, 16ª Ed. Porto Alegre: L&PM, 2015, 459 p.

IWATA, B. F. et al. Manejo de resíduos em argissolo sob agrofloresta no semiárido cearense, **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n° 4, p. 20702-20716, 2020.

KICHEL, A. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e o progresso do setor agropecuário brasileiro, In: BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**, 2ª ed. Brasília: Embrapa, 2012. 9 p.

KITAMURA, P. C. **Valoração de serviços ambientais em sistemas agroflorestais: métodos, problemas e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa, 2003, 4 p. Disponível em <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Kitamura\\_valoracaoID-UTXMUZ4w6e.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Kitamura_valoracaoID-UTXMUZ4w6e.pdf)>. Acesso em 05 jun. 2020.

LANGE, A. et al. Degradação do solo e pecuária extensiva no norte do Mato Grosso, **Revista Nativa**, v.7, nº 6, p. 642-648, 2019.

LIU, X., LIU, S. Introduction to the special issue: Biodiversity mechanism in natural succession and ecological restoration. **Ecological Engineering**, v. 143, 2020.

LORENSINI, F. et al. Lixiviação e volatilização de nitrogênio em um argilossolo cultivado com videira submetida à adubação nitrogenada. **Revista Ciência Rural**, v. 42, nº 7, p. 1173-1179, 2012.

LOSS, A. et al. Soil fertility and organic matter in Vertisol and Ultisol under forest and pasture coverage. **Revista Comunicata Scientiae**, v. 5, nº 1, 2014.

LUIZÃO, F. J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Revista Ciência e Cultura da Sociedade Brasileira para o progresso da Ciência**, v. 59, nº 3, p. 31-36, 2007.

MAIA, C. M. B. F., PARRON, L. M. Matéria orgânica como indicador da qualidade do solo e da prestação de serviços ambientais, In: **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. 1ª Ed. PARRON, L. M. et al. (Ed.). Brasília: Embrapa, cap. 8, p. 101-108, 2015. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1024082>>. Acesso 26 maio 2020.

MAIA, S. M. F. et al. Impactos de sistemas agroflorestal e convencional sobre a qualidade do solo no semiárido cearense. **Revista Árvore**, v. 30, nº 5, p. 837-848, 2006.

MARTIN, J. F. et al. Emergy evaluation of the performance and sustainability of three agricultural systems with different scales and management. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 115, nº 1-4, p. 128-140, 2006.

MURADIAN, R. et al. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 69, nº 6, p. 1202-1208, 2010.

MULLER, M. M. L. et al. Degradação de pastagens na região amazônica: propriedades físicas do solo e crescimento de raízes. **Revista Agropecuária Brasileira**, v. 36, nº 11, p. 1409-1418, 2001.

NASCIMENTO, L. L., QUADROS, J. R. Do tempo do direito ao tempo dos rios voadores: As águas da Amazônia à margem da lei. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v. 4, nº 2, p. 124-145, 2018.

ODUM, E. P. **Fundamentos de Ecologia**. 6ª Ed., Lisboa: Fund. Calouste Gulbenkian, 2004, 927 p. Disponível em <<https://www.slideshare.net/rassilon13/fundamentos-de-ecologia-odum-6-edio-1>>. Acesso em 3 abr. 2020

PEREIRA, L. F.; FERREIRA, C. F., GUIMARÃES, R. M. F. Manejo, qualidade e dinâmica da degradação de pastagens na Mata Atlântica de Minas Gerais – Brasil. **Revista Nativa**, v.6, n° 4, p. 370-379, 2018.

PODGAISKI, L. R., RODRIGUES, G. G. Leaf-litter decomposition of pioneer plants and detritivore macrofaunal assemblages on coal ash disposals in southern Brazil. **European Journal of Soil Biology**, v. 46, n° 6, p. 394-400, 2010.

POWER, A. G. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**. v. 365, p. 2959–2971, 2010.

RHODES, C. J. The Imperative for Regenerative Agriculture. **Science Progress**, v. 100, n° 1, p. 80-129, 2017.

SAINT-BÉAT, B. et al. Trophic networks: How do theories link ecosystem structure and functioning to stability properties? A review. **Ecological Indicators**, v. 52, p. 458-471, 2015.

SANTOS, P. Z. F., CROUZEILLES, R., SANSEVERO, J. B. B. Can agroforestry systems enhance biodiversity and ecosystem service provision in agricultural landscapes? A meta-analysis for the Brazilian Atlantic Forest. **Forest Ecology and Management**, v. 433, p. 140-145, 2019.

SCHREEFEL, L. et al. Regenerative agriculture – the soil is the base. **Global Food Security**, v. 26, 2020.

SILVA, Alcione H. et al., Atributos físicos do solo e escoamento superficial como indicadores de serviços ambientais In: **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. 1ª Ed. PARRON, L. M. et al. (Ed.). Brasília: Embrapa, cap. 5, p. 71-83, 2015.

SOUZA, G. S. et al, Atributos físico-hídricos do solo com café canilon orgânico consorciado com espécies arbóreas e frutíferas, **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n° 7, 2017.

SWIFT, M. J., ANDERSON, J. M., Biodiversity and Ecosystem Function in Agricultural Systems, In: **Biodiversity and Ecosystem Function**, 1994, 1ª Ed. SCHULZE, E., MOONEY, H. A. (Ed.) Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, cap. 2, p. 15-41, 1994. Disponível em <[https://doi.org/10.1007/978-3-642-58001-7\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-58001-7_2)>. Acesso em 7 mar. 2021.

SZYMCZAK, D. A. et al., Compactação do solo causada por tratores florestais na colheita de *Pinus taeda* L. na região sudoeste do Paraná. **Revista Árvore**, v. 38, n° 4, p. 641-648, 2014.

TEAGUE, R. & BARNES, M. Grazing management that regenerates ecosystem function and grazingland livelihoods. **African Journal of Range & Forage Science**, v. 34, n° 2, p. 77-86, 2017.

TILMAN, D., REICH, P. B. & KNOPS, J. M. H., Biodiversity and ecosystem stability in a decade-long grassland experiment, **Revista Nature**, v. 441, p. 629-632, 2006.

UZÊDA, M. C. et al. Eutrofização de solos e comunidade arbórea em fragmentos de uma paisagem agrícola. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, nº 9, p. 1120-1130, 2016.

VALENTINI, L. S. P. et al. Temperatura do ar em sistemas de produção de café arábica em monocultivo e arborizados com seringueira e coqueiro-anão na região de Mococa - SP, **Revista Bragantia**, v. 69, nº 4, p. 1005-1010, 2010.

VAN DER PLAS, F. Biodiversity and ecosystem functioning in naturally assembled communities, **Biological Reviews**, v. 94, nº 4, p. 1220-1245, 2019.

VASCONCELLOS, R. C.; BELTRÃO, N. E. S., Avaliação de prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais através de indicadores ambientais. **Revista Interações**, v. 19, n. 1, p. 209-220, 2018.

VON BERTALANFFY, K. L. **Teoria Geral dos Sistemas – Fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. Tradução de Francisco M. Guimarães. 5ª Ed. Petrópolis: Vozes, 2006. 360p.

WARTH, B. Modelling land use change effects on ecosystem functions in African Savannas – A review, **Global Food Security**, v. 26, 2020.

WHITE, R. E. & ANDREW, M. Orthodox Soil Science versus Alternative Philosophies: A Clash of Cultures in a Modern Context. **Sustainability**, v. 11, nº 10, p. 2-7, 2019.

WILLIAMS-GUILLÉN, K., PERFECTO, I., VANDERMEER, J. Bats limit insects in a neotropical agroforestry system, **Revista Science**, v. 320, p. 70, 2008.

WUNDERLE Jr., J. M. The role of animal seed dispersal in accelerating native forest regeneration on degraded tropical lands, **Forestry Ecology and Management**, v. 99, p. 223–235, 1997.