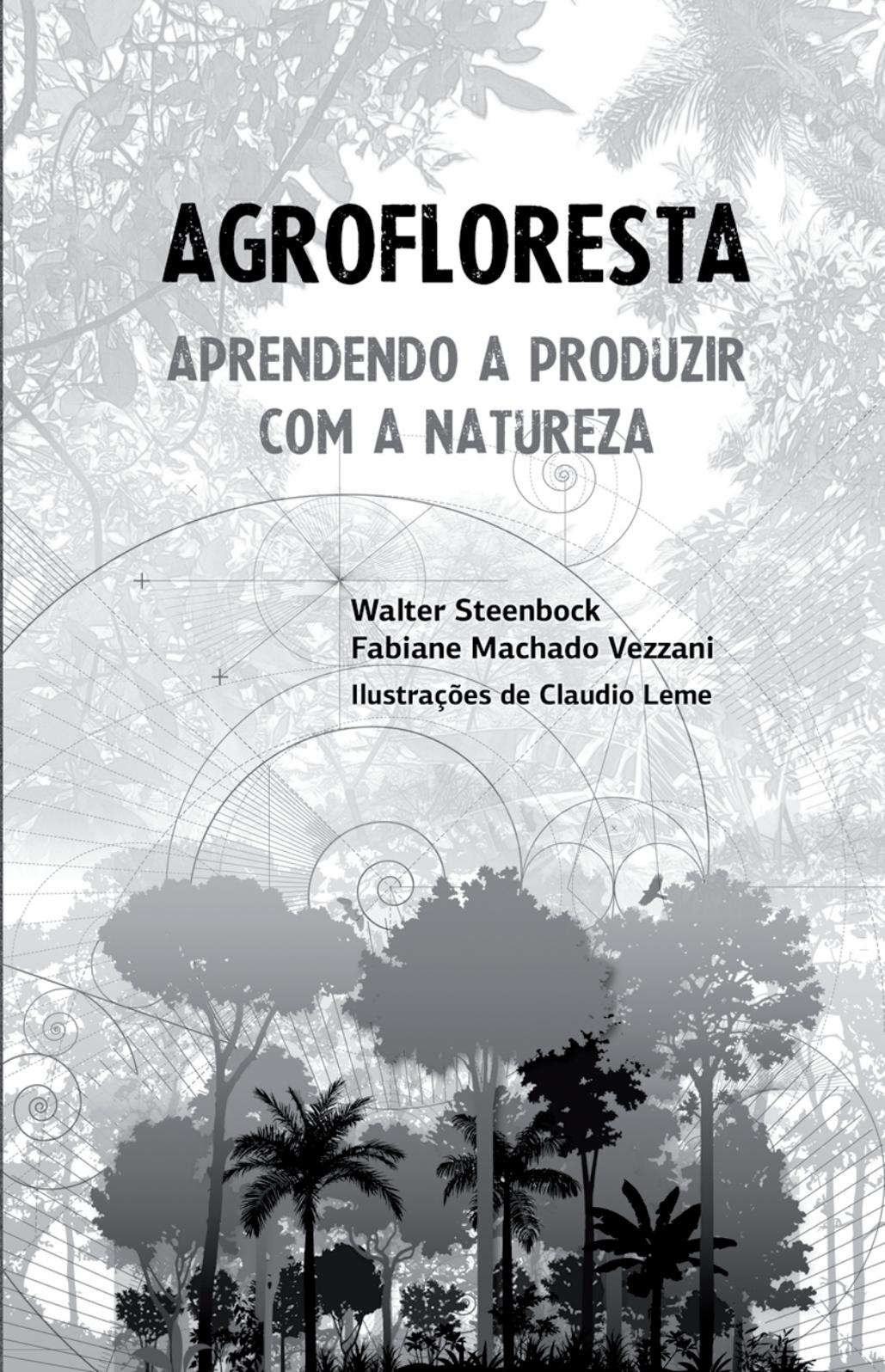


AGROFLORESTA

**APRENDENDO A PRODUZIR
COM A NATUREZA**

**Walter Steenbock
Fabiane Machado Vezzani
Ilustrações de Claudio Leme**



Walter Steenbock
Fabiane Machado Vezzani

Ilustrações de Claudio Leme

AGROFLORESTA
APRENDENDO A
PRODUZIR COM A NATUREZA

1ª edição

Curitiba
Fabiane Machado Vezzani
2013

1ª Edição: 2013

Tiragem: 1.000 exemplares

Capa e Design Gráfico: Claudio Leme

Revisão Ortográfica: Gabriela Koza

S814 Steenbock, Walter

Agrofloresta : aprendendo a produzir com a natureza /
Walter Steenbock; Fabiane Machado Vezzani. – Curitiba :
Fabiane Machado Vezzani, 2013.

148p. il.

ISBN 978-85-908740-1-0

1. Agrosilvicultura. 2. Agroecologia. 3. Biodiversidade.
4. Desenvolvimento sustentável. I. Vezzani, Fabiane Machado.
II. Título.

CDD 634.99

CDU 631.95

IMPRESSO NO BRASIL/PRINTED IN BRAZIL

Permitida a reprodução parcial ou total desta obra, em diferentes meios, desde que citada a fonte e não se preste a fins comerciais.

Agradecemos ao MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO (MDA), por intermédio da Secretaria da Agricultura Familiar (SAF) e o CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq, no âmbito da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural - PNATER, por meio do Edital 58/2010 – Chamada 2: Núcleos de Pesquisa e Extensão, que fomentou a construção do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia da Universidade Federal do Paraná (NEPEA), que dentre as suas ações fortaleceu parcerias entre instituições de pesquisa e extensão na área de Agroecologia, qualificou a formação de professores, alunos e técnicos e proporcionou os recursos financeiros para a realização desse livro.

Agradecemos aos agricultores e aos técnicos da Cooperafloresta, cujo grandioso conhecimento e valiosa prática tornam possível este texto. Em especial, ao grande amigo Nelson Eduardo Corrêa Netto.

SOBRE NÓS

Walter Steenbock

Engenheiro Agrônomo, Mestre e Doutor em Recursos Genéticos Vegetais pela Universidade Federal de Santa Catarina. Analista ambiental do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, atuando na Coordenação Regional do Instituto no Sul do Brasil. Desenvolve pesquisas na área de sistemas agroflorestais e manejo de populações naturais de plantas. Email: walter.steenbock@icmbio.gov.br

Fabiane Machado Vezzani

Engenheira Agrônoma, Mestre e Doutora em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professora do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná. Atua na área de Manejo Ecológico do Solo e desenvolve pesquisas no tema Qualidade do Solo. Email: vezzani@ufpr.br

Claudio Leme Ferreira

Artista gráfico e músico. Atua na comunicação de projetos socioambientais e em atividades relacionadas à diversidade cultural e espiritual. Email: clauleme@yahoo.com.br

SUMÁRIO

Apresentação



Parte 1

Sistemas vivos	12
Sistemas agroflorestais como sistemas vivos	22
O papel da fotossíntese	26
A busca pela eficiência fotossintética nos sistemas agroflorestais	33
O papel da sucessão ecológica	40
O uso do conhecimento da sucessão ecológica na prática agroflorestal	50
O solo como resultado da prática agroflorestal	54
O manejo do solo agroflorestal	69
Os caminhos da biodiversidade	75
O manejo da biodiversidade em sistemas agroflorestais	81

Parte 2

Linhas gerais para a prática agroflorestal	90
1. Identificando o espaço para a prática agroflorestal	91
2. Implantando uma agrofloresta	97
3. Manejo inicial do capim e das espécies de ciclo curto	121
4. Manejo de agroflorestas maduras	127
4.1 Poda de estratificação	131
4.2 Poda de frutificação	133
4.3 Poda de eliminação	134
4.4 Cuidados na poda	135
5. “Completando” agroflorestas	137
6. Renovação da agrofloresta	138

APRESENTAÇÃO

Em uma definição ampla, sistemas agroflorestais (SAFs) são combinações do elemento arbóreo com herbáceas e/ou animais, organizados no espaço e/ou no tempo.

A legislação brasileira, em diferentes instrumentos legais (Brasil, 2009; Brasil, 2011), tem definido sistemas agroflorestais como “sistemas de uso e ocupação do solo em que plantas lenhosas perenes são manejadas em associação com plantas herbáceas, arbustivas, arbóreas, culturas agrícolas, forrageiras em uma mesma unidade de manejo, de acordo com arranjo espacial e temporal, com alta diversidade de espécies e interações entre estes componentes”.

Quando caracterizados pela alta diversidade de espécies e pela ocupação vertical de diversos estratos, os sistemas agroflorestais são comumente chamados, na literatura, de sistemas agroflorestais multiestrata (Angel-Pérez & Mendoza, 2004; Benjamin et al., 2001; Caja-Giron & Sinclair, 2001; Staver et al., 2001; Granados, 2005; Silveira, 2005; Holguin et al., 2007).

Muito embora diferentes definições de sistemas agroflorestais caracterizem estas áreas, grosso modo, como consórcios entre árvores e culturas agrícolas, é relevante destacar, nestes sistemas, o cuidado com o manejo da luminosidade, da produtividade primária, da sucessão natural, da reciclagem de nutrientes e das relações ecológicas.

Em outras palavras, mais do que identificar os componentes de uma agrofloresta – árvores, arbustos e culturas agrícolas –, é importante caracterizar que intervenções ou práticas de manejo estão por trás dessa estrutura. Mal comparando, pode-se caracterizar uma praça como um local que contém brinquedos infantis, como escorregador, balanço e gangorra. Entretanto, são as crianças balançando nos balanços, brincando na areia, rodando com o avô, jogando bola, subindo ou descendo do escorregador ou andando de bicicleta que fazem a praça.



De forma análoga, caso não considerarmos os elementos definidores da estrutura agroflorestal, corremos o risco de manter a mesma lógica produtiva da artificialização de agroecossistemas, comum na agricultura convencional, para a produção agroflorestal.

Na agrofloresta, não se trata de artificializar as condições para a germinação e crescimento das espécies de interesse, mas de potencializar os processos naturais para a otimização da produção, tanto das espécies de interesse quanto da biodiversidade como um todo. É justamente nessa diferença de orientação do processo produtivo que a prática agroflorestal pode contribuir para a sustentabilidade da produção de alimentos.

Para Götsch (1995), “os sistemas agroflorestais, conduzidos sob o fundamento agroecológico, transcendem qualquer modelo pronto e sugerem sustentabilidade por partir de conceitos básicos fundamentais, aproveitando os conhecimentos locais e desenhando sistemas adaptados para o potencial natural do lugar”. A partir dessa definição, Götsch (1995) propõe que “uma intervenção é sustentável se o balanço de energia complexificada e de vida é positivo, tanto no subsistema em que essa intervenção foi realizada quanto no sistema inteiro, isto é, no macrorganismo planeta Terra; sustentabilidade mesmo só será alcançada quando tivermos agroecossistemas parecidos na sua forma, estrutura e dinâmica ao ecossistema natural e original do lugar da intervenção (...)”.

Esta concepção se mescla ao pensamento contemporâneo de conservação ambiental, que vem assumindo cada vez mais a importância do uso sustentável da biodiversidade como paradigma e, neste paradigma, o envolvimento da dinâmica da biodiversidade associada à dinâmica do uso humano. Cada vez mais se concebe a natureza não como uma imagem estática, na qual a sustentabilidade do uso represente algo como poder tirar um pedaço pequeno dessa imagem, sem comprometer sua integridade – o que de fato seria impossível. O uso sustentável só é possível na prática de contribuição deste uso com os processos naturais, no rumo crescente da integração, da troca e do aumento de biodiversidade e de produtividade.

A concepção geológica, climática, biogeográfica, evolutiva e ecologicamente dinâmica da biodiversidade indica que, mais que a preservação das espécies ou comunidades de forma isolada, o objetivo central da conservação biológica é possibilitar a continuidade dos processos evolutivos e ecológicos (Pickett & Rozzi, 2000). Richard Primack, um dos mais expoentes representantes da biologia da conservação atual, em conjunto com outros colegas, descreve que, se pensarmos metaforicamente que a vida é como a música e esperarmos que a música siga vibrando, então não devemos pretender guardar os instrumentos musicais em vitrines e evitar que sejam tocados por seres humanos, mas sim devemos estimular que os músicos possam tocar delicadamente as cordas em um quarteto, reverberar os tambores e respirar com as flautas, mantendo o movimento musical adequado ao tempo. É com essa perspectiva que se trará a biodiversidade em nível de genes, populações, espécies, comunidades biológicas, ecossistemas e regiões (Rozzi et al., 2001).

Fazer agrofloresta, nesta metáfora, é perceber e tocar a música.

A prática agroflorestal envolve captar e entender como os processos vitais, os ciclos biogeoquímicos e as relações ecológicas estão acontecendo, identificando como potencializá-los para o aumento de fertilidade, produtividade e biodiversidade naquele espaço.

Essa identificação deve recorrer, sem dúvida, ao uso de conhecimentos acumulados, tanto a partir da prática acadêmica quanto a partir da prática produtiva – ou seja, ao uso do conhecimento científico e do saber ecológico local. Mas, essa identificação envolve também, com igual importância, o “perguntar” ao ambiente o que ele está fazendo no rumo do incremento de fertilidade e biodiversidade. Assim, fazer agrofloresta consiste em trazer as ferramentas do conhecimento para utilizá-las nos processos naturais daquele espaço, naquele momento, em um movimento constante e balanceado entre percepção e prática. Em outras palavras, fazer agrofloresta é manter um diálogo constante com o ambiente natural, conversando com seus processos e relações, perguntando o que é mais adequado ao seu fluxo

e, ao trazer sua contribuição a este fluxo, receber dele a produção de alimentos. Assim, fazer agrofloresta é, também, educar-se ambientalmente.

Este livro traz alguns conceitos de ecologia, discutindo sua aplicação na prática agroflorestal. Não parte, entretanto, de hipóteses da aplicação desses conceitos, mas, principalmente, de “trazer ao papel”, ainda que de forma fragmentada, a aplicabilidade desses conceitos, experienciada, especialmente, por agricultores familiares associados à Cooperafloresta (Associação de Agricultores Agroflorestais de Barra do Turvo - SP e Adrianópolis - PR). Há quase duas décadas, agricultores e técnicos destes municípios, no Alto Vale do Rio Ribeira, entre Paraná e São Paulo, vêm produzindo alimentos em conjunto com o incremento de fertilidade e conservação do solo, de biodiversidade, de autonomia e de segurança alimentar, por meio da agrofloresta. Hoje, nessa região, mais de uma centena de famílias têm na prática agroflorestal sua opção de produção e reprodução familiar, demonstrando, assim, esse caminho.

Na primeira parte deste livro, apresentam-se e discutem-se conceitos ecológicos de forma contextualizada com a prática agroflorestal. Na segunda parte, descreve-se, brevemente, como as famílias agricultoras da Cooperafloresta fazem isso.

Longe da pretensão de detalhar profundamente os conceitos, e mais longe ainda da pretensão de descrever todos os aspectos relacionados à prática agroflorestal, pretende-se que este livro possa ajudar estudantes, agricultores e professores a utilizarem a agrofloresta como caminho, ou como música.

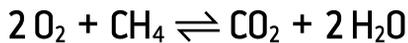
A black and white photograph of a dense tropical forest. The scene is filled with various types of plants, including large-leafed banana-like plants in the foreground and numerous palm trees throughout the midground and background. The forest appears thick and lush, with sunlight filtering through the canopy, creating a dappled light effect. The overall composition is a vertical shot looking slightly upwards into the trees.

PARTE 1

SISTEMAS VIVOS

Os sistemas de produção agrícola, como os sistemas agroflorestais, são sistemas vivos. O entendimento dos sistemas vivos, suas características e princípios, é fundamental para a compreensão do funcionamento dos sistemas de produção agrícola.

A Teoria de Gaia representa claramente o funcionamento dos sistemas vivos. Essa teoria foi elaborada na década dos anos 60, enquanto o químico James Lovelock colaborava no projeto de Pesquisa Lunar e Planetária do Laboratório de Propulsão a Jato em Pasadena, na Califórnia (USA). Um dos objetivos do projeto era descobrir se havia vida no planeta Marte. Para isso, Lovelock pesquisou como os seres vivos terráqueos funcionavam e percebeu que toda a forma de vida extrai energia e matéria do ambiente e descarta subprodutos da atividade. O subproduto das plantas, dos animais e dos microrganismos são gases (gás carbônico [CO₂], metano [CH₄] e oxigênio [O₂]). Então, ele fez uma análise da atmosfera dos planetas Terra e Marte. O estudo indicou que havia uma alta concentração dos gases oxigênio e metano e uma baixa concentração do gás carbônico na atmosfera da Terra. Composição completamente inesperada, considerando a lei química de alta interação entre os gases oxigênio e metano, formando gás carbônico e água, conforme reação abaixo:



Entretanto, a análise da atmosfera de Marte informou o oposto: baixa concentração dos gases oxigênio e metano e alta concentração de gás carbônico, ou seja, de acordo com a lei química.

Nesse momento, Lovelock convidou a bióloga Lynn Margulis para interpretar os resultados dessa pesquisa e juntos concluíram que a diferença entre as atmosferas dos dois planetas é a existência de vida na Terra! A atmosfera da Terra é uma mistura instável de gases. Ou seja, os gases são continuamente liberados como subprodutos dos sistemas vivos e reagem

entre si. Sendo assim, a concentração dos gases se mantém, em função dos seres vivos, e, ao mesmo tempo, a concentração dos gases é favorável à continuidade dos seres vivos.

A Teoria de Gaia de Lovelock e Margulis diz que a vida é resultado das condições do meio que é produzido pelos sistemas vivos em interação com os não vivos. A vida é resultado da própria vida!

A vida no planeta Terra é uma rede de relações complexas, e essa rede é o meio adequado para a existência da vida. Como afirmaram James Lovelock e Lynn Margulis: “A evolução dos organismos se encontra tão intimamente articulada com a evolução do seu ambiente físico e químico, que juntas constituem um único processo evolutivo, que é autorregulador” (Lovelock, 2006). Assim como é o planeta Terra, são os sistemas agrícolas, no caso, as agroflorestas.

Os sistemas vivos são fechados quanto à sua organização; abertos em relação à energia e à matéria, fazendo uso de um fluxo constante para produzir, reparar e perpetuar a si mesmos; e operam num estado distante do equilíbrio termodinâmico, um estado em que novas estruturas e novas formas de ordem podem surgir espontaneamente, o que conduz ao desenvolvimento e à evolução (Capra, 2005).

Em relação ao aspecto dos sistemas vivos serem fechados quanto à sua organização, pensemos o seguinte: desde a célula até os peixes, os pássaros, as gramas, os bovinos, as árvores... todos os organismos vivos possuem um limite físico. E, dentro desse limite físico, há uma organização específica de seus componentes, que o caracteriza como uma célula, um peixe, uma grama, um bovino, uma árvore. O que acontece é que essa organização dos componentes tem um padrão de rede, ou seja, todos os componentes estão interligados numa rede de relações complexas e não lineares. Se observarmos atentamente, percebemos que o padrão de rede repete-se em todo o mundo vivo. Bertalanffy, em 1950, afirmou, na sua Teoria Geral dos Sistemas, que “o padrão em rede é comum a todas as formas de vida” (von Bertalanffy, 1950).

Vejamos na Figura 1 em que uma rede de moléculas constitui uma célula. Uma rede de células constitui um organismo. Uma rede de organismos

constitui um ecossistema. São redes dentro de redes. E nessa organização é que se forma a “rede alimentar” do planeta (e do Universo...).

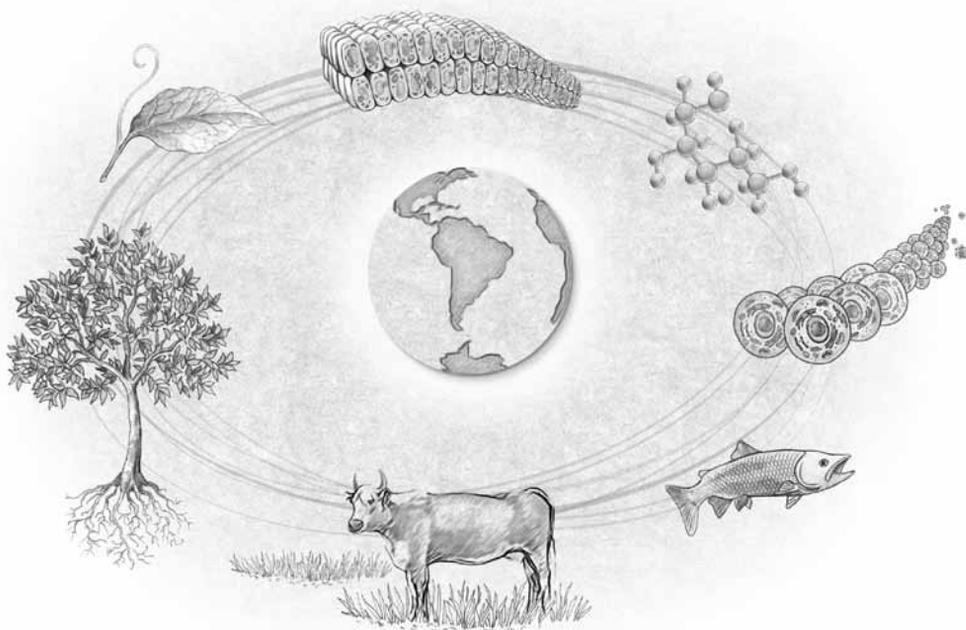


Figura 1. Representação esquemática do padrão de rede no espectro de moléculas a organismos superiores.

O aspecto dos sistemas vivos serem abertos está baseado em que os organismos para manterem-se vivos precisam alimentar-se de um fluxo contínuo de energia e matéria assimiladas do ambiente. E é desta forma que os sistemas vivos são abertos do ponto de vista energético e material, fazendo uso de um fluxo constante de energia e matéria para produzir, reparar e perpetuar a si mesmos. Todos os organismos vivos produzem dejetos continuamente, e esse fluxo de energia e matéria (alimento e excreção) estabelece o lugar que eles ocupam na rede alimentar. Dito de outra

forma, nesse fluxo, o que cada um precisa e libera define o seu lugar na rede alimentar, como mostra a Figura 2. Nesse sentido, Capra (2005) afirmou: “Os limites entre esses sistemas não são limites de separação, mas limites de identidade; todos os sistemas vivos comunicam-se uns com os outros e partilham seus recursos, transpondo limites”. Em um ecossistema, as trocas de energia e matéria são sustentadas por uma “cooperação generalizada” (Capra, 2005).

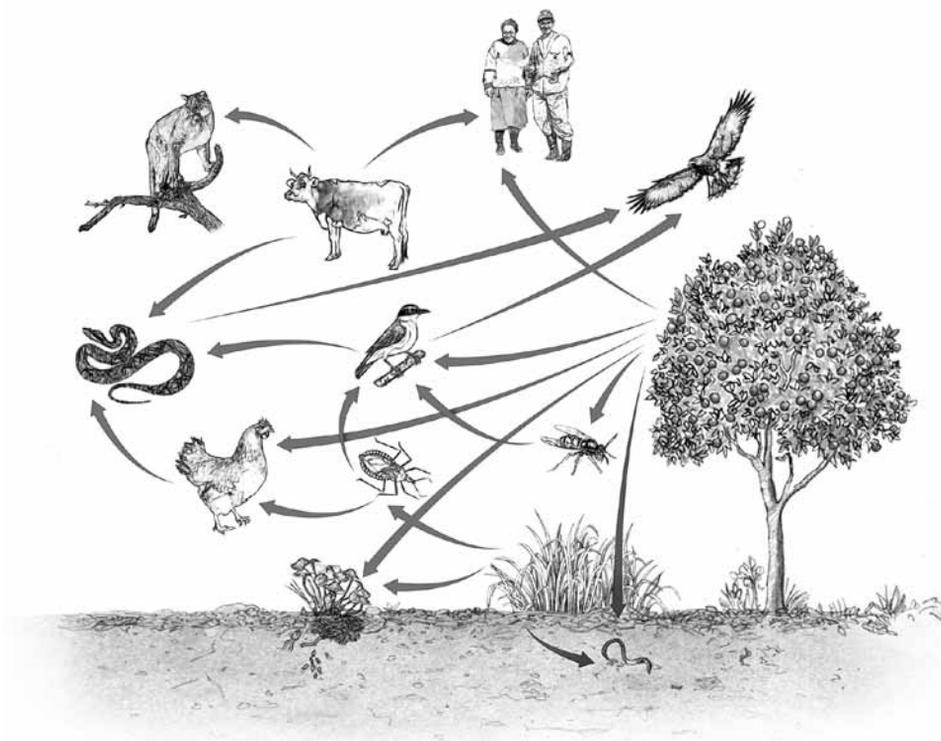


Figura 2. Representação esquemática de uma rede alimentar.

O fluxo constante de energia e matéria que caracteriza os sistemas vivos faz com que estes sistemas estejam sempre longe do equilíbrio termodinâmico. Relembrando a termodinâmica clássica, os sistemas são clas-

sificados em isolados, aqueles que não trocam energia nem matéria com o meio; fechados, aqueles que trocam energia, mas não trocam matéria com o meio; e os abertos, que trocam energia e matéria com o meio. A definição de “equilíbrio” de um sistema é oriunda da termodinâmica clássica e é tida como o ponto de mínima produção de energia livre que um sistema fechado alcança. Observe a Figura 3, que representa a energia livre de uma reação química (energia livre de Gibbs), definida como um sistema fechado na termodinâmica clássica. O ponto de “equilíbrio” é atingido quando todos os reagentes reagiram e produziram os produtos. A energia livre era máxima no início da reação, antes de os reagentes serem misturados, e atingiu um valor mínimo, quando todo o produto foi formado. A partir do ponto de equilíbrio, a reação cessa. Portanto, o equilíbrio termodinâmico é um estado característico de sistemas fechados, no qual o sistema, após receber uma quantidade de energia e matéria, tende para um estado estacionário, onde não ocorrem mais alterações nas concentrações dos reagentes nem dos produtos. Como os sistemas abertos recebem, continuamente, um fluxo de energia e matéria, o equilíbrio nos sistemas vivos *nunca* é atingido.

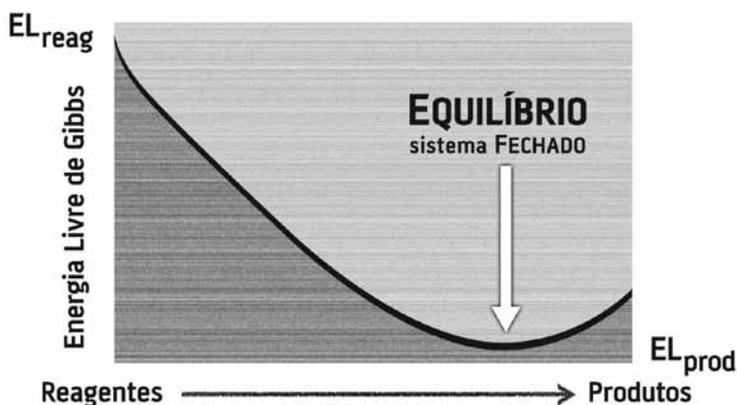


Figura 3. Representação esquemática da variação da energia livre de Gibbs (EL) durante a reação entre reagentes (reag) transformando em produtos (prod) e indicando o ponto de “equilíbrio” em sistema fechado (uma reação química). Fonte: adaptado de Russel (1994).

Dessa forma, os sistemas vivos operam num estado distante do equilíbrio termodinâmico. É nesse estado de não equilíbrio que os sistemas vivos têm capacidade de se auto-organizar e produzir novas estruturas e novas formas de ordem, desenvolvendo-se e evoluindo. A auto-organização ocorre porque os sistemas são configurados num padrão de rede de relações, as quais possuem um vínculo de causa. Se observarmos a Figura 4, proposta por Capra (1996) para representar a configuração dos sistemas abertos, os círculos representam o limite físico dos elementos que compõem um determinado sistema, e as linhas retas representam as relações. Percebemos que os limites dos elementos não têm importância; o que interessa são as relações dentro e entre eles. Os próprios elementos são o resultado de uma rede de relações, e é, através das relações dentro deles, que os elementos estão interligados, são as “redes dentro de redes”, como chamou Capra (1996).

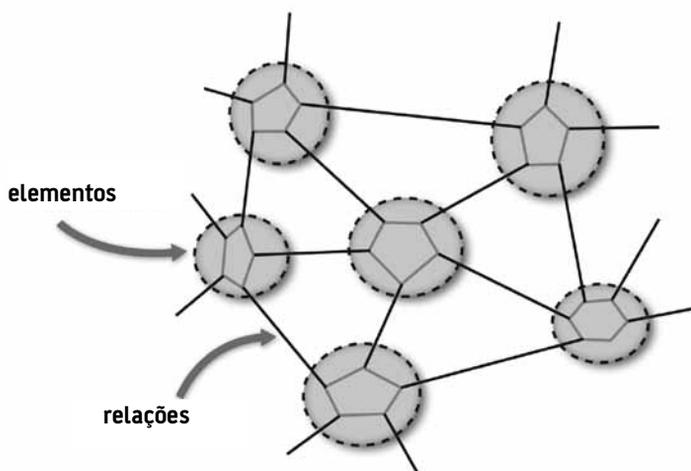


Figura 4. Configuração de um sistema aberto. Círculos com linhas tracejadas representam os elementos; linhas contínuas, as relações dentro dos elementos e entre eles. Fonte: Capra (1996).

Por isso, qualquer mensagem recebida em algum ponto desse sistema irá percorrer toda a rede de relações, e o sistema irá se auto-organizar em função dessa nova mensagem recebida, como mostra a Figura 5.

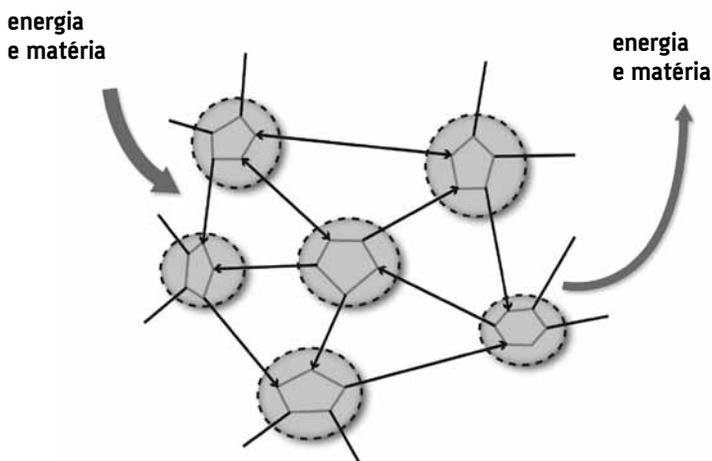


Figura 5. Representação esquemática da configuração do padrão de rede de um sistema aberto, indicando a passagem do fluxo de energia e matéria. Fonte: adaptado de Capra (1996).

Num primeiro momento, a energia e a matéria recebidas pelo sistema dissipam-se entre a rede de relações e causam uma instabilidade; porém, é com essa mesma energia e matéria que o sistema se auto-organiza em outro estado de ordem em diferente nível de complexidade, evoluindo e desenvolvendo-se dependendo das características do fluxo de energia e matéria. A Figura 6 mostra esse processo. Se a magnitude do fluxo de energia e matéria que passa através das relações não lineares entre os elementos aumenta, emergem espontaneamente novas estruturas e formas de comportamento em níveis energéticos sucessivamente mais elevados, que se caracterizam pela crescente diversidade e complexidade da estrutura e das suas formas de comportamento, resultado de relações complexas entre os elementos e da alta quantidade de energia e matéria retida. O sistema tende ao desenvolvimento. Por outro lado, a alteração do fluxo pode gerar

decomposição, quando a magnitude de energia e matéria que passa pelo sistema diminui e, através da corrente de relações não lineares entre os elementos, um novo estado de ordem emerge, porém com menor quantidade de energia e matéria retida. Quando isso ocorre, o andamento do fluxo resulta no surgimento de estados de ordem em níveis energéticos sucessivamente mais baixos, que se caracterizam pela crescente simplicidade da estrutura e das suas formas de comportamento, resultado de relações simples entre os elementos e de baixa quantidade de energia e matéria retida. O sistema tende à decomposição (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

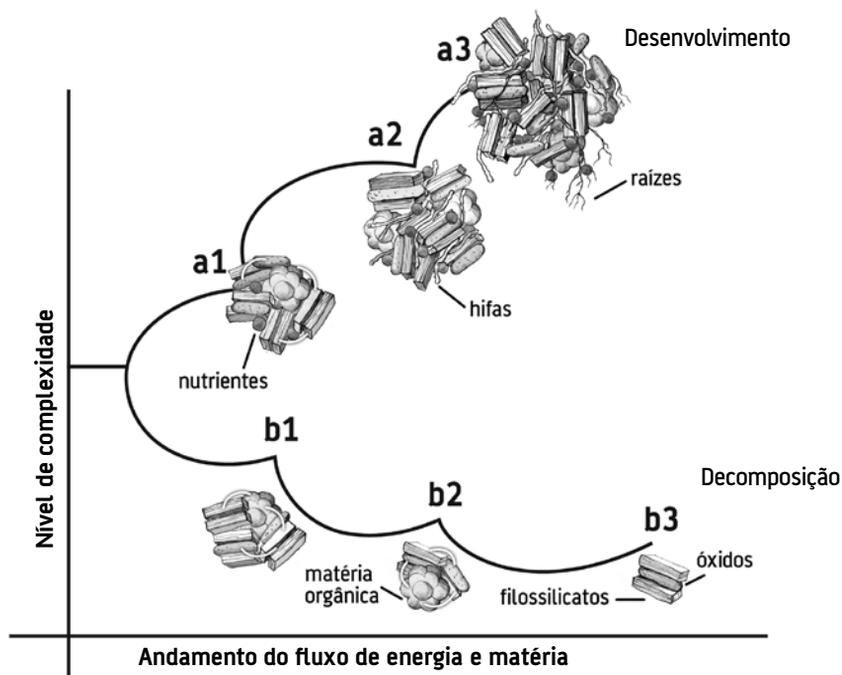


Figura 6. Representação esquemática do caminho seguido pelo sistema (linha contínua), que se auto-organiza em estados de ordem (indicados por letras e números) em diferentes níveis de complexidade em função do fluxo de energia e matéria. Essa representação também ilustra o comportamento do sistema solo-plantas-organismos, onde partículas minerais, matéria orgânica e raízes formam agregados de estrutura cada vez mais complexa (estado de ordem α_3) ou cada vez mais simples (estado de ordem b_3), conforme será detalhado adiante (ver Figura 20). Fonte: em analogia a Prigogine (1996).

Em cada estado de ordem nos distintos níveis de complexidade, surgem as propriedades emergentes. As propriedades emergentes do sistema são a manifestação das relações não lineares entre os elementos que compõem cada estado de ordem. À medida que aumenta o nível de complexidade, a estrutura se torna mais diversificada e complexa, e maior quantidade de energia e matéria é retida (veja o estado de ordem a_3 na Figura 6). O aumento no número de elementos do sistema gera aumento nas relações não lineares, o que irá refletir no aumento das suas propriedades emergentes. Portanto, em nível de complexidade alto, as propriedades emergentes são em maior número, capacitando o sistema a funcionar em situações diversas e, dessa forma, manter a sua integridade frente a perturbações. Por outro lado, nos sistemas de estrutura mais simples (estado b_3 na Figura 6), o número e a função das propriedades emergentes são baixos, e o sistema tem menor capacidade de manter sua integridade.

Entendendo esses três aspectos do funcionamento dos sistemas vivos – fechados na organização, abertos no fluxo e capacidade de auto-organização –, fica clara a definição de Prigogine quando ele afirma que os sistemas vivos são Estruturas Dissipativas (Prigogine, 1996; 2002; Prigogine & Stengers, 1992; 1997), porque a mesma energia que dissipa o sistema (aquela que passa pela rede de relações não lineares através do fluxo) é a energia que gera ordem. A ordem e a desordem estão constantemente presentes nos sistemas vivos, gerando desenvolvimento ou decomposição.

Portanto, as redes vivas criam ou recriam a si mesmas continuamente mediante a transformação ou a substituição dos seus componentes (Capra, 2005). Este processo de autogeração ou autocriação foi definido por Maturana & Varela (2001) como autopoiese, no qual a definição sistêmica da vida encontra seus principais fundamentos. Os sistemas vivos sofrem mudanças estruturais contínuas ao mesmo tempo em que preservam seus padrões de organização em redes de relações e constituem-se a si mesmos. A característica de autopoiese dos sistemas vivos é o que os difere claramente dos sistemas não vivos, ou seja, os sistemas vivos têm a capacidade

de reproduzirem a si mesmos!

Por isso, o fenômeno da vida tem de ser compreendido como uma propriedade do sistema como um todo (Capra, 2005). A vida só existe pelo resultado das relações entre os seus componentes, cada um executando sua função, o que permite que os demais componentes se mantenham ativos também. E essa característica extrapola para a relação do sistema vivo com o meio. O meio é resultado das relações com os sistemas vivos, e os sistemas vivos são resultados das relações com o meio, como nos dizem Lovelock e Margulis na Teoria de Gaia.



SISTEMAS AGROFLORESTAIS COMO SISTEMAS VIVOS

A partir do que foi exposto, fica claro que os sistemas vivos, organizados nos vários ecossistemas e comunidades como vimos acima, são consequência de um longo processo evolutivo, orientado pelo aprendizado e pela troca entre os seres vivos.

Nesse processo, as estruturas da vida, em seus diferentes níveis (células, tecidos, órgãos, indivíduos, comunidades, ecossistemas, etc.), organizaram-se de forma a viabilizar os processos vitais. Estes, por sua vez, possibilitam a existência das formas estruturais em nível individual e coletivo.

Para que isso se tornasse possível, a vida criou mecanismos de organização, complexificação e troca, em estruturas dissipativas e sistemas autopoieticos.

Em uma célula, por exemplo, as membranas não somente estabelecem os limites das diferentes organelas citoplasmáticas, especializadas em diferentes processos vitais, mas também criam condições adequadas a estes processos, a partir da absorção e transformação de substâncias. Durante os processos vitais, são formadas outras substâncias, liberadas para fora da organela, as quais são utilizadas em outros processos, como mostra a Figura 7, utilizando como exemplo o funcionamento da mitocôndria, organela responsável pela respiração celular.

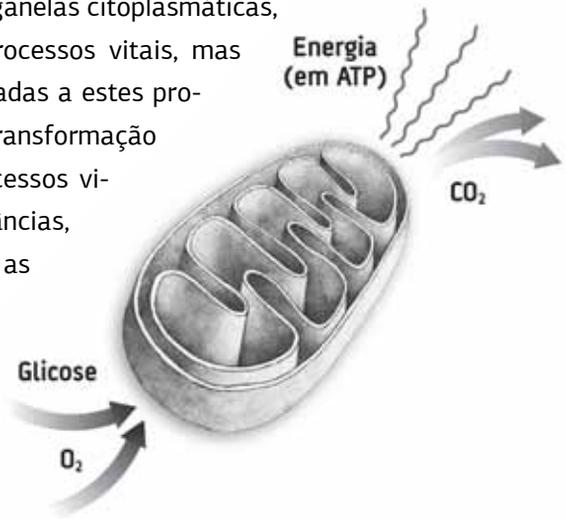


Figura 7. Funcionamento da mitocôndria no interior de uma célula.

Em um organismo pluricelular, este mecanismo é mais fácil de ser percebido. Uma árvore, por exemplo, tem estruturas especializadas, cada

uma com uma função específica, e cada uma dependente dos processos vitais promovidos pelas outras. A raiz é limitada por tecidos resistentes, que possibilitam à planta penetrar no solo; ao mesmo tempo, dela partem tecidos mais finos, que permitem a absorção de água e nutrientes. Um dos produtos principais dessa organização é a seiva bruta, entregue ao caule, para que este cumpra sua função de seu transporte às folhas, onde ela será processada. Mas, além da seiva bruta, o produto dessa organização é a própria estrutura da raiz, que só se mantém contando com a glicose e o oxigênio produzidos nas folhas, na fotossíntese. Neste processo, um dos reagentes é a água da seiva bruta. Assim, raiz, caule e folhas, existindo e funcionando, permitem o funcionamento e a existência uns dos outros.

Em uma comunidade de organismos, essa lógica permanece. Usando novamente como exemplo uma árvore, é possível identificar, somente a partir dela, várias inter-relações com outros organismos. O processo vital da fotossíntese, ao liberar oxigênio na atmosfera, permite a respiração de vários outros organismos; a penetração da raiz no solo contribui na infiltração de água, possibilitando a germinação de outras espécies vegetais e garantindo a umidade necessária para a micro e mesofauna do solo; a relação das raízes com bactérias fixadoras de nitrogênio ou com micorrizas favorece a existência destes seres, disponibilizando glicose a eles e, ao mesmo tempo, a ampliação de absorção de água ou de nitratos que esses organismos promovem contribuindo com o crescimento e o metabolismo da árvore; as flores e os frutos são fonte de alimento para a fauna, que por sua vez promove a polinização e a dispersão de sementes; a copa da árvore contribui para a proteção do solo, evitando a erosão pelo impacto da chuva, o que permite a estruturação do solo e a promoção da vida de vários organismos. A lista das inter-relações é grande e variada!

Portanto, seja em nível celular, individual, comunitário ou ecossistêmico, ao mesmo tempo em que cada estrutura se mantém, ela produz substâncias ou condições adequadas para que outras estruturas funcionem e

existam. É a vida funcionando! O aprendizado das várias espécies, ao longo da evolução, tem sido “se localizar” neste processo.

Cada uma tem seu nicho ecológico, ou seja, um espaço onde a luz, a temperatura, a umidade, a relação com outras espécies e tantas outras condições são adequadas a ela. Ao estar ali, por sua vez, “funcionando”, cada indivíduo de cada espécie produz substâncias e condições adequadas para outros organismos. Isso possibilita a vida coletiva, a constante criação de novas formas de adaptação e, conseqüentemente, a ampliação da biodiversidade.

Fazer agrofloresta é identificar as estruturas e os mecanismos de funcionamento da vida no local de fazer agricultura, “ocupando o nicho” humano por meio do manejo agroflorestral e orientando o sistema para a produção de alimentos e outros produtos em meio à produção de biodiversidade e da troca entre os seres vivos. A Figura 8 demonstra essa lógica.

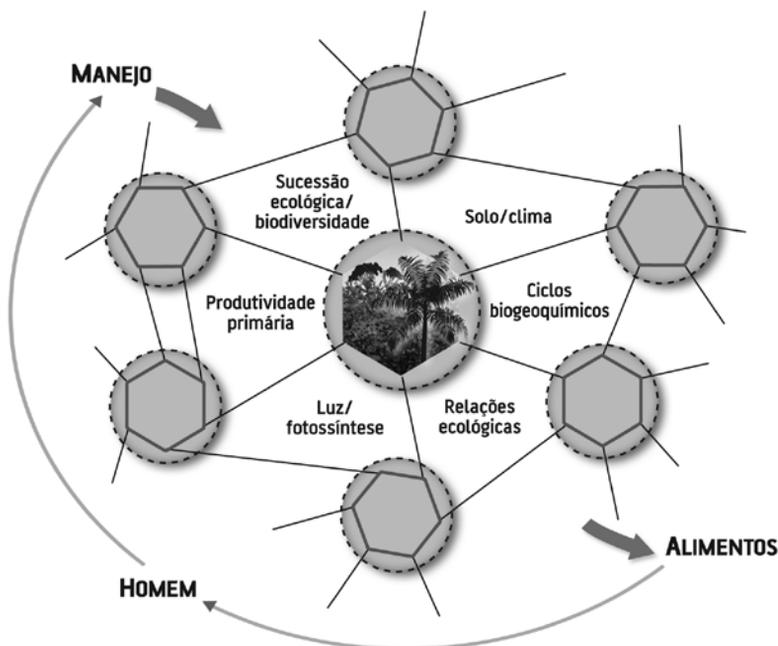


Figura 8. Representação esquemática da configuração de um sistema agroflorestral.

O sistema agroflorestal é, portanto, um sistema vivo e, como tal, a sua configuração é na forma de redes dentro de redes; onde ocorrem os fluxos de energia e matéria, movidos pela energia solar; onde os elementos que compõem o sistema estão numa cooperação generalizada, interligados por alianças e parcerias; onde a diversidade imprime maior capacidade de funcionamento e orienta para a manutenção de um estado estável, mantendo (e até melhorando) a função do ecossistema.



O PAPEL DA FOTOSÍNTESE

Como vimos, todo sistema vivo possui um fluxo contínuo de energia e matéria. Esse fluxo inicia com a fotossíntese.

A fotossíntese é o processo em que as plantas (e algumas bactérias) utilizam a energia luminosa proveniente de parte da radiação solar que chega à superfície da Terra e a transformam em energia química. Durante esse processo, as plantas captam CO_2 da atmosfera e absorvem nutrientes e água do solo, produzindo a sua matéria. Então, a produção de matéria vegetal da parte aérea das plantas (troncos, galhos, folhas, frutos e sementes), das raízes e exsudatos (compostos orgânicos liberados pelas raízes) é oriunda da energia solar, que promove o início das cadeias alimentares do planeta Terra.

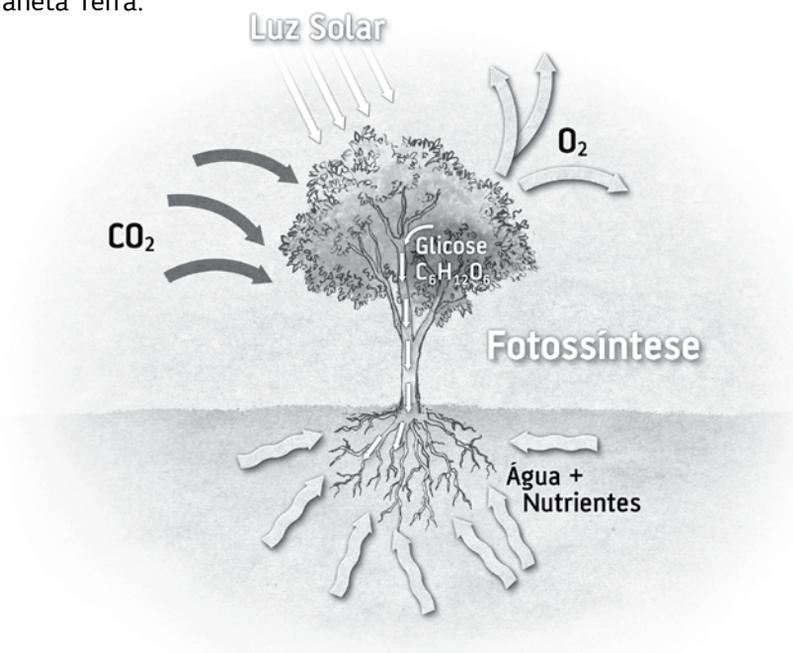


Figura 9. Representação esquemática do processo de fotossíntese.

Portanto, a matéria de todas as formas vivas, no planeta, existe por causa da fotossíntese. A fotossíntese se constitui, fundamentalmente, na

biotecnologia gerada pela evolução natural que permitiu, há bilhões de anos, que os organismos pudessem passar a produzir alimento e estrutura a partir de luz solar, água e gás carbônico.

Quando se olha para uma floresta tropical, por exemplo, ou para qualquer outro ambiente natural, é importante ter clareza de que toda forma viva ali existente é composta basicamente de carbono, que veio da atmosfera, e que as ligações químicas entre os elementos e entre as substâncias que dão forma e funcionamento a essa vida têm como caldeira de energia a luz solar. Isso vale tanto para as plantas, que fazem fotossíntese, quanto para os animais, que consomem as plantas para se alimentar.

Quando nós, seres humanos, pensamos, andamos ou nos exercitamos, estamos gastando fundamentalmente energia solar, que foi transformada em energia química na glicose produzida pela fotossíntese; a glicose, carregada dessa energia, foi transformada pelas plantas, entre outras substâncias, em amido; quando comemos o amido, o transformamos novamente em glicose na nossa digestão, levamos a glicose até cada uma de nossas células e, nas mitocôndrias, no interior das células, extraímos a energia para o nosso metabolismo. Isso é feito por todos os animais.

Uma vez que a fotossíntese é o processo básico para a geração da matéria vegetal e funcionamento dos seres vivos – inclusive daqueles vegetais que produzimos para comer –, é relevante estimularmos a fotossíntese de forma que ela ocorra satisfatoriamente, pois, assim, teremos elevada produtividade na agricultura. É por isso que um provérbio chinês antigo diz que “a agricultura é a arte de guardar o sol”.

Embora possamos ter a impressão de que a fotossíntese é tão natural que ocorre em qualquer lugar onde haja incidência de luz, é importante considerar que, para que a taxa de fotossíntese seja otimizada – e com isso a quantidade de biomassa gerada –, é necessário que haja água, gás carbônico e luz em quantidades adequadas.

Nos trópicos que os efeitos da fotossíntese são mais notáveis. A produtividade primária, ou seja, a matéria vegetal produzida a partir da fotossín-

tese é muito maior em regiões tropicais do que em regiões temperadas. A maior quantidade de energia solar que os trópicos recebem ajuda a explicar essa diferença. A maior quantidade de luz, associada à maior umidade, gera maior quantidade de recursos energéticos, o que reflete em uma capacidade de os trópicos sustentarem um maior número de espécies. Mais luz e umidade, portanto, geram mais diversidade, sendo essa uma das principais hipóteses para a explicação da maior biodiversidade nestas regiões (Pianka, 1966).

Como não poderia deixar de ser, em uma floresta tropical existem mecanismos para a manutenção da água – fundamental à fotossíntese – no sistema. Um deles é a cobertura da floresta pelas copas das árvores. O fato de existir essa cobertura evita a incidência direta de energia solar no solo. Isso reduz sua temperatura e, conseqüentemente, a evaporação de água diretamente a partir da superfície do solo.

A cobertura florestal, porém, não é realizada apenas pelas copas do dossel (ou do “teto” da floresta). Existem diferentes estratos, ao longo de um perfil vertical, ocupados por copas de árvores, arbustos e ervas de diferentes espécies. Estes diferentes estratos servem como barreiras que evitam a saída de uma grande quantidade de vapor de água evapotranspirada, mantendo elevada a umidade relativa do ar dentro da floresta e reduzindo a amplitude térmica do ambiente. É importante notar, entretanto, que isso não impede que, especialmente, as copas das árvores do dossel transpirem constantemente uma grande quantidade de água do solo para a atmosfera, conferindo às florestas o importante papel de refrigeração atmosférica planetária.

Além disso, a cobertura florestal multiestratificada evita que as gotas de chuva atinjam diretamente o solo – em uma floresta tropical, apenas em torno de 1% das gotas de chuva chegam diretamente ao chão. A maior parte da chuva atinge as copas, escorrendo lentamente, evitando a erosão e contribuindo, assim, para a manutenção da estrutura do solo. Essa estruturação também é consequência da atuação das raízes e dos microrganismos

edáficos. Bem estruturado, o solo permite a infiltração e a manutenção de água em seus microporos e nos lençóis freáticos.

Durante um período de chuva, portanto, parte da água é mantida nos próprios vegetais e parte é acumulada no solo. Em um período de déficit de água, essa água acumulada pode ser usada pelas plantas, mantendo o processo de fotossíntese, ou realocada para a atmosfera (Pianka, 1994).

A estrutura florestal também influencia a forma da incidência de luz, determinando a eficiência fotossintética. A intensidade de luz varia com a altura da floresta. Árvores altas, com as copas no dossel, recebem incidência total de radiação solar, enquanto árvores mais baixas e arbustos recebem progressivamente menos luz. Semelhante ao que ocorre com a chuva, em florestas bem densas, menos de 1% da luz solar chega diretamente ao solo (Figura 10).

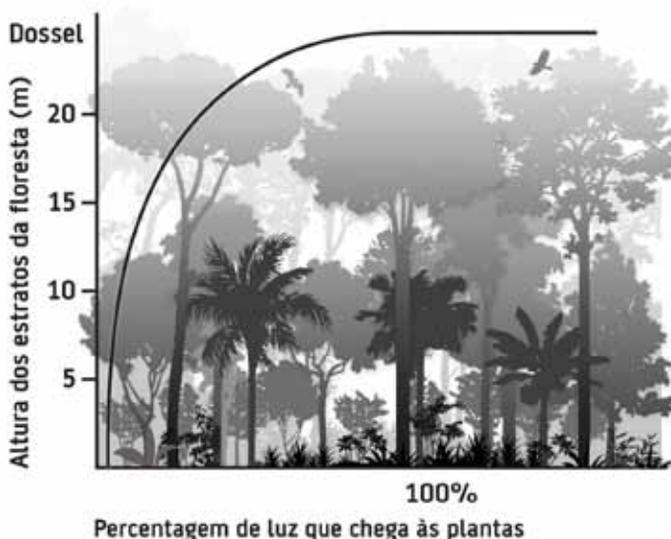


Figura 10A. Percentagem de luz que chega às plantas.
Fonte: adaptado de Pianka (1994).

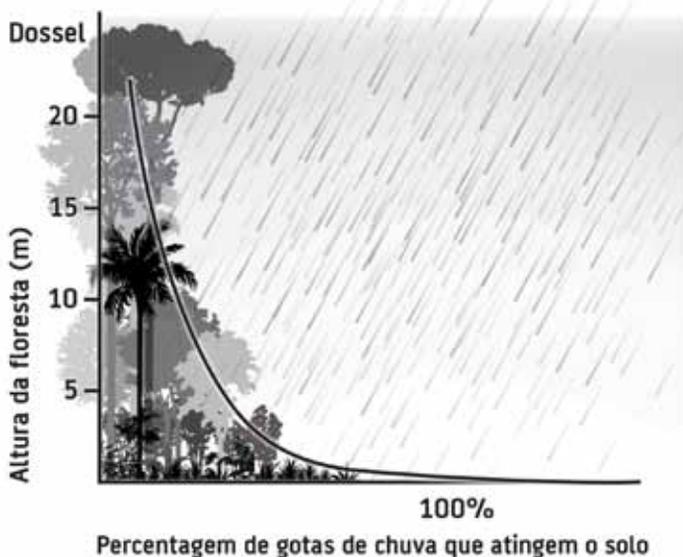


Figura 10B. Percentagem de gotas de chuva que chegam diretamente ao solo em uma floresta tropical.

A variação de luz que chega a cada planta influencia, também, o próprio gasto de energia para receber essa luz. Apesar de uma árvore do dossel ter mais energia solar disponível do que uma erva próxima ao solo, a árvore precisa despende muito mais energia para os tecidos de suporte (madeira) do que a erva. Ao mesmo tempo, plantas do sub-bosque são, frequentemente, muito mais tolerantes à sombra e capazes de fazer fotossíntese em menores taxas de incidência luminosa. Assim, cada espécie vegetal, com sua estratégia de crescimento e forma de vida, apresenta seus próprios custos e benefícios (Pianka, 1994).

Em uma floresta tropical, além do gradiente vertical de incidência luminosa e de água da chuva, existe também uma variação espacial, ou horizontal, destes fatores. Isso porque a formação natural de clareiras, nestas florestas, é muito frequente. As clareiras são formadas, geralmente, por quedas naturais de árvores e, por vezes, a partir de incêndios. Quando isso

acontece, há uma maior entrada de luz na clareira do que no restante da floresta. Em termos gerais, isso aumenta a taxa de produtividade primária nas clareiras, ou seja, a velocidade em que o carbono originado da atmosfera é transformado em matéria vegetal. Isso ocorre porque há mais fixação de carbono atmosférico em forma de tecidos vegetais do que a produção de gás carbônico, via respiração, pelas plantas. É neste momento que várias plântulas que estavam recebendo pouca luz passam a crescer mais rapidamente, e que muitas sementes presentes no solo são estimuladas a germinar, em função do aumento da temperatura do solo.

A formação de clareiras é o principal “motor” de fixação de carbono, via fotossíntese, nas florestas tropicais, pois, na medida em que uma nova formação florestal vai se estabelecendo, uma grande quantidade de gás carbônico vai sendo fixado na forma de tecidos vegetais (matéria vegetal). Porções de florestas maduras têm um saldo praticamente nulo entre a quantidade de carbono fixada e a quantidade de carbono emitida, a partir de sua respiração. Em estudo realizado em 25 florestas tropicais “maduras”, Clark (2002) identificou que esse saldo é, em média, de apenas $0,3 \text{ mg C ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$.

Não obstante as clareiras variarem em seu tamanho, o fato de ocorrerem em meio a uma floresta permite, apesar do aumento de luz e chuva no solo da clareira, que haja uma cobertura florestal em formação, mantendo-se, em nível espacial maior, as características florestais.

A partir das últimas décadas do século XX, vários trabalhos passaram a identificar que a formação de clareiras em florestas tropicais é de fato muito mais comum do que se imaginava, ocupando grandes percentagens de áreas das florestas e com períodos de rotação (tempo para uma clareira voltar a ser clareira) relativamente curtos (Brokaw, 1985; Martínez-Ramos et al., 1988; Oliveira, 1997). Desde então, vem sendo cada vez mais aceita a concepção de florestas tropicais como mosaicos de clareiras, de diferentes idades e tamanhos. Isso contribui fortemente para o aumento da biodiversidade em nível regional, considerando a variação de adaptações das espécies às diferentes condições de luminosidade, temperatura, umidade e demais

características variáveis entre clareiras de diferentes tamanhos.

A relação entre umidade e luminosidade, facilmente identificada em florestas tropicais, é quebrada quando se retira a floresta para a produção monocultural. Em uma grande lavoura de soja, por exemplo, há obviamente uma forte incidência direta de luz solar, um dos componentes da fotossíntese. Entretanto, a elevada temperatura do solo (provocada inclusive por esta incidência direta), associada à ausência de uma cobertura florestal em diferentes estratos, faz com que haja aumento da evaporação de água na superfície do solo, desprovida de um sistema florestal de armazenamento hídrico.

Além disso, em elevada temperatura, grande parte das plantas fecha seus estômatos (poros por onde ocorrem as trocas gasosas e a transpiração) como estratégia para evitar a desidratação. Com estômatos fechados, a captação de gás carbônico para a fotossíntese é temporariamente interrompida. O solo, por sua vez, atingido diretamente pela maior parte das gotas de chuva e pela luz solar, tende a se desestruturar, desagregando os grumos que formam os macro e microporos e reduzindo sua capacidade de armazenamento e disponibilidade de água.



A BUSCA PELA EFICIÊNCIA FOTOSSINTÉTICA NOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS

“Uma intervenção é sustentável se o balanço de energia complexificada e de vida é positivo (...)” (Götsch, 1995). Seguindo esta premissa, sistemas agroflorestais agregam a produção de alimentos e outros produtos à complexificação crescente do sistema. Para tanto, entre outros aspectos, as agroflorestas utilizam a fotossíntese para potencializar a produção de matéria viva.

Um dos caminhos utilizados para esta potencialização é a otimização da produtividade no perfil vertical das agroflorestas. Agricultores associados à Cooperafloresta, por exemplo, vêm implantando agroflorestas cada vez menores em termos de área, entretanto cada vez mais completas em termos da ocupação de estratos verticais. Por outro lado, há também uma tendência de aumento do número de agroflorestas ao longo do tempo em cada propriedade. A combinação entre a implantação gradativa de um maior número de agroflorestas, porém de menor área e maior intensidade de manejo, potencializa a produtividade por área (Steenbock et al., 2013a).

No âmbito da Cooperafloresta, em média, 16% da área das propriedades (ou unidades familiares) correspondem a agroflorestas, implantadas em diferentes épocas, 58% da área são florestas em estágio inicial ou médio de regeneração, 13% da área são florestas em estágio avançado de regeneração e apenas 13% da área das unidades de produção são utilizadas para outros fins (geralmente a área da sede e das pequenas criações). Assim, apesar das agroflorestas se constituírem na base da produção, da segurança alimentar e da renda dos agricultores, é importante notar que o uso mais comum do solo, em termos de área, é a manutenção de capoeiras (florestas secundárias em estágio inicial e médio de regeneração), que correspondem a mais da metade da área das propriedades (58% da área das unidades de produção, em média).

À primeira vista, as capoeiras podem ser entendidas como áreas sem uso. Entretanto, de acordo com os relatos dos agricultores da Cooperafloresta, agroflorestas implantadas em áreas que eram anteriormente

capoeiras tendem a ser muito mais férteis e mais fáceis de se tornarem “completas”. Isso porque há um acúmulo de matéria vegetal nas capoeiras, proveniente da produtividade primária, que, se bem manejado, pode se constituir em potencialização da produtividade das agroflorestas implantadas posteriormente nessas áreas.

O manejo agroflorestal, na Cooperafloresta, tem estabelecido um uso do solo em que são mantidos quatro hectares de capoeiras para um hectare de agrofloresta (as agroflorestas se constituem em 21,5% da área constituída pelo somatório de áreas de agroflorestas e capoeiras). Assim, no sistema agroflorestal praticado pelos associados da Cooperafloresta, existem dois mecanismos, um formador de agrofloresta e outro de capoeira que, rotacionados ao longo do tempo no espaço das propriedades, ocupam hoje 74% da paisagem das áreas das famílias agricultoras (Steenbock et al., 2013a).

É notória, nessa forma de manejo, a semelhança com a dinâmica de clareiras – principal processo de otimização da produtividade primária (matéria vegetal produzida pela fotossíntese) nas florestas tropicais. Brokaw (1985) identificou, em floresta tropical, que as clareiras, originadas por queda de parte de árvore, por uma ou por várias árvores, somavam 25% da área total da floresta (Tabela 1).

Tabela 1. Área e frequência de tipos de clareiras em florestas tropicais. Fonte: adaptado de Brokaw (1985).

Tipo de clareira	Frequência (%)	Área da floresta (%)
Parte de uma árvore	23	10
Uma única árvore	51	38
Árvores em dominó	14	16
Sobreposição de árvores	13	36
Média		25

Oliveira (1997), revisando diferentes trabalhos, caracterizou o tempo médio de rotação – o período em que uma clareira tende a voltar a ser

clareira após o crescimento florestal – em 125 anos, em florestas tropicais. Portanto, a rotação entre clareiras e florestas em estágios sucessionais mais avançados, nas florestas tropicais e nos sistemas agroflorestais, é um elemento definidor de ambas as formações.

Associado à rotação de agroflorestas em meio a áreas florestais, o manejo agroflorestal, para ser produtivo nos vários estratos verticais da floresta, envolve plantios bastante densos, o que potencializa a fotossíntese e a produtividade.

Nestes plantios, agricultores associados à Cooperafloresta vêm utilizando a metodologia de implantação de canteiros agroflorestais, separados por faixas destinadas ao cultivo de gramíneas, que desempenham a função de captar energia solar nas etapas iniciais da sucessão ecológica, quando a estrutura florestal propriamente dita ainda não está formada. A poda frequente dessas gramíneas e a deposição do material podado nos canteiros favorece o acúmulo de energia e matéria vegetal no sistema.

Na medida em que as espécies plantadas vão se desenvolvendo, outras espécies provenientes das áreas florestais vizinhas se estabelecem na agrofloresta, também fixando gás carbônico da atmosfera. Para garantir a entrada de luz nos vários estratos da agrofloresta, são feitas podas frequentes, tanto das espécies plantadas quanto das espécies originadas de regeneração natural. A poda, portanto, promove o incremento das espécies do sub-bosque, de forma ainda mais intensa do que em florestas nativas.

Procurando cobrir o solo adequadamente, seja distribuindo e depositando cuidadosamente o material podado no solo, seja mantendo plantios densos e estratificados, cria-se uma proteção do solo à incidência direta de luz e das gotas de chuva.

Por outro lado, a promoção da estrutura multiestratificada da agrofloresta cria um ambiente propício para a manutenção de elevada umidade relativa do ar em seu interior, bem como para a redução dos ventos.

O resultado desse manejo é a otimização da água, do gás carbônico e da luz – ou seja, da fotossíntese e da produtividade primária (matéria vegetal) – no sistema agroflorestal.

Agroflorestas conduzidas sob este tipo de manejo, no âmbito da Coope-rafloresta, fixam nas plantas e no solo, em média, 6,6 toneladas de carbono da atmosfera por hectare por ano (Steenbock et al., 2013c). Agroflorestas de 15 anos manejadas desde 1991 de forma semelhante no Litoral Norte do Rio Grande do Sul, a *Região de Torres*, através de uma intervenção da organização denominada Centro Ecológico, com apoio da Pastoral Rural da Igreja Católica, apresentaram 100 toneladas de carbono por hectare de estoque de carbono acumulado (MMA/Centro Ecológico, 2013).

É importante abordar aqui sobre o comportamento da energia nos ecossistemas. A energia no planeta Terra segue duas leis da termodinâmica. A primeira lei diz que toda a energia pode ser transformada de uma forma para outra, mas não pode ser criada, nem destruída. E a segunda lei diz que em toda transformação ocorre dissipação de energia na forma de energia térmica (calor). Então, nos ecossistemas, a energia move-se constantemente de um lugar para outro, através da cadeia alimentar, e muda de forma (Gliessman, 2000). Ela entra como energia solar e é convertida em energia química, através da fotossíntese, e armazenada na matéria vegetal. Quando os organismos utilizam essa energia para crescer, mover-se, reproduzir-se, a maior parte dela é transformada em energia térmica, que não fica mais disponível para ser utilizada, ou seja, ela é perdida na forma de calor. Sendo assim, os sistemas agrícolas que têm a capacidade de fazer melhor uso da energia são mais eficientes.

Sabe-se que quanto maior for o uso de energia biológica, maior será a eficiência de uso de energia dos sistemas de produção agrícola. Gliessman (2000) classificou as fontes de energia para produção de alimentos, conforme apresentado na Figura 11.

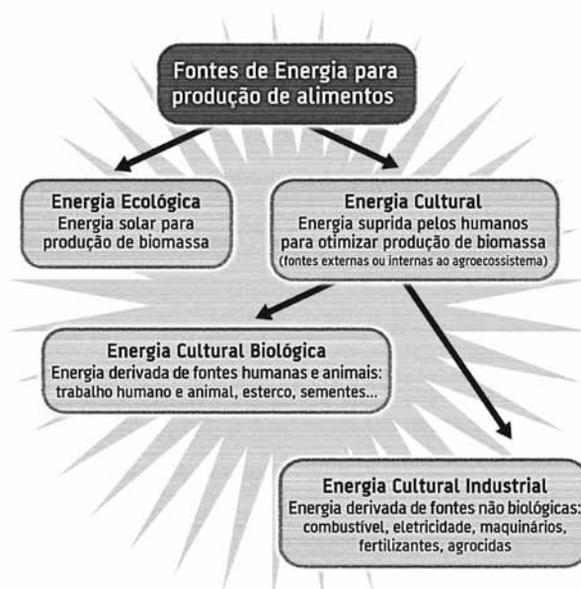


Figura 11. Classificação das fontes de energia utilizadas na agricultura.
Fonte: adaptado de Gliessman (2000).

Além da *energia ecológica*, que é a energia do sol para a fotossíntese, existe a *energia cultural*, que é a suprida pelos homens, e essa pode ser de origem *biológica*, que são as energias derivadas de fontes humanas e animais, como o trabalho, o esterco; e a de origem *industrial*, que são as energias de fontes não biológicas, como o petróleo, os maquinários e os agroquímicos. As energias classificadas como *cultural industrial* são aquelas que são empregadas energias anteriores na sua produção (por exemplo, os agroquímicos para serem produzidos necessitam de uma grande quantidade de energia para concentrar os elementos no produto final). Por isso, quando as energias de origem industrial são utilizadas nos sistemas agrícolas, existe um aporte de energia muito grande e, para o sistema ser eficiente, seria necessário retirar uma quantidade de energia na forma de produto muito maior, considerando que a eficiência do uso de energia é dada pela seguinte equação:

$$\text{Eficiência do Uso da Energia Cultural} = \frac{\text{quantidade de energia contida na matéria vegetal colhida}}{\text{quantidade de energia cultural exigida para produzi-la}}$$

No caso das agroflorestas, a principal energia utilizada é a *energia ecológica* – energia da radiação solar – e a *energia cultural biológica*, que é o trabalho humano e as sementes e mudas inseridas nos sistemas agroflorestais. A eficiência do uso de energia é muito elevada nesse caso. Gliessman (2000) apresenta dados de uma plantação de milho de roçado no México em que 90% da energia aportada foi oriunda do trabalho humano (*energia cultural biológica*) e apresentou uma eficiência no uso da *energia cultural* de 12,5. Por outro lado, ele mostra um sistema de produção de milho nos Estados Unidos na década de 80 em que 26,5% da energia aportada foi oriunda de adubo nitrogenado, 21% foi de petróleo e 11% foi de agrotóxicos. A eficiência da *energia cultural*, nesse caso, foi de 2,9.

Juntamente com o fluxo de energia está o fluxo de matéria, que é composto pelo carbono e nutrientes. Na fotossíntese, como já vimos, o carbono e os nutrientes são incorporados à matéria vegetal. Quando esta é utilizada na cadeia alimentar, o carbono e os nutrientes passam pelo sistema.

À medida que ocorre a decomposição do material orgânico nos diferentes níveis da cadeia alimentar, parte do carbono é transformada pela microbiota em CO_2 e volta para a atmosfera, que, posteriormente, será absorvido por outra planta através da fotossíntese. E os nutrientes, quando liberados no processo de decomposição, ficam disponíveis para uso dos organismos do solo ou de uma nova planta em fase de absorção de nutrientes. Esse “caminho” dos nutrientes caracteriza o fluxo de matéria nos ecossistemas agrícolas. Nesse fluxo, se considerarmos o agroecossistema alvo, podem ocorrer perdas de nutrientes quando existe a saída de carbono e nutrientes na forma de produtos para as famílias e para a venda; ou quando os nutrientes estão junto com a água do solo e esta é infiltrada a profundidades maiores que as raízes absorventes; ou, também, quando os nutrientes estão disponíveis, mas as plantas não estão em fase de absorção de nutrientes (no período de envelhecimento da planta, por exemplo). Nesses casos, o nutriente sai do agroecossistema que estamos manejando e vai para os ecossistemas do entorno. Nesse aspecto, podemos considerar que a matéria tende a ciclar dentro do

grande ecossistema Terra, pois, mesmo saindo do ecossistema alvo, o carbono e os nutrientes são utilizados em outros ecossistemas. Diferentemente da energia, que entra na forma de energia solar (radiação solar) e que, após transformada em calor, não é recuperada para os ecossistemas.

A eficiência do fluxo de matéria nos sistemas agroflorestais ocorre pela complexidade das relações não lineares entre os componentes (minerais do solo, plantas e organismos). Nessa complexidade de relações, a matéria é transferida de um componente para outro. Por isso que, quanto mais complexa e diversa é a estrutura de um sistema de produção agrícola, mais componentes ele possui, gerando condições para os nutrientes permanecerem mais tempo no sistema. Ressalta-se que, no caso das agroflorestas, essa complexidade é produto do manejo que promove a riqueza de espécies vegetais, otimizando a fixação do carbono e do nitrogênio atmosférico (como o plantio adensado, a poda e o incremento da biota no solo), resultando em propriedades que capacitam o sistema a fazer melhor uso da energia e matéria.

Portanto, a estrutura e o funcionamento dos sistemas agroflorestais geram propriedades emergentes que promovem alta eficiência fotossintética no uso da energia e dos nutrientes. Além disso, é essencial ressaltar que as propriedades emergentes dos sistemas agroflorestais capacitam-lhes a executar os serviços ecossistêmicos.

Segundo a Câmara de Avaliação Ecosistêmica do Milênio (Millenium Ecosystem Assessment), os serviços ecossistêmicos são “os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas” (MEA, 2005). Ou seja, a nossa saúde e o nosso bem-estar dependem dos serviços fornecidos pelos ecossistemas. São serviços de abastecimento de alimentos, água, fibras e madeira; serviços de regulação do clima, de enchentes, doenças, resíduos e qualidade da água; serviços culturais, que fornecem benefícios de recreação, estéticos e espirituais; e serviços de suporte, como formação do solo, fotossíntese e ciclagem de nutrientes. A própria Câmara conclui que “a espécie humana é fundamentalmente dependente do fluxo dos serviços ecossistêmicos” (MEA, 2005). Neste fluxo, diferentes processos têm papéis fundamentais que procuram ser valorizados na prática agroflorestal.

O PAPEL DA SUCESSÃO ECOLÓGICA

Tendo a fotossíntese como biotecnologia de produção de matéria vegetal, a vida se adaptou e se adapta constantemente para ocupar diferentes espaços, com toda a variação de combinações de condições de luminosidade, temperatura, umidade, disponibilidade de nutrientes, relações ecológicas e tantas outras.

Cada espécie se adapta melhor a cada combinação destas condições. Estas combinações são denominadas de *nichos ecológicos*. Em um ambiente natural, se ocorrer determinado nicho ecológico, espécies que ocupem adequadamente este nicho encontrarão condições apropriadas para seu desenvolvimento.

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.), por exemplo, é uma árvore que se adaptou às condições de clareiras do ecossistema de Floresta Ombrófila Mista, ou Floresta de Araucária. Quando se forma uma clareira em florestas desse ecossistema, a temperatura do solo se eleva, quebrando a dormência das sementes da espécie que se encontram no solo. A árvore cresce aceleradamente, contribuindo para fechar rapidamente a clareira e criar condições para as outras espécies florestais se desenvolverem. A partir de poucos anos de vida, a árvore já produz floradas anuais em grande intensidade, fornecendo alimento para uma grande quantidade de insetos, que chegam à clareira e polinizam também outras espécies. Todo ano, são produzidas muitas sementes, que vão formando o banco de sementes do solo. As árvores de bracatinga morrem entre vinte e vinte e cinco anos, mas o banco de sementes originado desse curto período fará com que, quando uma nova clareira se abrir, mesmo que décadas depois, a bracatinga encontre seu espaço e cumpra seu papel nas relações ecológicas e processos vitais daquela floresta, ou seja, ocupe seu nicho ecológico (Steenbock, 2009).

Existe uma forte relação entre a biodiversidade e a variação de nichos ecológicos. Quanto mais espécies convivendo, maior a quantidade de ni-

chos formados. Quanto maior a variação entre os nichos, mais pressão de seleção para a geração de variabilidade genética das espécies, e conseqüentemente mais biodiversidade (Figura 12). Assim, a heterogeneidade ambiental proporciona às espécies a coexistência em meio à biodiversidade, porque elas podem se especializar em diferentes partes do espaço de nicho (Ricklefs, 2003). Por outro lado, as substâncias produzidas pelas espécies, as condições diferenciais de umidade, luminosidade e outras características geradas a partir de sua presença no ambiente determinam a formação de novos nichos. Usando novamente o exemplo da bracatinga, o fato de a espécie produzir floradas abundantes, logo após o inverno (período de menor oferta de recursos tróficos aos insetos polinizadores), contribui para o estabelecimento de nichos ecológicos para estes insetos, entre tantas outras relações; o fato de as raízes da espécie apresentarem associações com bactérias fixadoras de nitrogênio gera condições adequadas para várias espécies da micro e mesofauna do solo; e assim por diante.

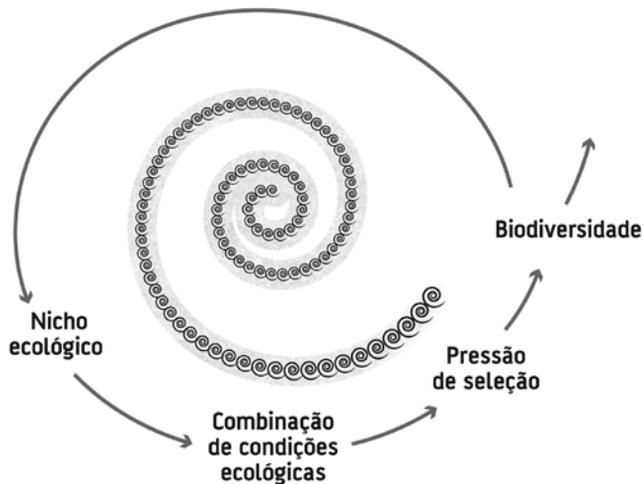


Figura 12. Representação esquemática da relação entre nichos ecológicos e biodiversidade.

Em um ambiente natural, portanto, cada nicho vai aparecendo na medida em que o espaço vai sendo ocupado por diferentes espécies. A este

processo dá-se o nome de *sucessão ecológica*, ou sucessão natural. Margalef (1968) definiu sabiamente a sucessão ecológica como o acréscimo de informação em um ecossistema, refletindo justamente o incremento de relações e da biodiversidade a partir da sucessão. A Figura 13 demonstra essa lógica de interação em que o surgimento de novos nichos ecológicos conduz à sucessão ecológica, e a sucessão ecológica é o resultado da geração de novos nichos ecológicos.

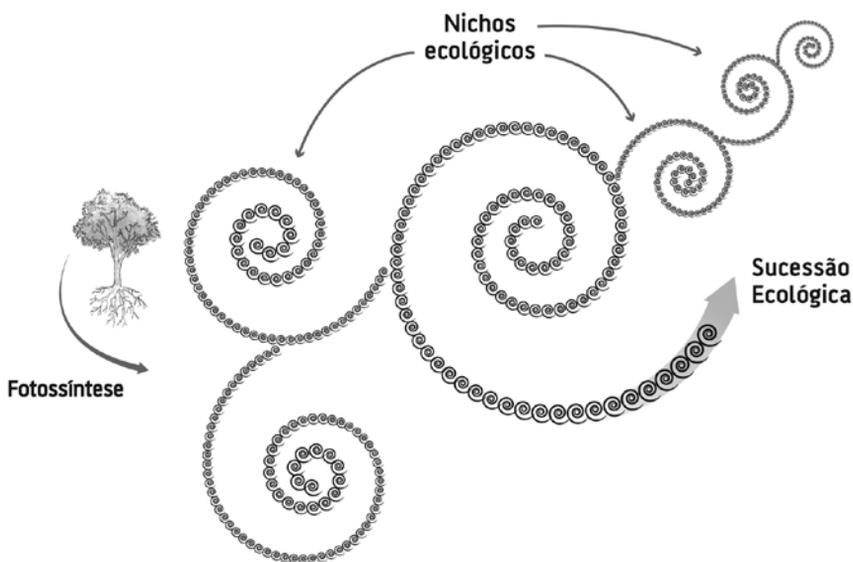


Figura 13. Representação esquemática dos nichos ecológicos como produto da sucessão ecológica.

Em uma clareira, ou em uma área de cultivo abandonada, as primeiras espécies vegetais a aparecer são chamadas de pioneiras, seguidas pelas secundárias e depois pelas climácicas.

As espécies pioneiras estão presentes no solo em forma de sementes, produzidas em grande quantidade, quando as plantas adultas dessas espécies viviam ali. As sementes dessas espécies, em geral, mantêm a viabilidade de germinação por muito tempo, permanecendo dormentes no solo até que condições adequadas de temperatura e luminosidade estimulem

sua germinação, o que acontece quando clareiras – especialmente clareiras grandes – são formadas. Após a germinação, as plantas de espécies pioneiras crescem muito rapidamente, em elevada densidade e, em pouco tempo, iniciam ciclos de produção de flores e frutos em grande quantidade. A estratégia dessas espécies é justamente garantir sua sobrevivência na forma de sementes viáveis no solo – em muitas espécies pioneiras, enquanto a planta adulta não chega a viver uma década, suas sementes chegam a durar por várias décadas no solo.

Dessa forma, essas espécies têm um papel fundamental no incremento da biodiversidade, seja promovendo a umidade do ar e o sombreamento na área, seja aumentando a permeabilidade do solo (e com isso possibilitando a vida de vários organismos edáficos), ou ainda atraindo, a partir da disponibilização de abrigo e da grande quantidade de alimento que fornecem em suas flores e frutos, uma grande variabilidade de insetos, pássaros, morcegos e outros animais. Estes animais, por sua vez, trazem uma grande quantidade de pólen e de sementes, de várias espécies. É através desse transporte de sementes que muitas espécies secundárias e climáticas chegam à área.

As espécies secundárias não crescem na mesma densidade das espécies pioneiras, ou seja, elas são mais esparsas na área. Muito embora possam haver plantas jovens de espécies secundárias em elevada densidade, formando núcleos, a tendência é a sobrevivência de apenas uma ou algumas delas naquele espaço, ao longo do tempo. A seleção natural, portanto, atua sobre esses núcleos, estimulando a sobrevivência daqueles indivíduos mais adaptados ao nicho local.

As sementes de espécies secundárias, frequentemente, não apresentam dormência. Estas espécies crescem mais vagarosamente que as espécies pioneiras, apresentando, em geral, momentos de maior velocidade de crescimento, quando quedas de galhos ou de árvores inteiras, próximas a elas, liberam a passagem de maior intensidade luminosa. Muitas vezes, plantas dessas espécies ficam por muitos anos praticamente do mesmo tamanho, aguardando maior intensidade luminosa para crescerem.

Em cada evento reprodutivo, a quantidade de flores e de sementes é, usual-

mente, menor nas espécies secundárias do que nas espécies pioneiras. Porém, as espécies secundárias permanecem na área por décadas, fornecendo alimento e abrigo para uma fauna diversificada. Em muitos casos, a polinização e a dispersão de sementes é feita por grupos de espécies característicos — a arquitetura e a cor das flores e a forma e a consistência dos frutos, entre outras características, são direcionadas para a polinização e a dispersão de sementes por determinadas espécies animais, que acabam “preferindo” essas a outras plantas.

Assim, a estratégia de vida das espécies secundárias se baseia na relação mais próxima com determinadas espécies animais e na adaptação mais refinada ao nicho em que cada planta se insere, mantendo-se mais esparsas na paisagem e ocupando, com suas populações, diferentes ambientes.

Finalmente, as espécies climáticas são aquelas que tendem a se adaptar a ambientes que “já foram trabalhados” pelas espécies pioneiras e pelas espécies secundárias. Assim, são espécies que vivem em ambientes mais sombreados e onde o solo apresenta maior quantidade de matéria orgânica. Ocorrem, com maior frequência, em fundos de vale, em matas ciliares. Seu crescimento é relativamente lento, e árvores climáticas adultas chegam a ter de 30 a 45 metros de altura, ocupando em geral o dossel (ou “teto”) da floresta. Chegam a viver por mais de 100 anos, havendo uma tendência de produzir frutos adaptados à alimentação por mamíferos e servindo como suporte para uma grande quantidade de espécies epífitas. Em geral, produzem uma grande variabilidade de compostos secundários, que têm função de defesa contra o ataque de parasitas ou predadores. Por esse motivo, garantem sua sobrevivência em densidades variadas e em meio a populações de parasitas e herbívoros (Budowski, 1965; Kageyama & Gandara, 2000).

Considerando a existência da sucessão ecológica, um espaço de uma floresta apresenta, a cada momento, determinadas plantas de espécies mais velhas (geralmente, aquelas mais adaptadas ao momento anterior da sucessão), ocupando frequentemente estratos mais altos, e espécies em diferentes estratos do sub-bosque, em distintas fases de suas vidas. Há, portanto, uma diversidade vertical de espécies na floresta. Além disso, como as

florestas se constituem em mosaicos de clareiras de diferentes tamanhos e idades, há também uma diversidade horizontal de espécies, gerando e sendo produto de conjuntos de nichos diferentes na área da floresta como um todo. Tanto a diversidade vertical quanto a diversidade horizontal são influenciadas pela diversidade de condições de solo, relevo, hidrografia, geologia e tantas outras condições abióticas. Estes diferentes fatores contribuem para a imensa biodiversidade das florestas tropicais.

Uma vez que a existência dos nichos ecológicos é dinâmica, ou seja, um nicho não existe o tempo todo e nem no mesmo espaço sempre, as plantas evoluíram para produzir uma grande quantidade de sementes e múltiplas estratégias de dispersão das mesmas. As angiospermas, ramo mais evoluído entre as plantas, em geral fazem isso muito bem.

Isso porque nem todas as sementes produzidas atingirão o solo, e nem todas as que atingirem o solo encontrarão condições imediatas para germinar. Lambers et al. (1998) propõem que, para que haja a ocorrência de uma espécie, são importantes três filtros: o filtro histórico, que age sobre as razões históricas que determinam se uma espécie pode se dispersar para uma determinada área; o filtro fisiológico, que permite que apenas as espécies com um aparato fisiológico apropriado possam germinar, crescer, sobreviver e reproduzir em um dado ambiente; e o filtro biológico, que elimina espécies capazes de sobreviver em um dado ambiente, mas que não são capazes de suportar as interações com a biota local.

Como normalmente as sementes apresentam estruturas de proteção e de relativo isolamento com o meio exterior, o banco de sementes dos solos, em ambiente natural, é geralmente muito rico em espécies, especialmente espécies pioneiras, aguardando nichos ecológicos adequados para sua germinação.

Hall & Swaine (1980) registraram, em Ghana, cerca de 100 espécies florestais no banco de sementes, sendo 88% de espécies pioneiras. Garwood (1989), revisando trabalhos realizados em florestas tropicais da Malásia, Costa Rica e Venezuela, caracterizou a ocorrência de uma média de 300 sementes/m² de solo, de diferentes espécies. Em bracingais no sul do Brasil,

Carpanezzi (1997) identificou de 90 a 190 sementes da espécie/m² de solo.

Na medida em que existe uma grande relação entre a ocorrência das espécies e a ocorrência de seus nichos, pode-se conceber a sucessão ecológica também como uma sucessão de nichos, como demonstrado na Figura 13. Seguindo esse raciocínio, uma vez que a formação de nichos é dinâmica e dependente da presença de conjuntos de espécies, pode-se conceber a sucessão ecológica também como a sucessão de consórcios de espécies, ou uma sucessão de situações em que determinadas espécies conseguem conviver bem umas com as outras, em encontros interespecíficos. Neste sentido, Hurlbert (1971) propôs que o conhecimento das probabilidades de encontros interespecíficos de cada espécie se constitui em uma ferramenta básica para o entendimento da estabilidade e da sucessão ecológica de uma comunidade.

Não há, portanto, em ambientes naturais, uma separação completa entre as etapas da sucessão, se considerarmos essas etapas como “retratos” em que um determinado conjunto de espécies está presente. Há sim um fluxo contínuo, um “filme”, no qual as espécies vão desempenhando diferentes papéis no processo de sucessão ao longo de sua vida. Em uma floresta tropical, por exemplo, por mais que logo após a formação de uma clareira predominem as espécies pioneiras e que estas em seguida ocupem o dossel, abaixo delas já estarão plântulas de espécies secundárias e plântulas de espécies climácicas. Após um certo período de tempo, as pioneiras vão deixando o ambiente, pois seu nicho vai desaparecendo e novos nichos já estão formados, contando com a sua participação.

Cada espaço da floresta contém um consórcio de espécies, com diferentes características ou síndromes adaptativas, em diferentes idades. É muito importante considerar que cada indivíduo de árvore adulta não aparece adulto, mas sim foi ocupando seu nicho (o qual inclusive pode variar bastante) ao longo de seu desenvolvimento.

A não consideração dessa observação pode gerar caracterizações e práticas equivocadas. A araucária (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), por exemplo, por vezes tem sido caracterizada na literatura como espécie

climática, pois ocorre em florestas em estágios avançados de sucessão. O fato de ocorrer, como planta adulta, nessas condições, não reduz a plasticidade da espécie, que germina e se desenvolve rapidamente a pleno sol e em condições de restrição hídrica, situações típicas dos Campos de Altitude, por exemplo, em cujos capões no sul do Brasil a espécie é predominante. Além disso, mesmo dentro de uma floresta fechada, suas plântulas podem permanecer por vários anos mais baixas do que um arbusto, esperando condições de maior luminosidade para crescer. Assim, caracterizar a araucária como espécie climática, por mais que indique a sua condição de vida em florestas maduras, é uma classificação insuficiente para contemplar suas adequações de nicho em diferentes fases da vida, bem como os consórcios de espécies em que ela faz parte em cada uma dessas fases.

Cada consórcio de espécies, em cada fase da sucessão ecológica, influencia e é influenciado pelos nichos criados durante a mesma (Figura 14).

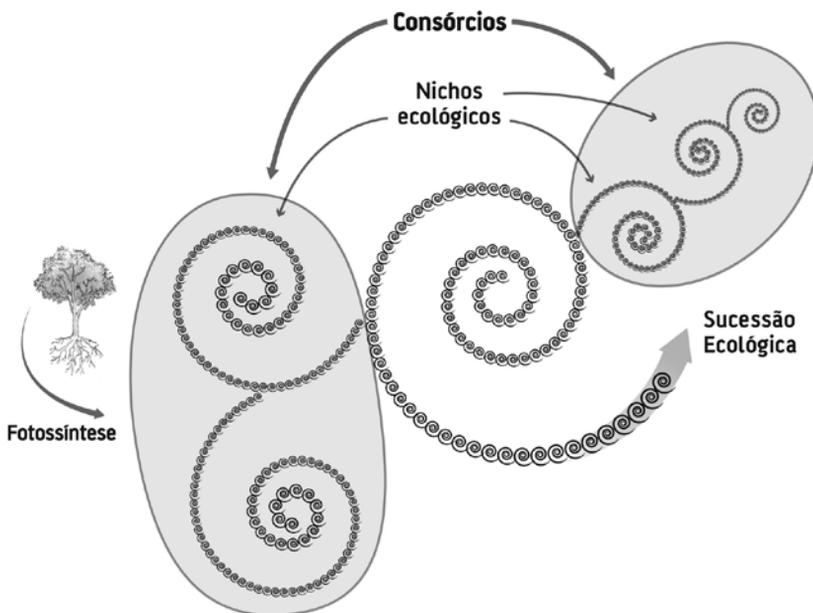


Figura 14. Representação esquemática da formação de consórcios de espécies a partir de conjuntos de nichos.

Entre um consórcio de espécies e outro, as espécies com maiores probabilidades de encontros interespecíficos são justamente as que mais contribuem para o aceleração do ritmo de sucessão de uma comunidade (Hurlbert, 1971). Espécies que atuam dessa maneira, ou seja, que contribuem de forma mais acentuada para a formação de novos nichos, são chamadas de “espécies facilitadoras” (Ricklefs, 2003). Usando um termo emprestado da química, pode-se dizer que as espécies facilitadoras contribuem mais fortemente para que os nichos ecológicos funcionem em níveis quânticos mais elevados, até porque, de fato, quanto mais avançada a sucessão, mais complexas as relações ecológicas e maior a capacidade de auto-organização da vida (Figura 15).

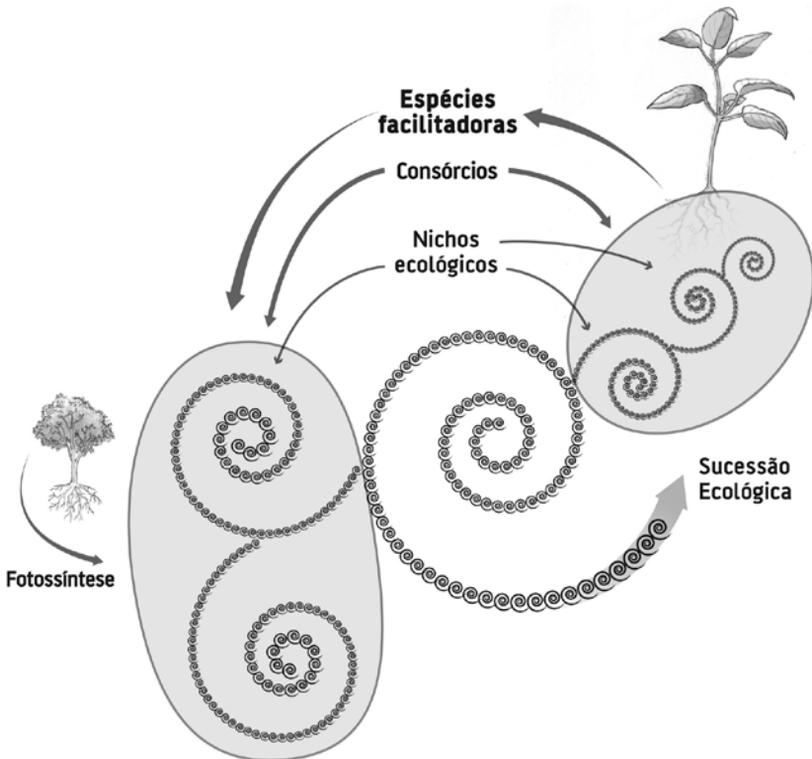


Figura 15. Representação esquemática da atuação de espécies facilitadoras na sucessão de consórcios de espécies e na formação de novos nichos ecológicos.

Após o trabalho de aceleração da sucessão ecológica realizado pelas espécies facilitadoras, a sua saída do sistema, após novos nichos criados, não é instantânea. Espécies que facilitaram as formações de novos nichos podem permanecer ainda alguns anos no sistema, saindo aos poucos, apesar de não mais estarem determinando fortemente a formação de novos nichos. Para ilustrar este aspecto, podemos fazer também outra comparação, a partir da química: assim como na termoquímica estuda-se o “calor latente”, que se constitui na manutenção constante de temperatura enquanto uma substância está se transformando do estado sólido para o líquido, ou do líquido para o gasoso, na sucessão ecológica existe o trabalho das próprias espécies, especialmente das espécies facilitadoras, que vai deixando de existir gradativamente, enquanto outras espécies facilitadoras vão passando a atuar nos novos nichos formados.

Voltando ainda ao exemplo da bracatinga, podemos dizer que ela é uma espécie facilitadora no período inicial da sucessão, em uma clareira aberta. Ao apresentar grande densidade, crescimento rápido e elevada produção de flores e de sementes, contribui para o estabelecimento de várias relações ecológicas. Decorridos em torno de vinte anos, novos nichos foram criados e sua função como espécie facilitadora não tem mais sentido. Ela vai saindo aos poucos do sistema, o que ocorre a partir da senescência e morte gradativa dos indivíduos da população, durante um período que pode durar mais uma década. Neste período, outras espécies facilitadoras vão passando a atuar; é a saída da bracatinga – e não as relações ecológicas que seus indivíduos vivos mantêm – que se constitui na sua contribuição à sucessão ecológica.



O USO DO CONHECIMENTO DA SUCESSÃO ECOLÓGICA NA PRÁTICA AGROFLORESTAL

Na prática agroflorestal, o foco está no direcionamento aos processos necessários para que a agrofloresta se estabeleça. O manejo da sucessão ecológica é um desses direcionamentos.

No texto de Ernst Götsch de 1992, intitulado *Natural succession of species in Agroforestry and in soil recovery*, ele descreve o seu próprio caminho na construção desta concepção de que o sucesso de um sistema agroflorestal está no seu mecanismo de estabelecimento e manejo, e não tanto em seus elementos estruturais. Este texto já tem mais de vinte anos e, ao longo desse período de tempo, Ernst desenvolveu várias técnicas para o manejo agroflorestal. Entretanto, o documento é muito valioso para ilustrar o desenvolvimento da percepção da importância do uso do conhecimento da sucessão ecológica na prática agroflorestal.

Quando esteve na Costa Rica (entre 1979 e 1982), Ernst desenvolveu um programa de reflorestamento, utilizando a estratégia de cultivo em aleias (*alley-cropping*). Foram plantadas linhas de espécies arbóreas leguminosas, como leucena, ingá e eritrina, alternadas com linhas de árvores frutíferas, como banana, caimito, zapote, etc. O espaço entre as linhas foi utilizado para culturas anuais (milho, feijão, mandioca e hortaliças). Na medida em que era necessário o uso de fertilizantes, a partir do segundo ou terceiro ano, as árvores inibiam o crescimento das culturas anuais, sem substituir as mesmas em termos de produtividade.

Então, ele passou a combinar apenas quatro frutíferas arbóreas (banana, cacau, abacate e pupunha) com eritrina, ingá e outras leguminosas para sombreamento. Apesar deste sistema ter funcionado relativamente bem em solos ricos, tanto na Costa Rica quanto em Itabuna, no sul da Bahia (Brasil), ele não funcionou em solos pobres, de pastagens abandonadas dessa região.

Tentou-se, então, trabalhar para a melhoria destes solos empobrecidos,

plantando primeiramente espécies pioneiras (mandioca, eritrina e ingá) que vão bem em solos pobres do sul da Bahia. Entretanto, somente a mandioca se estabeleceu, tendo se desenvolvido muito pouco. Um grande número de espécies pioneiras nativas, porém, cresceu vigorosamente nestas áreas. Ernst conta que, por isso, passou a fazer uma seleção dessas plantas que eram eliminadas – retirou apenas as gramíneas, herbáceas e trepadeiras que já haviam amadurecido ou que haviam sido substituídas por espécies cultivadas. Todas as outras ervas nativas, árvores e palmeiras foram autorizadas a crescer e cumprir sua função importante na melhoria do solo. As plantas cultivadas passaram a crescer bem na presença de espécies nativas. Essa percepção possibilitou o desenvolvimento da prática que ele passou a denominar *capina seletiva* (Götsch, 1992).

Aqui, é importante lembrar os filtros propostos por Lambers et al. (1998), descritos anteriormente. Muito embora as espécies plantadas por Ernst, neste relato, sejam classificadas como pioneiras, isso não significa que seriam estas as pioneiras que se desenvolveriam bem naquele solo, nos nichos ecológicos existentes naquele momento e sob toda a combinação de condições de fertilidade, relevo, insolação e demais fatores abióticos. A percepção das espécies pioneiras que de fato tinham condições de desenvolvimento naquela área específica, por meio de suas estratégias reprodutivas características - ou seja, as espécies que ali passaram pelos filtros de Lambers et al. (1998) -, foi fundamental para o enriquecimento da área.

A partir de então, Ernst procurou tirar o máximo proveito do potencial biológico e genético da flora e da fauna que ocorriam espontaneamente na área. Muitas plantas espontâneas nativas são, se bem manejadas, excelentes plantas companheiras. Quando jovens, elas estimulam o crescimento das espécies cultivadas e afastam pragas e doenças. Elas também protegem e melhoram o solo, ou indiretamente, corrigem o seu pH. Além disso, estas espécies aumentam a matéria orgânica do solo, constituindo uma fonte valiosa de substâncias fertilizantes (Götsch, 1992). Em outras palavras, a ocorrência natural das populações de espécies pioneiras nativas, na

área de cultivo, favorece a complexificação das relações interespecíficas e a formação de novos nichos ecológicos, propriedades emergentes nos sistemas agroflorestais. Nessas relações e nichos, as espécies cultivadas podem participar, aproveitando o benefício mútuo da complexificação da auto-organização do sistema.

Trazendo aqui o exemplo da Cooperafloresta, do total de plantas atualmente existentes nas agroflorestas de diferentes idades, 33% são provenientes de regeneração natural, sendo promovidas e manejadas nas agroflorestas (Steenbock et al., 2013b).

Voltando ao relato de Ernst, após dois anos de capina seletiva, observou-se que as plantas cultivadas mostraram sinais de redução do crescimento. Constatou-se que o crescimento de árvores e arbustos que haviam germinado na área dois anos antes passou a inibir o crescimento das culturas. Quando estas árvores e arbustos de espécies pioneiras foram cortadas total ou parcialmente, a comunidade inteira foi revigorada, explodindo em crescimento. É assim que Ernst conta que iniciou a prática da poda (Götsch, 1992).

Por outro lado, desde o início, Ernst implantou, em locais com ocorrência de vegetação pobre ou de espaços abertos, um grande número de espécies que poderiam ir bem nestas situações, em elevada densidade, em conjunto com frutíferas e espécies madeiráveis, visando a rendimentos de médio e longo prazo. Esta operação foi muito bem-sucedida, mas apenas nos lugares onde havia sido efetivada uma poda intensa dos indivíduos maiores da vegetação já estabelecida anteriormente ao plantio. Esta percepção levou Ernst a considerar que o fator crítico na determinação da taxa de crescimento e produtividade do sistema não é a qualidade inicial do solo, mas sim a composição e densidade de indivíduos de uma comunidade de plantas e a presença de uma geração futura de plantas, ou “espécies do futuro” (Götsch, 1992).

Conforme descrito anteriormente e a experiência relatada, a sucessão de espécies reflete a sucessão de consórcios, inseridos em conjuntos de

nichos ecológicos diferentes. Entre um consórcio e outro, a presença de “espécies facilitadoras” favorece mais acentuadamente a determinação de condições para o próximo consórcio. Quando este favorecimento já está estabelecido, o papel das espécies facilitadoras é sair do sistema. A poda total ou parcial dos indivíduos maiores ou mais velhos, justamente aqueles que já cumpriram seu papel de facilitação, pode acelerar o processo sucessional, dando condições adequadas para o próximo consórcio.

Assim, a poda, além de favorecer a entrada de luz nos vários “andares” da agrofloresta, permite acelerar o processo sucessional.

A prática da poda pode ser resumida da seguinte maneira: árvores e arbustos quando maduros são rejuvenescidos pela poda; árvores e arbustos que já cumpriram suas funções de melhorar o solo e foram substituídos por indivíduos do consórcio sucessor são cortados e toda sua matéria vegetal é devidamente picada e bem distribuída sobre o solo, tomando-se o devido cuidado para que os tecidos lenhosos (galhos e troncos) fiquem em contato direto com o solo. Além da condição de maturidade do indivíduo, outros fatores também são considerados para a prática da poda, como a sua adequação na estratificação da comunidade. Deve-se atentar para a planta existente abaixo daquela que será podada, que irá substituí-la no próximo consórcio. Dessa forma, leva-se em consideração tanto a planta que vai ser podada quanto a planta que sofrerá as consequências dessa poda, já que a poda interferirá na disponibilidade de luz, espaço e oferta de matéria orgânica no sistema (Götsch, 1995).



O SOLO COMO RESULTADO DA PRÁTICA AGROFLORESTAL

O solo é um sistema vivo resultante das relações não lineares entre os minerais, os organismos edáficos e as plantas (Vezzani & Mielniczuk, 2011). As relações entre os componentes do solo são estabelecidas à medida que a energia e a matéria contidas nos vegetais servem de alimento para os organismos do solo. Ao utilizarem essa energia e matéria e excretando resíduos, os organismos fazem fluir tanto a energia como a matéria e, com esse fluxo, o sistema solo se mantém e evolui (Vezzani & Mielniczuk, 2011) e, através das relações não lineares, proporcionam condições para as agroflorestas se manterem e evoluírem.

Como sistema vivo, o solo reflete as práticas agrícolas e as relações que ocorrem no manejo das plantas. Ao manejar uma agrofloresta, o homem está manejando o fluxo de energia e matéria que conduz todo o sistema para a complexificação da estrutura, se proporcionar o aumento na magnitude e diminuição da velocidade do fluxo; ou para a simplificação, se proporcionar a diminuição da magnitude e aumento da velocidade do fluxo, como foi visto na descrição da Figura 6.

Os responsáveis por fazer o fluxo ocorrer neste grande sistema solo-plantas-organismos são os organismos edáficos, que compreendem os microrganismos (bactérias, actinomicetos, fungos, algas, protozoários, vírus) e a fauna (ácaros, nematoides, aranhas, insetos, formigas, minhocas, centopeias, caramujos, camundongos). O número de organismos no solo é expressivo, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa de número e de matéria viva de alguns organismos de um solo não cultivado sob condições tropicais. Dados apresentados em Lopes Assad (1997).

Organismos	Número estimado indivíduos por m ²	Matéria Viva estimada gramas
Bactérias	$10^{13} - 10^{14}$	$10 - 10^2$
Actinomicetos	$10^{12} - 10^{13}$	$10 - 10^2$
Fungos	$10^{10} - 10^{11}$	$10 - 10^2$
Nematoides	$10^8 - 10^{10}$	0,1 - 10
Ácaros	$1-3 \times 10^{14}$	0,1 - 10
Colêmbolos	$0,5-2 \times 10^5$	0,5 - 10
Larvas de coleópteros	$10 - 10^3$	$1 - 10^2$
Larvas de dípteros	$10 - 10^3$	0,5 - 10
Minhocas	$1-5 \times 10^2$	$0,1 - 10^2$
Térmitas	$10^2 - 10^5$	0,05 - 50
Formigas	$10^2 - 10^5$	0,05 - 50

Em relação ao tamanho do corpo, existem três grandes grupos de organismos edáficos decompositores, que são aqueles que utilizam as plantas como fonte de alimento. Essa classificação foi apresentada por Lopes Assad (1997) e está reproduzida na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação dos organismos edáficos decompositores em função do tamanho do corpo. Fonte: adaptado de Lopes Assad (1997).

Grupos	Tamanho
Microfauna	< 0,2 mm
Mesofauna	< 0,2 a 4 mm
Macrofauna	4 a 80 mm

A principal função dos três grupos é regular a dinâmica do carbono, que se traduz no fluxo de energia e matéria no sistema, pois, como uma rede alimentar, alguns servem de alimento para outros e com isso a energia e a matéria oriundas da fotossíntese passam através do sistema.

Os macrorganismos alimentam-se diretamente dos resíduos vegetais e movimentam-se no solo, e, como consequência, são capazes de construir poros. Os mesorganismos alimentam-se dos microrganismos e habitam os espaços porosos do solo, muitas vezes formados pelos macrorganismos. E os microrganismos também alimentam-se dos próprios microrganismos e de compostos orgânicos. Portanto, formam uma rede alimentar, e, por isso, todos os grupos regulam o fluxo de energia e matéria oriundo da fotossíntese.

Sendo assim, a ausência de um grupo compromete o andamento do fluxo, o que pode causar prejuízo e decomposição do sistema, pois as agro-florestas necessitam do fluxo para continuarem vivas.

Para que o fluxo seja mantido na mesma magnitude e velocidade, a fonte de energia e matéria, que é a produção de matéria vegetal pela fotossíntese, precisa ser mantida, conforme discutido anteriormente. Mas não somente a fonte deve ser mantida, a variedade da fonte alimentar também é fundamental. Cada grupo de organismos é responsável pelo uso de um composto específico. Veja as reações de decomposição de alguns compostos orgânicos vegetais na Figura 16.

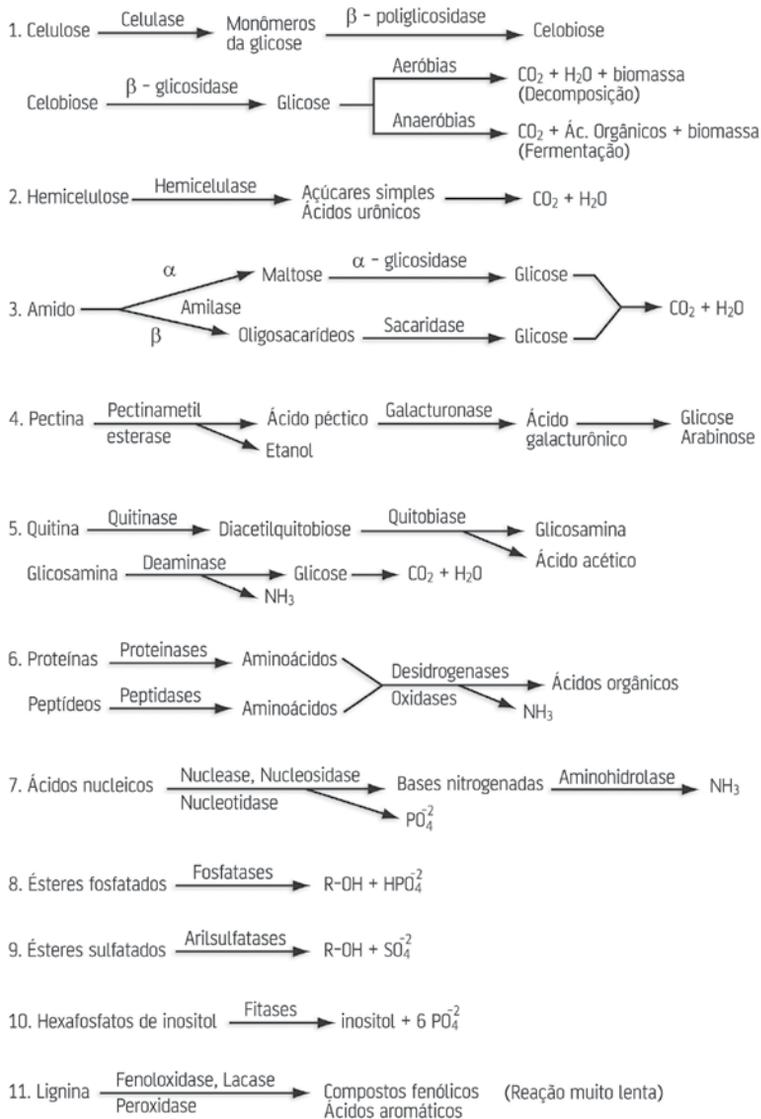


Figura 16. Transformações bioquímicas de compostos orgânicos mediadas pelos microrganismos e suas enzimas. Fonte: Siqueira & Franco (1988).

Observe na Figura 16 que em cada reação existe uma enzima específica (nome junto à seta) que ativa essa reação. As enzimas são oriundas dos microrganismos do solo; portanto, para que todos os compostos orgânicos vegetais sejam utilizados e decompostos, uma grande variedade de enzimas tem que estar presente no sistema, ou seja, uma grande variedade de organismos. Para que todos esses organismos estejam presentes, é preciso ter alimento que estimule e promova o crescimento e o desenvolvimento de todos os grupos. E a fonte de alimento dos sistemas vivos terráqueos, como vimos anteriormente, é a fotossíntese, na sua grande maioria, os vegetais. Desta forma, a diversidade de plantas determina a riqueza e a diversidade dos organismos do solo (Beare et al., 1995). Os sistemas agroflorestais conduzidos pelos princípios da sucessão ecológica atingem plenamente essa necessidade da rede trófica no solo.

Como qualquer sistema vivo, o fluxo de energia e matéria nas agroflorestas promove a auto-organização dos seus componentes em estruturas em complexidade distinta.

A energia e a matéria no sistema solo-plantas-organismos constituem-se num espectro de material orgânico, que vai desde partes do tecido vegetal (parte aérea e raízes) e organismos edáficos em decomposição, exsudatos vegetal e animal até a matéria orgânica humificada, juntamente com a biomassa microbiana do solo. A todo esse espectro de material orgânico chamamos de **matéria orgânica do solo**.

Esses diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo possuem tempo de residência distintos no sistema, de acordo com as características de cada um. Em ambientes de clima frio, Schmidt et al. (2011) apresentaram dados que informam o tempo médio de persistência da matéria orgânica do solo de 50 anos, com variações, dependendo do seu compartimento, entre 5 a 270 anos. Duxbury et al. (1989) propuseram os tempos de residência apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Tempo de residência dos compartimentos da matéria orgânica do solo. Fonte: adaptado de Duxbury et al. (1989).

Compartimentos	Tempo de Residência anos
FÁCIL decomposição: folhas, raízes e exsudatos	0,25
RESISTENTE decomposição: matéria vegetal de composição complexa	n.d. ¹
Biomassa microbiana	0,25
Matéria Orgânica Particulada	--- ²
Substâncias Húmicas	1000

¹n.d. = não determinado pelos autores.

²O tempo de residência desse compartimento depende da proteção física dentro dos agregados do solo, que é controlada pela textura e mineralogia do solo e pela prática de revolvimento do solo.

As folhas, as raízes e os exsudatos são constituídos de compostos orgânicos de estrutura química mais simples, o que facilita a sua utilização pelos organismos do solo. Por esse motivo, apenas em alguns meses, folhas, raízes e exsudatos já são consumidos, e parte do carbono contido nesses compostos é incorporado à biomassa microbiana, outra parte torna-se matéria orgânica humificada, e ainda há liberação de CO₂ para atmosfera, como subproduto do processo de decomposição, e disponibilidade de nutrientes no solo, que poderão ser consumidos pelos microrganismos e/ou absorvido pelas plantas. A dinâmica entre os compartimentos da matéria orgânica está demonstrada na Figura 17. Percebe-se claramente, nesse processo, que os compartimentos da matéria orgânica estão interligados e dependentes um dos outros. Como todo sistema vivo, a matéria orgânica do solo é resultado das relações não lineares entre os seus componentes.

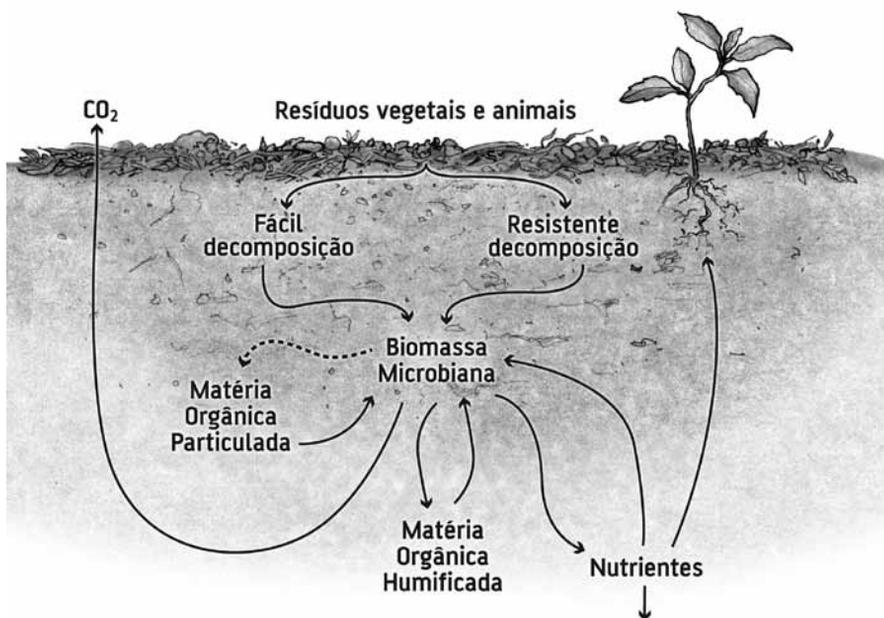


Figura 17. Representação esquemática da dinâmica da transformação da matéria orgânica do solo entre os diferentes compartimentos.

O compartimento resistente à decomposição é composto por material vegetal de estrutura orgânica mais complexa. Essas estruturas vegetais podem perdurar por vários meses na superfície do solo. É importante ressaltar aqui os galhos e os troncos oriundos do manejo das agroflorestas, que nessa dinâmica não são considerados matéria orgânica do solo, pois permanecem por muito tempo na superfície do solo em processo de fragmentação dos seus tecidos pela fauna edáfica e só depois, então, iniciarão o processo de decomposição pela biomassa microbiana.

A biomassa microbiana necessita de compostos orgânicos como fonte de energia e carbono para a sua atividade e seu desenvolvimento. Ao utilizar carbono de todos os demais compartimentos, os microrganismos incorporam carbono na sua biomassa, constituindo-se, então, um dos compartimentos da matéria orgânica do solo. Além disso, ressaltamos, novamente, que a biomassa microbiana é o compartimento que faz circular a energia e

a matéria no sistema solo-plantas-organismos. O ciclo de vida dos organismos é curto e rapidamente a população é renovada.

O compartimento da matéria orgânica particulada é constituído por partes do tecido vegetal ou animal de fácil ou de resistente decomposição. A superfície desse material é colonizada pela população microbiana, que libera mucilagens e exsudatos como subprodutos desse processo de decomposição das extremidades. Estes produtos do metabolismo microbiano, produzidos sobre a superfície da matéria orgânica particulada em decomposição, interagem com as partículas minerais isoladas ou agregadas do solo, formando verdadeiras cápsulas de material orgânico incrustado com minerais e/ou agregados. Em função de a interação organomineral ser extremamente forte e o tamanho dos poros formados nesse processo ser menor que o diâmetro do corpo dos microrganismos (o que impede o acesso ao material pelos decompositores), o material orgânico permanece no sistema. O compartimento da matéria orgânica particulada permanece estável até algum momento que um organismo consegue penetrar no espaço restrito formado pela interação organomineral ao redor do material orgânico. Portanto, como a decomposição da matéria orgânica particulada depende da dinâmica da vida no sistema, não é possível estimar o seu tempo de permanência no solo.

Quando ocorre a entrada de organismos no interior da matéria orgânica particulada, o processo de decomposição é finalizado e o caminho do carbono segue o mesmo que é para as folhas, raízes e restos de organismos, ou seja, parte transforma-se em biomassa microbiana, parte transforma-se em matéria orgânica humificada, parte em nutrientes e parte em CO_2 , como mostra a Figura 17.

A matéria orgânica particulada tem papel importante nas relações entre os compartimentos da matéria orgânica do solo. Ela promove a manutenção da atividade biológica, por ser fonte prontamente disponível de energia e carbono (quando a microbiota consegue acessá-la), e, por conseguinte, do fluxo de energia e matéria e ciclagem de nutrientes. Além disso, a matéria

orgânica particulada faz parte das estruturas maiores do solo (macroagregados), proporcionando a emergência de propriedades relativas à estrutura física do solo, influenciando a porosidade — presença de ar e água no ambiente solo — , fatores essenciais para promover a vida dos organismos edáficos e a fotossíntese das plantas.

A matéria orgânica humificada constitui-se pelos compostos orgânicos também de estrutura química simples, porém já com alta carga de superfície pela formação dos grupos funcionais decorrentes do processo de decomposição. Estes compostos persistem no solo por fortes interações organominerais ou, até mesmo, por condições químicas do microambiente que impedem o avanço do processo de decomposição pela microbiota (acidez, hidrofobicidade). Pode ocorrer, também, a desconexão física entre os decompositores e as moléculas orgânicas, ou seja, os compostos orgânicos ficam em espaços no solo distantes fisicamente da comunidade decompositora. Esse caso é mais comum quando o material orgânico se desloca no perfil com o fluxo de água ou pelo transporte via movimento dos organismos da fauna edáfica ou a própria adição pelo sistema radicular mais profundo, enquanto a concentração da biomassa microbiana está na superfície. Como consequência, a matéria orgânica humificada permanece no sistema, e essa permanência é uma propriedade emergente de alto valor, pois resulta na manutenção da matéria orgânica do solo.

As funções da matéria orgânica do solo estão relacionadas com a sua propriedade de reatividade. Os compostos orgânicos de todos os compartimentos da matéria orgânica do solo possuem cargas elétricas, responsáveis em adsorver nutrientes para as plantas e organismos e outros compostos orgânicos e inorgânicos (como os agroquímicos), além de realizar as interações organominerais (formando a estrutura física do solo) e complexar compostos, inativando-os, inclusive os que são prejudiciais ao ambiente. Nos solos das regiões tropicais e subtropicais, a matéria orgânica é a principal fonte de cargas negativas, podendo contribuir com até 90% da capacidade de troca de cátions (forma iônica de



grande parte dos nutrientes para as plantas), especialmente em solos com minerais de baixa atividade reativa (Silva & Mendonça, 2007).

A quantidade de carga negativa da matéria orgânica e dos minerais é dada pela capacidade de troca de cátions (CTC). Ao comparar a CTC da matéria orgânica humificada, que é de 400 a 1400 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ com alguns minerais do solo, como a caulinita (filossilicato de camada 1:1), que tem CTC de 3 a 15 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Melo & Wypych, 2009), e a vermiculita (filossilicato de camada 2:1), que tem CTC de 115 a 250 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ (Kämpf et al., 2012), entende-se a grande contribuição da matéria orgânica na CTC dos solos (Canellas et al., 2008).

Soma-se à reatividade, a propriedade coloidal da matéria orgânica, que é a grande relação área por volume, traduzida na área superficial específica (ASE) – área disponível para que ocorram reações químicas (Silva et al., 2000). Essa propriedade promove a “flexibilidade” à molécula orgânica, favorecendo todas as interações de que ela participa. Portanto, é através dessas propriedades da matéria orgânica do solo que ela cumpre as funções no sistema solo-plantas-organismos.

A auto-organização desse sistema ocorre em função do fluxo de material orgânico. Assim como é sobre a superfície do solo, em que a complexidade da vegetação evolui para a construção de nichos em estados sucessivos de aumento da riqueza de espécies vegetais e, conseqüentemente, incremento no número de relações não lineares e complexidade da estrutura, abaixo da superfície do solo o sistema também se auto-organiza em estruturas com complexidade crescente, dependendo da magnitude, da velocidade e da riqueza de compostos orgânicos oriundos do fluxo de energia e matéria (Vezzani & Mielniczuk, 2011), ou seja, da quantidade e da riqueza de material orgânico adicionado ao sistema.

A Figura 18 demonstra o processo de funcionamento do sistema solo-plantas-organismos e a formação das estruturas em nível cada vez mais elevado de complexidade. No início do processo, o solo se auto-organiza em estruturas que vão desde a interação organomineral até agregados com

um tamanho em torno de 0,25 mm. Durante essa etapa, há aumento da complexidade da estrutura, pois à medida que aumenta o tamanho do agregado, aumenta o número de constituintes do mesmo. O material orgânico oriundo do crescimento radicular, dos organismos edáficos e dos resíduos vegetais adicionados na superfície em função da poda é o agente estruturante desses agregados. Sendo assim, essas estruturas são constituídas por minerais do solo, moléculas orgânicas e nutrientes, que estão interagindo tanto com os minerais como com a matéria orgânica.

A formação de estruturas do solo maiores (maiores que 0,25 mm), mais complexas e diversificadas ocorre devido, principalmente, à ação mecânica das raízes e das hifas de fungos rizosféricos (e todo o ambiente resultante dessa interação) no entrelaçamento das unidades menores. As raízes, ao desenvolverem-se e se manterem ativas, extraindo solução do solo e exsudando compostos orgânicos, somado aos fungos rizosféricos associados, principalmente fungos micorrízicos do tipo vesicular-arbuscular e fungos saprófitos, executam a ação de entrelaçar mecanicamente os agregados menores do solo. O ambiente gerado em torno do sistema radicular é altamente rico em compostos orgânicos de fácil utilização pelos organismos edáficos, propiciando a estabilização dos macroagregados e o desenvolvimento da vida no solo, a qual é responsável pelas reações bioquímicas de ciclagem e disponibilidade de nutrientes. Dessa forma, os macroagregados são formados por minerais, microrganismos, compostos orgânicos e inorgânicos e partes de tecido vegetal e de macrorganismos numa rede de relações não lineares, com alta quantidade de energia e matéria retida na forma de compostos orgânicos, caracterizando o nível de complexidade alto (Vezzani & Mielniczuk, 2011).



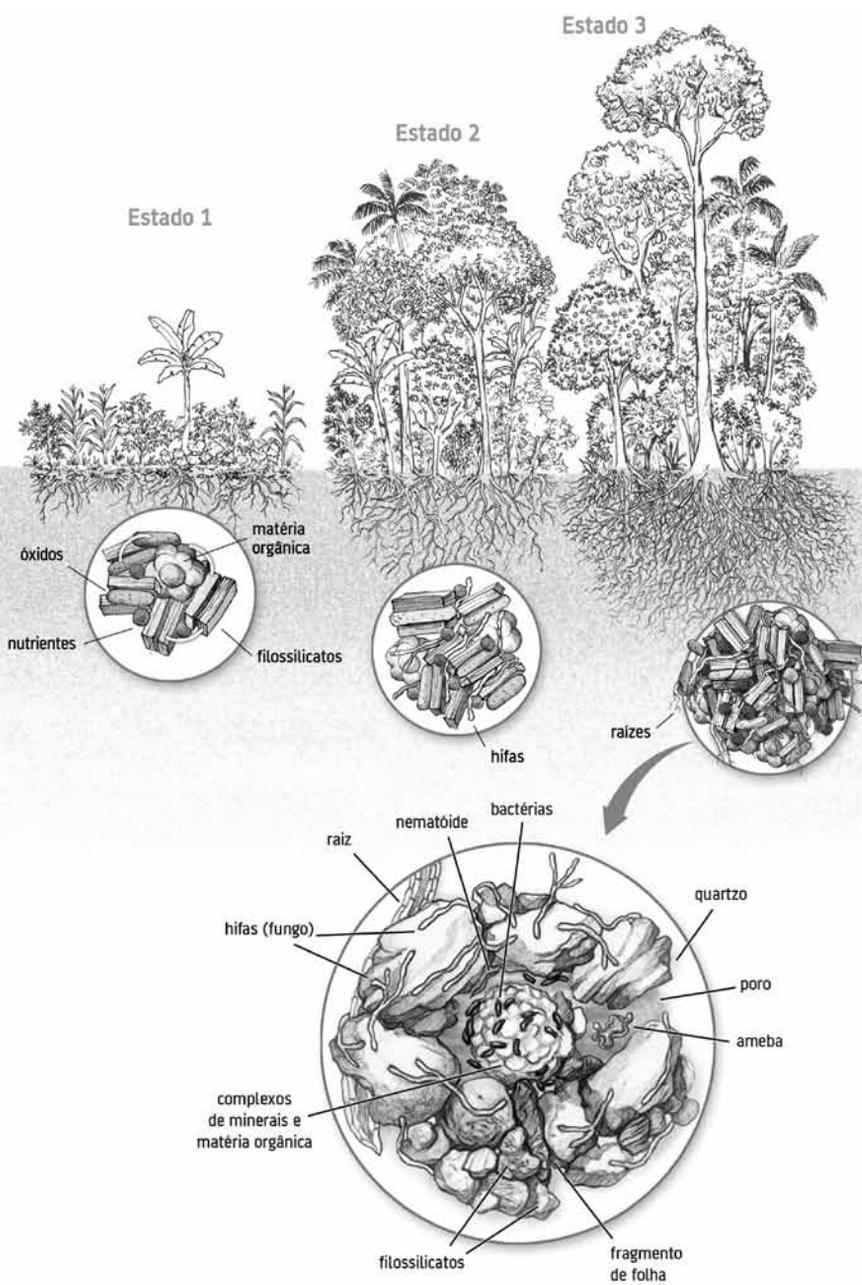


Figura 18. Representação esquemática da auto-organização do sistema solo-plantas-organismos em agroflorestas, indicando os estados de ordem em diferentes níveis de complexidade.

É importante ressaltar que, no início do processo de estabelecimento agroflorestal (estado 1 na Figura 18), a quantidade de matéria vegetal da parte aérea e raízes produzida ainda é pequena e, conseqüentemente, a magnitude do fluxo de energia e matéria que entra no sistema solo é pequena. Outro aspecto importante neste estágio inicial da sucessão é o perfil de solo utilizado pelas plantas, e, conseqüentemente, organismos. Como as plantas são de baixo porte, o sistema radicular é mais superficial e o estímulo à biota edáfica e as trocas/relações entre os componentes do sistema solo-plantas-organismos se restringem à camada mais superficial.

Portanto, o fluxo de energia e matéria que inicia na fotossíntese é a fonte geradora de organização e complexidade da estrutura do sistema solo-plantas-organismos. A interação entre os componentes do solo, das plantas e dos organismos é que resulta a construção de um sistema de produção complexo e capaz de cumprir as funções ecossistêmicas.

Como visto anteriormente, em cada nível de complexidade da estrutura surgem as propriedades emergentes (Vezzani & Mielniczuk, 2011). No caso das agroflorestas, o estado 1 na Figura 18 é quando as plantas presentes estão em início de desenvolvimento, onde a magnitude do fluxo de energia e matéria não é alto e o sistema radicular das plantas ainda é incipiente. Com esses componentes, as relações não lineares expressam maior presença de microagregados, que possuem na sua estrutura microporos, os quais são capazes de reter a água no solo. Nessa condição, a matéria orgânica está presente, apesar de não estar em conteúdo tão elevado. De qualquer forma, ela está exercendo suas funções de retenção/absorção de nutrientes; retenção e/ou complexação de compostos que podem ser prejudiciais ao sistema e ao ambiente no entorno; e fonte de energia e matéria (alimento) para os organismos edáficos.

O estado 2 na Figura 18 caracteriza-se pelo aumento da riqueza e uso de diferentes estratos de luz pela vegetação, o que reflete no aumento da riqueza e estratos de uso do perfil do solo também. Estruturas de solo mais complexas são formadas como resultado da complexidade do sistema radi-

cular e da diversidade da biota. O conteúdo de matéria orgânica aumenta, gerando propriedades emergentes mais complexas e em maior número.

À medida que a estrutura vegetal se torna mais e mais complexa (estado 3 na Figura 18), a estrutura do solo também se torna mais e mais complexa, aumentando as propriedades emergentes e potencializando as funções ecossistêmicas. As propriedades emergentes dessa condição de estrutura complexa, de uma forma ampla, são: melhoria da estrutura física do solo, aumentando a resistência à erosão hídrica e eólica; relação adequada de microporos, responsáveis pela retenção de água, e de macroporos, responsáveis pela drenagem da água e aeração do solo, promovendo fluxos de água e ar adequados; maior retenção/adsorção de nutrientes e aumentando o estoque dos mesmos no sistema; maior retenção/adsorção e/ou complexação de compostos orgânicos e inorgânicos, que podem ser prejudiciais ao ambiente, e, com isso, atenuando ou até inativando seus efeitos tóxicos ou poluentes; aumento na quantidade de nutrientes para as plantas e organismos provenientes dos compostos orgânicos, os quais contêm elementos essenciais para as plantas na sua composição, resultando, também no favorecimento da biota edáfica, pela maior quantidade de energia e carbono oriundos dos compostos orgânicos; aumento da eficiência da ciclagem dos elementos químicos, pelo favorecimento das condições físicas e nutricionais à atividade dos microrganismos; aumento da diversidade da biota edáfica e do sistema solo, em função da maior quantidade de carbono, promovendo condições para o solo suportar estresses e servir como filtro e tampão ambiental; aumento do estoque de carbono, evitando a emissão de CO₂ para a atmosfera, e, assim, diminuindo o Efeito Estufa; resistência a perturbações e resiliência do sistema (Vezzani & Mielniczuk, 2011).

Portanto, para atingir esse estado de organização em que as propriedades emergentes são em maior número e funções mais complexas, as raízes das plantas são fundamentais. As raízes, além de adicionarem energia e matéria, atuam fisicamente na



construção da estrutura complexa. É importante ressaltar o grande potencial de adição de matéria orgânica particulada pelas raízes, considerando que esse compartimento da matéria orgânica do solo é fonte de carbono para os demais compartimentos, o que estimula que a matéria orgânica execute todas as suas funções no sistema.

Em função disso, o manejo nas agroflorestas é direcionado para aumentar a riqueza tanto na parte aérea como no ambiente radicular, e em ambos os ambientes a finalidade é estimular diferentes estratos do perfil. A diversidade de plantas exerce contribuição pela parte aérea no que se refere ao uso dos estratos de luz, compartilhamento de recursos (radiação solar, precipitação), como vimos nos princípios da sucessão ecológica, e exerce contribuição pelas raízes também devido aos mesmos aspectos: uso dos estratos do solo, compartilhamento de recursos (água e nutrientes do solo) e a criação de um ambiente diverso e propício ao desenvolvimento da vida no solo.



O MANEJO DO SOLO AGROFLORESTAL

O manejo do solo agroflorestal deve refletir a prática de todos os aspectos teóricos que abordamos até aqui neste livro. Por isso, nesse momento, vamos recapitular, brevemente, o que vimos.

A energia e a matéria contida nos vegetais servem de alimento para os organismos do solo, então, busca-se, na agrofloresta, contribuir para a formação da rede de relações não lineares entre estes componentes. Ao utilizarem essa energia e matéria e excretando resíduos, os organismos fazem fluir tanto a energia como a matéria e, com esse fluxo, o sistema agroflorestal se mantém e evolui.

Neste processo, a ausência de um grupo de organismos compromete o andamento do fluxo. Como as agroflorestas, assim como os sistemas vivos, para manterem-se necessitam do fluxo para continuarem vivas, o comprometimento do fluxo pode causar prejuízo e decomposição do sistema.

Para que o fluxo de energia e matéria nos sistemas agroflorestais ocorra em magnitude e velocidade adequadas, é preciso promover e estimular a diversidade do cultivo de plantas. A maior riqueza vegetal promovida pelas agroflorestas proporciona a diversificação dos organismos vivos presentes e dos sistemas radiculares, que variam amplamente em arquitetura, magnitude, fisiologia, compostos exsudatos e associações com organismos. Nesse sentido, atuam de forma diferenciada nos processos ecológicos entre minerais do solo, plantas e organismos, favorecendo a dinâmica da estrutura biológica, física e química do sistema. Sendo assim, a diversidade potencializa as relações não lineares entre os componentes e, consequentemente, a formação de estrutura do sistema mais complexa tanto acima como abaixo da superfície do solo.

Neste aspecto, é importante ressaltar o perfil de uso do solo nos sistemas agroflorestais. A estratificação vertical das plantas cultivadas em associação transfere o uso vertical para a profundidade do solo explorada. E, sendo assim, o fluxo de energia e matéria no sistema ocorre em maior

área vertical, proporcionando que os processos ecológicos ocorram em perfil maior e potencializando o uso eficiente dos recursos do meio.

As árvores, por apresentarem sistema radicular mais profundo que as culturas anuais, absorvem quantidades significativas de nutrientes do subsolo, que são depositadas sobre a superfície do solo via folhas e galhos caídos, ou poda ou morte das raízes superficiais (Glover & Beer, 1986; Young, 1989; Garrity et al., 1995). Este processo de translocação aumenta o estoque de nutrientes disponíveis nas camadas menos profundas do solo.

Assim, levando em conta os aspectos já discutidos, é importante ainda considerar que, em uma agrofloresta diversificada, o conjunto de raízes das diferentes plantas forma um compartimento especializado em solubilizar e acessar diferentes nutrientes para o sistema e contribuir para a estruturação física e para a vida do solo.

A cobertura e a proteção do solo nas agroflorestas é uma premissa importante para garantir a elevada umidade relativa do ar e a estrutura do solo, bem como para reduzir ao máximo a erosão. Dessa forma, procura-se movimentar o mínimo possível o solo, mantendo e amplificando os nichos ecológicos dos organismos edáficos e, conseqüentemente, a liberação de nutrientes para a sustentação da agrofloresta. Para este incremento, a prática frequente e intensa da poda é fundamental.

Nas agroflorestas, todo o material podado é cuidadosamente picado e disposto sobre o solo, procurando otimizar o contato entre este material e a superfície. Com isso, a degradação da matéria vegetal é facilitada, contribuindo para a maior velocidade da sucessão ecológica do que nas clareiras de florestas nativas. Nas clareiras, a queda de árvores ou galhos não reflete imediatamente no contato entre estes materiais e o solo, levando muito mais tempo para que sejam utilizados pelos organismos edáficos.

A estrutura multiestratificada de raízes, a elevada densidade de plantas, a poda frequente e a disposição cuidadosa do material podado na superfície promovem condições adequadas para o incremento da matéria orgânica no solo agroflorestal. Esta, além da importância como reservatório de nutrien-

tes e de seu papel na ciclagem de nutrientes, cumpre a função fundamental de ser fornecedora de energia e matéria para toda a vida do solo, que, com sua atividade, transformam gradativamente o ecossistema, fazendo emergir novas estruturas com propriedades emergentes mais complexas.

Penereiro (1999) avaliou essa transformação do solo, comparando propriedades edáficas em duas áreas em um mesmo tipo de solo, declividade semelhante e na mesma fazenda, no sul da Bahia. Ambas as áreas eram pastos degradados 12 anos antes desse estudo. Em uma das áreas, foi implantada agrofloresta, e na outra ocorreu regeneração natural, que, no momento do estudo, estava em estágio médio de regeneração (capoeirão). Apesar de as quantidades de matéria orgânica não diferirem entre as áreas, os dados relativos aos teores de acidez e de nutrientes variaram significativamente, o que indica que houve diferença na natureza e/ou na dinâmica de decomposição do material vegetal. Na agrofloresta, o pH (em H₂O), que mede a acidez do solo, determinado na camada de 0 e 5 cm, foi de 5,6, enquanto que na área de capoeira, foi de 5,3. Na camada de 5 a 20 cm, a agrofloresta apresentou pH de 5,4, e a capoeira, de 5,0. Os teores de cálcio e magnésio foram significativamente superiores na agrofloresta. Porém, o elemento que teve a variação mais surpreendente entre as duas áreas foi o fósforo, cujo teor na agrofloresta se apresentou, aproximadamente, sete vezes maior na camada de 0 a 5 cm, e cerca de quatro vezes maior na camada de 5 a 20 cm. Discutindo esses resultados, a autora coloca que no ciclo do fósforo o papel dos microrganismos é fundamental, mineralizando as reservas de fósforo orgânico, dissolvendo fontes insolúveis de fosfatos inorgânicos e captando fósforo solúvel em regiões não alcançadas pelas raízes, transferindo-o para as plantas. A ocorrência de compostos orgânicos no solo (por exemplo, certos oxalatos) também pode ser importante nesse processo, já que promovem a quelação do ferro, reduzindo a disponibilidade desse elemento para reagir com o fósforo (Jordan, 1990).

Lima (1994), da mesma forma, encontrou maiores teores de fósforo em sistemas agroflorestais da várzea amazônica do que em áreas de roça.

Segundo o autor, isso confirma a capacidade destes sistemas de manter a fertilidade do solo com baixa exportação dos nutrientes, condicionada pela manutenção de uma estrutura com vários estratos e pelo tipo de manejo, que permite a formação de uma densa camada de matéria orgânica na superfície do solo.

No âmbito da Cooperafloresta, foram realizados, recentemente, estudos de atributos biológicos, físicos e químicos do solo em agroflorestas de 5 e de 10 anos de idade, comparando-os com áreas que foram mantidas em regeneração natural, ou seja, áreas de florestas nativas em recuperação, por 10 anos. Tanto as agroflorestas quanto as áreas em regeneração natural eram anteriormente pastagens, em tipos de solo e declividade semelhantes (Neossolo Regolítico e declividade em torno de 40%).

Nas agroflorestas de 5 e 10 anos, uma avaliação qualitativa da fauna que vive na região da superfície do solo, por meio de armadilhas de captura, indicou 10.126 e 10.781 indivíduos, respectivamente; enquanto que, na área em regeneração natural, 8.597 indivíduos (Cezar, 2013). A riqueza de espécies da fauna não variou entre os sistemas, porém observa-se um favorecimento no desenvolvimento do número de organismos pelo manejo agroflorestal.

O tamanho da biomassa microbiana nas agroflorestas de 5 anos foi de 686 mg de carbono por kg de solo na camada de 2,5 cm superficiais do perfil (local onde ocorre a maior atividade biológica de decomposição de material orgânico e ciclagem de elementos), e a atividade dessa microbiota (medida pela liberação de gás carbônico [CO_2] para a atmosfera) foi de 3,7 mg de carbono na forma de CO_2 por kg de solo em uma hora. Nas agroflorestas de 10 anos, na mesma camada de 0 a 2,5 cm do solo, a biomassa microbiana foi de 478 mg de carbono por kg de solo e a atividade também foi de 3,7 mg de carbono na forma de CO_2 por kg de solo em uma hora (Cezar, 2013). Esses dados indicam que as agroflorestas mais jovens são mais eficientes no uso do carbono do solo, pois com a mesma atividade incorporaram mais carbono na sua biomassa. Esse fato é relevante para os

sistemas agroflorestais, pois indicam a grande capacidade de promover a vida no solo e a consequente execução das suas funções, mantendo o sistema ativo e produtivo.

Os dados de decomposição de folhas da serapilheira dessas áreas confirmam a dinâmica das agroflorestras mais jovens, que refletem as práticas do manejo mais intenso. Nas agroflorestras de 5 anos, a taxa de decomposição foi de 213 mg por grama de folha em decomposição por dia, tendo um tempo de meia-vida no sistema de 33 dias, enquanto que a taxa de decomposição nas agroflorestras de 10 anos foi de 186 mg por grama de folha em decomposição por dia e tempo de meia-vida de 37 dias. A regeneração natural teve taxa de decomposição de 181 mg por grama de folha em decomposição por dia e tempo de meia-vida de 38 dias (Schwiderke, 2013).

As propriedades físicas do solo, que muito se relacionam com a atividade da vida, demonstraram alta capacidade de condutividade da água no solo das agroflorestras na camada superficial de 0 a 10 cm. Os valores foram de 1.480 mm por hora para as agroflorestras de 5 anos e 1.930 mm por hora para as agroflorestras de 10 anos (Shtorache, 2013), muito mais elevados que, por exemplo, dados apresentados por Lima et al. (2008) em culturas anuais no sistema plantio direto de 4,39 mm por hora. Os dados de alta condutividade hidráulica do solo nas agroflorestras são confirmados pela macroporosidade na camada de 0 a 10 cm, que foi de 0,33 e 0,32 metro cúbico de poros por metro cúbico de solo para a agroflorestra de 5 e 10 anos, respectivamente. Valores muito superiores a 0,10 metro cúbico de poros por metro cúbico de solo, limite considerado crítico, onde abaixo do qual ocorre prejuízo à produção agrícola (Ferreira, 2010), pois compromete o adequado suprimento de oxigênio para as raízes e organismos e para a drenagem de água no perfil. Esses resultados são reflexos do sistema radicular das árvores que constroem bioporos interconectados no perfil. Quando essas raízes entram em decomposição pelo processo de renovação das plantas, o espaço que elas ocupavam torna-se poros condutores de água e ar no sistema, oferecendo condições para o desenvolvimento de mais vida.

Além, é claro, de as raízes adicionarem energia e carbono para os organismos do solo em camadas mais profundas, o que favorece a atividade biológica e a incorporação de carbono em profundidade.

Na camada de 0 a 60 cm, que, no caso desse Neossolo Regolítico é todo o perfil do solo, o estoque de carbono não variou, sendo que as agroflorestas de 5 anos apresentaram 123 toneladas por hectare, as de 10 anos apresentaram 125 toneladas por hectare, e as áreas em regeneração natural, 122 toneladas por hectare (Schwiderke, 2013). Porém, o estoque de fósforo em agroflorestas de 5 anos de idade foi de 19,5 kg ha⁻¹ e em agroflorestas de 10 anos foi de 20,9 kg ha⁻¹, enquanto as áreas de regeneração natural por 10 anos foi de 16,6 kg ha⁻¹ (Schwiderke, 2013). Esses dados são interessantes, pois existe retirada de matéria vegetal das agroflorestas na forma de produtos para consumo e venda e, mesmo assim, o estoque de carbono se mantém em nível similar às áreas de regeneração natural, onde não há retirada de carbono na forma de produtos vegetais. Além disso, de forma análoga aos estudos de Lima (1994) e de Penereiro (1999), citados acima, é importante notar a importância da dinâmica do fósforo no solo das agroflorestas. Com os mesmos estoques de matéria orgânica, o conteúdo de fósforo é relativamente maior no solo sob o manejo agroflorestal.

Na medida em que as propriedades biológicas, físicas e químicas do solo são interdependentes (Vezzani & Mielniczuk, 2011), é importante notar a similaridade dos ambientes de solo entre agroflorestas e florestas nativas em regeneração identificadas nos levantamentos realizados. Os resultados indicam justamente que o manejo do solo agroflorestal, tendo como premissa os aspectos ecológicos apresentados anteriormente, torna possível a produção de alimentos em harmonia com os processos de sucessão natural e o fluxo de energia e matéria no solo, confirmando a proposição sobre a capacidade dos sistemas agroflorestais como sistemas de produção sustentáveis.

OS CAMINHOS DA BIODIVERSIDADE

Na prática agroflorestal, o manejo da luz, da fotossíntese, da poda e do solo tem como “produto” uma grande variabilidade de organismos vivos, ou seja, uma grande biodiversidade. Assim, entender mais detalhadamente alguns processos vitais associados à biodiversidade é fundamental para este manejo.

Há aproximadamente 3,5 bilhões de anos, surgiram as primeiras formas de vida na Terra. O estabelecimento de estruturas para codificar a organização da matéria e sua replicação gerou a possibilidade da vida se manter. Modificações nas estruturas de codificação passaram a gerar organizações celulares diferentes. Apesar de muitas dessas organizações não terem sobrevivido ou se replicado, aquelas que apresentavam alguma vantagem quanto à adaptação ao ambiente de algum nicho passaram a compor o quadro de biodiversidade cada vez maior ao longo do tempo.

Atualmente, o número de espécies, em termos planetários, é de aproximadamente 1,8 milhão de organismos diferentes, considerando somente os já classificados pelo homem (Heywood & Watson, 1997).

Para que haja diversidade, há necessidade de defeitos aleatórios nos códigos genéticos (DNA e RNA), chamados de mutações. Em princípio, estes defeitos são prejudiciais ao funcionamento daquela forma de vida. Entretanto, caso a mutação gere alguma condição que favoreça a adaptação ambiental – ou adaptação a algum novo nicho –, existe uma tendência de reprodução e continuidade da forma de vida em questão. Variações ambientais representam variações de possibilidades de adaptação. Assim, conforme colocado anteriormente, existe uma forte relação entre a biodiversidade e a variação de nichos ecológicos. Quanto mais espécies convivendo, maior a quantidade de nichos formados, e, quanto mais nichos, mais variabilidade.

É em florestas tropicais que essa variabilidade é mais perceptível. Ali, a maior incidência de energia solar promove maior fotossíntese total e, conseqüentemente, maior produtividade primária, ou seja, maior produção

de matéria vegetal. Quanto mais matéria vegetal, mais energia, e maior a capacidade de sustentação de um grande número de espécies. Quanto maior a complexidade estrutural das florestas, maior a diversidade. Além disso, as maiores temperaturas e umidade nos trópicos geram condições favoráveis para o crescimento e a sobrevivência de numerosas espécies, e as taxas de fertilização cruzada são maiores nas plantas tropicais do que em zonas temperadas (Pianka, 1966; Ricklefs, 2003).

Independentemente das regiões do planeta, entretanto, por trás da grande variabilidade de espécies existe sempre a contribuição dos mais variados ambientes. Agindo por dentro dessa grande variabilidade de espécies, existe uma imensa variabilidade genética, como uma “fábrica de variação”, possibilitando condições para a adaptação das espécies a diferentes nichos e, em médio prazo, promovendo o estabelecimento de novas espécies.

É em função destes aspectos que, hoje, o termo biodiversidade não é considerado apenas como um indicador do número de espécies. Envolve, além da diversidade de espécies, a diversidade genética e a diversidade de comunidades e ecossistemas (WRI/IUCN/UNEP, 1992).

A diversidade genética não depende só de mutações e da seleção dos diferentes ambientes para se estabelecer. Variações geradas por mutação em um determinado indivíduo podem ser levadas a outro indivíduo da mesma espécie ou a outros locais, por meio da migração dessa variação. Esta migração é também conhecida como fluxo gênico. Nos vegetais, a polinização e a dispersão de sementes são os principais responsáveis pelo fluxo gênico e é, dessa forma, que variações genéticas têm mais chance de se manifestarem e manterem seus efeitos, podendo ser selecionadas em diferentes ambientes.

Em florestas tropicais, a maior parte do fluxo gênico dos vegetais depende da contribuição de animais envolvidos na polinização e dispersão de sementes. Para contribuir com estes processos, os animais se alimentam de estruturas vegetais (frutos, néctar, pólen, etc.), possibilitando sua própria sobrevivência, reprodução e variabilidade.



Portanto, se existe uma contribuição da variação ambiental à biodiversidade, por meio da seleção de indivíduos mais adaptados a diferentes ambientes, a biodiversidade é também produto de um “esforço coletivo”, ou uma ajuda mútua entre diferentes espécies.

Quando as plantas, por razões anatômicas, fisiológicas ou de isolamento geográfico tendem à autopolinização ou à polinização entre indivíduos geneticamente iguais (o que é chamado de endogamia), a tendência é que se fixem determinadas características genéticas em uma população, em um dado espaço, ao longo do tempo.



A diversidade genética nas populações de uma determinada espécie pode vir ainda a decrescer, pelo chamado “efeito gargalo” ou deriva genética. A deriva genética significa redução da variabilidade genética em uma população na medida em que nem todas as plantas da espécie produzem flores, nem todas as flores produzem estruturas reprodutivas, nem todo pólen chega aos ovários, nem toda semente chega ao solo, nem toda semente que chega germina, nem toda planta que germina fica adulta.

Aqui, os animais também atuam, pela predação ou parasitismo, eliminando flores, frutos, sementes ou plantas inteiras. Especialmente insetos e fungos são especializados em promover este efeito. Formando um conjunto de mais de 1 milhão de espécies – mais da metade do número global de espécies já classificadas –, várias espécies de insetos e fungos contribuem na adaptação de organismos vegetais, alimentando-se justamente daqueles que apresentam disfunções fisiológicas. Em situações de estresse hídrico, de luminosidade ou de desequilíbrio nutricional – o que é, geralmente, consequência de uma planta de determinada espécie estar fora de seu nicho ecológico adequado –, as plantas acabam mantendo uma grande quantidade de aminoácidos livres em suas estruturas celulares, reduzindo as ligações proteicas entre eles. Insetos e fungos, por terem dificuldades em quebrar proteínas em aminoácidos, acabam “preferindo” se alimentar de plantas com aminoácidos livres (Chaboussou, 1999).

Mesmo considerando a potencial redução da diversidade genética, em

nível local, promovida pela autopolinização, pela polinização entre indivíduos geneticamente iguais e pelo “efeito gargalo”, essas forças acabam contribuindo para a diversidade global de genes e de espécies, pois conduzem a formação de populações geneticamente diferentes entre si, em diferentes locais. Em situações de não resistência a variações ambientais ou situações contínuas de não adaptação, contudo, podem ocorrer extinções locais das espécies.

Conforme exposto, a diversidade genética de uma determinada espécie vegetal, em suas várias populações, é resultado da ação das forças de mutação, seleção, migração, endogamia e “efeito gargalo”, permeadas pelas variações ambientais e de nichos ecológicos, bem como pela ajuda de animais (Futuyma, 2002).

A “ajuda mútua” entre animais e plantas não é, entretanto, a única contribuição do esforço coletivo de diferentes formas de vida para a promoção da biodiversidade. Cada indivíduo é produto da “ajuda mútua” entre diferentes células, que por sua vez são produtos da “ajuda mútua” entre diferentes estruturas celulares. Além disso, muitos indivíduos dependem de uma estreita relação de ajuda mútua com outros organismos para sobreviverem.

Os seres eucariontes, por exemplo, ou seja, as espécies cujo núcleo da célula está envolvido por uma membrana (a membrana nuclear) foram, provavelmente, originadas a partir da simbiose entre duas células, de diferentes organismos. De origem semelhante é a presença de cloroplastos em células vegetais, ou de mitocôndrias em animais e vegetais (Yamamura, 1996). A presença de microrganismos no trato digestivo de insetos possibilita sua elevada resistência em situações de estresse nutricional; a evolução de espécies de vegetais superiores não pode prescindir da simbiose entre plantas pequenas e micorrizas; mamíferos herbívoros de grande porte não podem viver sem microrganismos atuando na digestão. De acordo com Price (1991), o número de espécies originadas destes tipos de “ajuda mútua” constitui provavelmente em torno de 54% das espécies atualmente existentes no planeta. A hipótese da “ajuda mútua” ou da simbiose como um dos caminhos da evolução foi proposta por Lynn Margulis na década de 1960,

sendo atualmente conhecida como “simbiogênese” (Capra, 2005).

Em um nível mais amplo, a “ajuda mútua” gera efeitos imprescindíveis à vida coletiva. Sem insetos, por exemplo, realizando polinizações e predações, ou sem aves, morcegos e roedores dispersando sementes, provavelmente não haveria a exuberância das florestas tropicais. Sem bactérias fixadoras de nitrogênio, a formação de proteínas nos organismos terrestres seria inviável.

Sem florestas tropicais, ou sem os organismos dessas florestas, as condições climáticas seriam completamente diferentes e inadequadas à existência da vida. Isso porque a “ajuda mútua” entre os componentes da biodiversidade foi moldando, ao longo de bilhões de anos, as proporções exatas dos diferentes gases na atmosfera, o que por sua vez regula as condições adequadas de umidade, temperatura, luminosidade e de tantos outros fatores abióticos, em proporções e níveis precisos para a biodiversidade continuar existindo e evoluindo (Lovelock, 1988).

A biodiversidade, portanto, não é constituída somente pelas diferentes estruturas genéticas, de espécies e de comunidades e ecossistemas. As diferentes formas e estruturas dependem de uma imensa e variada quantidade de relações e processos vitais, que foram moldando e sendo moldados pela vida nos últimos 3,5 bilhões de anos. Conforme colocado no início desse livro, Rozzi et al. (2006) fazem uma analogia da conservação da biodiversidade com a música, indicando que, para que haja uma sinfonia, não bastam os instrumentos, é preciso que eles sejam tocados em um conjunto harmônico. Utilizando outra analogia, ainda que menos poética, pode-se colocar que sem “softwares” de nada adiantariam os “hardwares” na informatização.

Em meio a essa imensa complexidade, infelizmente, a influência humana tem sido em geral de desarmonia na orquestra da vida no planeta. Na história de 3,5 bilhões de anos de vida na Terra, os efeitos da presença humana passaram a ser mais expressivos nos últimos 10.000 anos e, especialmente, nos dois últimos séculos, após a Revolução Industrial. Em outras palavras, temos tocado sons distorcidos em uma sinfonia que vinha harmônica por muito tempo.

A drástica redução e modificação de *habitats*, a poluição, a sobre-exploração de recursos naturais e a disseminação de doenças têm sido apontadas como os principais fatores de redução da biodiversidade (Noss & Csuti, 1997). O primeiro deles é, de longe, o mais impactante. Além dos efeitos diretos da destruição de ambientes naturais sobre a biodiversidade, quando são realizados desmatamentos ou outras formas de destruição de *habitats*, ocorre também a fragmentação das paisagens naturais. A fragmentação tende a interromper justamente a força microevolutiva mais efetiva para a promoção da biodiversidade – a migração ou fluxo gênico.

O efeito da fragmentação vai além das áreas desmatadas, influenciando os fragmentos florestais adentro pelo chamado “efeito de borda”. Ou seja, a variação de insolação, ventos, umidade, ciclos biogeoquímicos e relações ecológicas, criada na borda entre os fragmentos e as áreas desmatadas, pode influenciar fortemente a biodiversidade no interior dos fragmentos que restam (Laurance et al., 2002).

Na primeira década do século XXI, mais de 13 milhões de hectares de florestas foram convertidos para outros usos no mundo (FAO, 2011). A extinção de espécies, hoje, é da ordem de 100 a 1.000 vezes maior do que em qualquer período geológico (May et al., 1995; Myers & Knoll, 2001). Assim, atualmente, as espécies têm sido extintas em um índice muito maior do que o de geração de novas espécies (Pimm & Raven, 2000). Além disso, justamente em função da importância da “ajuda mútua” entre os seres vivos, muitas vezes a redução de densidades populacionais ou a extinção de determinada espécie, em uma comunidade, afeta várias outras. Se, em uma floresta tropical, uma população de bromélias é dizimada, por exemplo, perdem-se muitos pequenos ecossistemas, já que o acúmulo de água entre suas folhas é berço de várias espécies de anfíbios e de invertebrados; se uma população de palmiteiros (*Euterpe edulis* Mart.) é retirada, uma grande quantidade de alimento, em forma de pólen e frutos, deixa de existir na comunidade, colocando em risco várias espécies animais que dele dependem.



O MANEJO DA BIODIVERSIDADE EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Considerando que a existência das diferentes formas vivas, em nível genético, de organismos e de paisagem, são consequência da atuação das forças microevolutivas, de processos vitais e de relações ecológicas, o “fazer agroflorestal” busca aprender e reproduzir possibilidades para essa atuação, conscientemente.

Em meio à otimização de condições para a amplificação da biodiversidade, em conjunto com a amplificação da complexidade da estrutura e da fertilidade do solo e dos nichos ecológicos, é que se geram produtos de interesse para autoconsumo ou comercialização.

Conforme colocado anteriormente, já há algum tempo se sabe que uma das causas da maior biodiversidade nos trópicos é a maior produtividade primária nestas regiões (Pianka, 1966). Quanto mais fotossíntese, mais matéria vegetal. Quanto mais matéria vegetal, maior a disponibilidade de energia para sustentar uma maior variabilidade e quantidade de organismos.

É por este motivo que se busca a otimização da produtividade primária, desde o início da implantação de uma agrofloresta. O plantio de faixas de gramíneas entre os canteiros agroflorestais (ver Parte 2 desse livro) tem a função principal de “alimentar” a biodiversidade agroflorestal em seus primeiros anos. Quando se faz o manejo da poda, em agroflorestas mais maduras, o objetivo é “fabricar comida” para a agrofloresta. O material podado é cuidadosamente ofertado ao solo, e a planta podada produzirá mais matéria vegetal, que será novamente utilizada em uma nova poda. Este manejo está alinhado com os processos de dissipação de energia que geram auto-organização da vida, como abordamos anteriormente. É a energia dissipada pela prática da poda que gera condições para o sistema complexificar a estrutura e evoluir em funcionalidade.

Outro conhecimento já consagrado na literatura científica é a relação entre a estratificação do ambiente florestal e a biodiversidade – quanto

maior o número de estratos, maior a diversidade de organismos. A estrutura vertical da vegetação chega a se sobrepor à produtividade primária na determinação da diversidade local (Ricklefs, 2003).

O uso de recursos animais e vegetais destes diferentes estratos foi e ainda é comum em várias comunidades humanas que vivem em ambientes florestais. Os índios Kuikúro, no Alto Xingu, por exemplo, identificam oito estratos verticais da floresta, a partir dos recursos de caça e de coleta que estão presentes em cada “andar” (Carneiro, 1987). Os índios Kayapó, no baixo Xingu, direcionam o manejo florestal para a otimização da produção de espécies de interesse em cada um desses estratos (Posey, 1984).

No momento do planejamento da agrofloresta, é fundamental visualizar, em curto, médio e longo prazos, quais espécies poderão ocupar adequadamente os diferentes estratos. O plantio organizado e simultâneo dessas espécies é a ação principal para garantir uma agrofloresta o mais completa e produtiva possível, em seus vários “andares”, ao longo do tempo.

Todo o esforço de manejo, bem como a preocupação em garantir fornecimento de energia e matéria viva para a agrofloresta são praticamente os mesmos em uma área completa ou em uma área em que os estratos estiverem pouco ocupados. Na verdade, uma agrofloresta com poucos estratos ocupados tende a gerar mais esforço de manejo, especialmente de capina seletiva. Assim, erros de planejamento da estratificação, no momento da implantação da agrofloresta, podem acabar representando grandes custos energéticos. Fazendo uma analogia, errar no planejamento da estratificação é como construir um prédio de apartamentos, com vários andares, criando infraestrutura e fazendo manutenção para a moradia em todos eles, mas mantendo muitos dos mesmos sem ocupação.

No planejamento do plantio, além da preocupação quanto à estratificação, é muito importante a inserção de espécies que, em seu conjunto, possam participar em múltiplas relações ecológicas e processos vitais. Existem espécies “especialistas” em solubilizar fósforo no solo, outras capazes de se associar a bactérias fixadoras de nitrogênio, outras que alimentam um

grande número de polinizadores, outras que fornecem frutos a uma grande quantidade de animais. A coexistência de múltiplas “capacidades” de relações e processos tende a amplificar a quantidade de nichos ecológicos, incrementando a biodiversidade. Em outras palavras, quanto maior a variação de relações e processos no conjunto das espécies, maior a “diversidade funcional” da agrofloresta, pois maior o “funcionamento” do ecossistema em formação (Díaz & Cabido, 2001; Tilman et al., 2001).

Outro aspecto que se leva em conta no momento do plantio é buscar “ofertar” ao ambiente agroflorestal uma ampla variabilidade genética de cada espécie implantada, considerando, especialmente, a pressão de seleção do ambiente e o “efeito gargalo”. Conforme já colocado, na natureza, as plantas produzem muito mais sementes do que o número de plantas que se tornam adultas. Faz-se assim, também, na agrofloresta. Planta-se uma grande quantidade de sementes de cada espécie, preferencialmente originadas de diferentes matrizes ou plantas mãe. Dessa grande quantidade, parte não germinará, outra parte germinará e será predada ou parasitada e outra parte ainda poderá ser retirada no manejo da capina seletiva ou da poda, caso seja adequado ao favorecimento da biodiversidade e à aceleração do processo sucessional. Aqui, é importante considerar também a potencialidade de diversidade de usos de cada espécie. De várias plantas de uma determinada espécie na agrofloresta, algumas serão direcionadas para produzir o produto de interesse, sejam eles frutos, flores, sementes ou folhas. Outras podem ser transformadas em adubo, em artefatos ou outros produtos ao longo de seu crescimento.

Finalmente, a retirada das plantas, ao final de seus ciclos de vida ou no momento em que a sucessão ecológica demande, favorece também a biodiversidade, na medida em que acelera a criação de novos nichos. Mais uma vez, percebe-se claramente, nesse processo, a capacidade da prática agroflorestal dissipar energia e auto-organizar o sistema em níveis de maior complexidade, criando condições adequadas aos processos vitais tanto acima quanto abaixo do solo.

Além do plantio adensado de um grande número de espécies, que irão

ocupar diferentes estratos e serão manejadas para diferentes usos, a biodiversidade das agroflorestas é incrementada a partir da promoção de plantas úteis ao processo sucessional e ao incremento da diversidade funcional, que germinam naturalmente na área. Em outras palavras, “cabem” nas agroflorestas tanto as plantas que foram plantadas quanto aquelas que vêm da regeneração natural, muitas das quais são cuidadas e promovidas intencionalmente.

Nas agroflorestas de agricultores associados à Cooperafloresta, foram identificadas 194 espécies de plantas arbustivas ou arbóreas, pertencentes a 59 famílias botânicas. Oitenta e nove por cento destas espécies são de ocorrência natural no domínio fitogeográfico do bioma Mata Atlântica, de acordo com o banco de dados do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (Stenbock et al., 2013b). Nestas agroflorestas, além de haver elevada diversidade vegetal, as plantas que formam esta diversidade apresentam elevada densidade, sendo em média 6.400 plantas por hectare. Em alguns estudos realizados em áreas de florestas secundárias nativas na região do bioma Mata Atlântica (capoeiras e capoeirões de diferentes idades) e que usaram metodologias e quantidade de área estudada parecidas com a usada no levantamento citado, foram identificadas, em geral, de 80 a quase 200 espécies, em densidades variando entre 1.000 a 3.000 plantas por hectare (Torezan, 1995; Siminski et al., 2011).

Assim, a diversidade de espécies de plantas nas agroflorestas do Alto Vale do Ribeira é semelhante ou maior do que em florestas secundárias nativas, no bioma Mata Atlântica. Além disso, as agroflorestas tendem a apresentar maior densidade de plantas. Essas características, em conjunto com outros aspectos relacionados ao manejo das agroflorestas, já comentados neste livro, fazem das agroflorestas sistemas produtivos com alta taxa de fixação do carbono atmosférico e crescente evolução da fertilidade do solo. Nesta evolução, em todas as fases, os processos de dissipação de energia e auto-organização da matéria se complementam em níveis crescentes de complexidade, como demonstra a Figura 19.



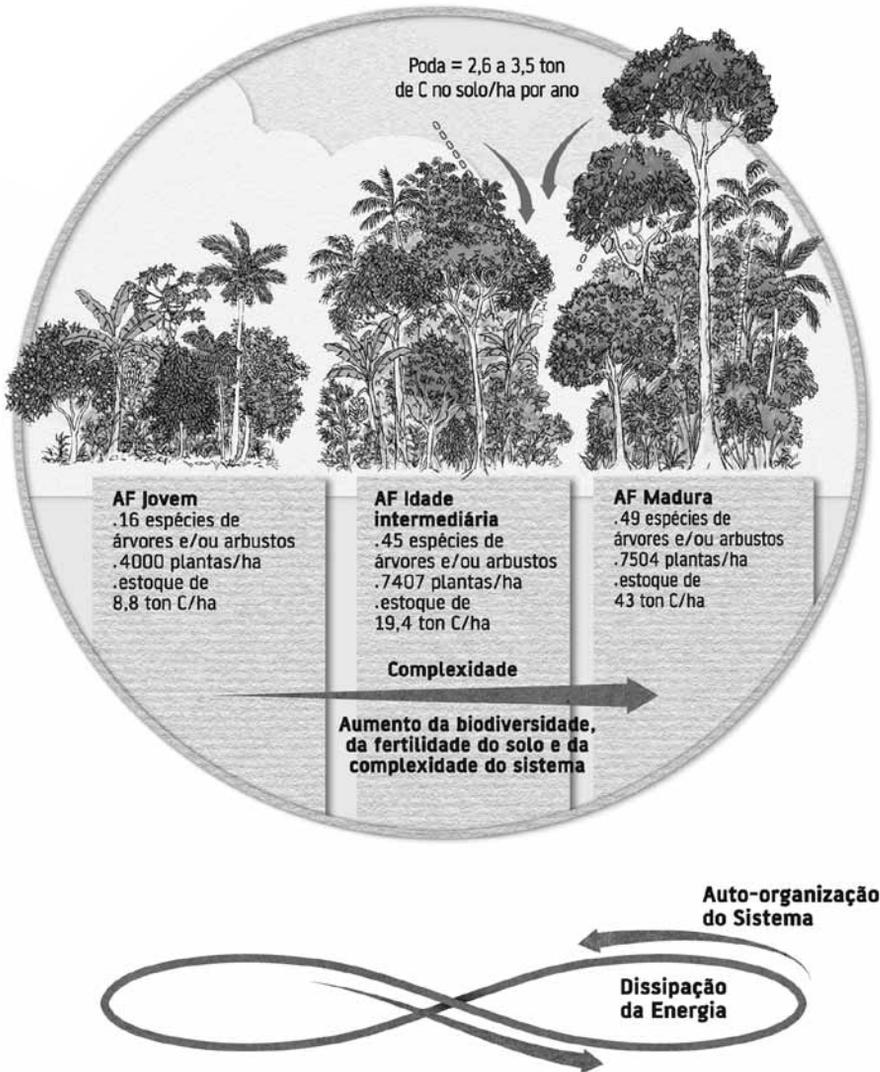


Figura 19. Evolução do número de espécies e de plantas por hectare (ha) e da quantidade de carbono (toneladas de C por hectare – ton C/ha) na vegetação em agroflorestas (AF) de agricultores associados à Cooperafloresta, ressaltando a complementariedade dos processos de dissipação de energia e auto-organização do sistema em todas as fases de desenvolvimento das agroflorestas. Fonte: Steenbock et al. (2013c).

É importante lembrar aqui que, apesar de essas agroflorestas se constituírem na base da produção, da segurança alimentar e da renda dos agricultores associados à Cooperafloresta, a cobertura mais comum do solo das propriedades são capoeiras (florestas secundárias em estágio inicial e médio de regeneração), de diferentes tamanhos e idades.

Conforme já colocado, de acordo com os relatos dos agricultores da Cooperafloresta, agroflorestas implantadas em áreas de capoeiras tendem a ser muito mais férteis e mais fáceis de se tornarem “completas”.

Por outro lado, os agricultores identificam, nas capoeiras, espaços de produção de sementes que serão, naturalmente, dispersas para as agroflorestas. Também identificam, nestas áreas, espaços de vida de animais importantes para as agroflorestas, especialmente pássaros e abelhas, que trazem sementes e contribuem na polinização. Estas características são consideradas importantes para o aumento da diversidade e da produção das agroflorestas. Além disso, vários agricultores afirmam que semeiam nas capoeiras diferentes espécies, especialmente o palmito Juçara (*Euterpe edulis*), e, eventualmente, manejam espécies que ficam próximas às trilhas da propriedade (Steenbock et al., 2013a).

Deixar as capoeiras crescerem e enriquecê-las com “espécies facilitadoras”, portanto, faz parte de fazer agrofloresta, seja para manter matrizes, seja como fonte de fertilidade e espécies para uso futuro em agroflorestas a serem implantadas.

Aqui, é importante destacar o fato de que manter agroflorestas e capoeiras mescladas na propriedade, formando um mosaico de áreas manejadas e em regeneração, respectivamente, e de diferentes idades e tamanhos, é estratégia fundamental para a permanência do sistema de produção. É favorecer a dinâmica entre os processos de dissipação de energia e auto-organização, que geram vida, complexidade e evolução às agroflorestas. Na experiência agroflorestal, faz-se um “efeito de borda ao contrário”: agroflorestas e capoeiras, ao serem mantidas em um mosaico de áreas, contribuem umas com as outras com sementes, pólen, proteção

contra o vento, cobertura florestal do solo e vários outros efeitos positivos para o aumento da biodiversidade e da conservação ambiental. Em outras palavras, as capoeiras e agroflorestas se entrelaçam, crescendo em valores ambientais por estarem próximas umas das outras (Figura 20).

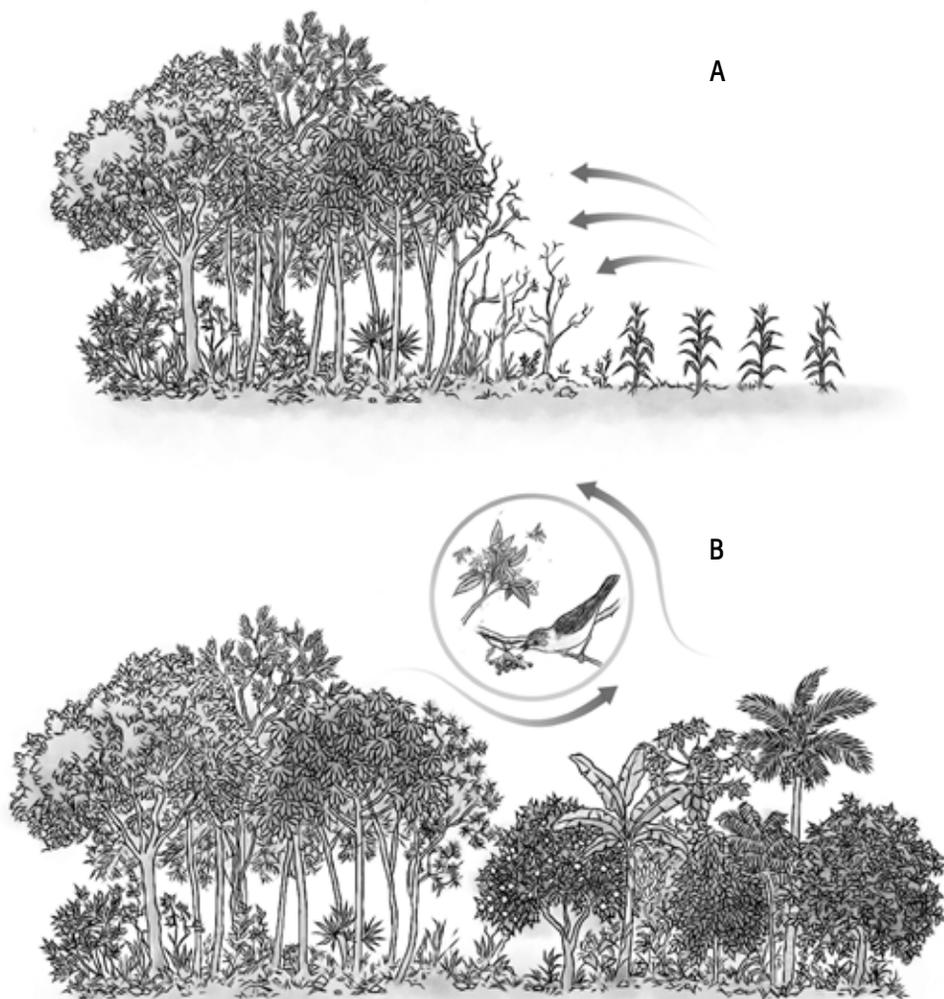


Figura 20. Efeito de borda (A) em remanescentes florestais em meio a áreas de agricultura convencional e “efeito de borda ao contrário” (B) em florestas contíguas a agroflorestas.

Além disso, é interessante observar que a rotação de áreas entre agroflorestas e capoeiras, desenvolvida há quase duas décadas pelos agricultores associados à Cooperafloresta, gera uma relação entre estes dois tipos de áreas de praticamente quatro hectares de capoeiras para um hectare de agrofloresta, conforme já abordado anteriormente.

O manejo das capoeiras e das agroflorestas, rotacionado no tempo e no espaço, constitui-se nos sistemas agroflorestais dos agricultores associados à Cooperafloresta. Considerando os aspectos de biodiversidade e auto-organização da vida discutidos anteriormente, este manejo é responsável pela amplificação da biodiversidade em nível de paisagem ou ecossistema, e tem sido de grande importância para a recuperação de áreas degradadas no Alto Vale do Rio Ribeira, entre Paraná e São Paulo.



A black and white photograph of a dense tropical forest. The image is filled with various types of foliage, including large, broad leaves in the foreground, palm fronds, and a thick canopy of trees in the background. The lighting is bright, creating high contrast between the dark leaves and the lighter sky. The overall composition is a low-angle shot looking upwards into the forest.

PARTE 2

LINHAS GERAIS PARA A PRÁTICA AGROFLORESTAL

Na primeira parte deste livro, foram discutidos brevemente alguns conceitos relacionados à ecologia, de forma aplicada à prática agroflorestal. Os conceitos são a base, a estrutura, de qualquer prática, norteados as ações.

Entretanto, conceitos são diferentes de receitas, e não há receita para o manejo agroflorestal. Estão embutidos na prática agroflorestal o conhecimento e a percepção da dinâmica ecológica, que se constitui na busca constante do diálogo com a natureza no processo de intervenção.

O fato de não haver receitas, entretanto, não pode ser pretexto para não implantar uma agrofloresta por falta de método. Com base nessa premissa, o texto a seguir traz alguns aspectos relacionados ao método de implantação e manejo agroflorestal, baseado na experiência das famílias agricultoras e dos técnicos da Cooperafloresta, em Barra do Turvo (SP) e Adrianópolis (PR), Alto Vale do Rio Ribeira, em região de ocorrência do Bioma Mata Atlântica.

Apesar de essa experiência já estar quase completando duas décadas, ela está em constante renovação, descobrindo sempre novas possibilidades de práticas de manejo. Por outro lado, a riqueza dessa experiência é muito maior do que é possível registrar em poucas páginas.

Assim, o texto a seguir, que aborda seis aspectos da prática agroflorestal, não pode ser considerado uma referência completa de um processo produtivo consagrado, mas um roteiro geral, contendo apenas alguns aspectos importantes, a partir de uma experiência acumulada na prática agroflorestal.



1. IDENTIFICANDO O ESPAÇO PARA A PRÁTICA AGROFLORESTAL

No processo de diálogo com o ambiente, o fazer agroflorestal não exige do mesmo um espaço diferenciado. Antes de tudo, é preciso perceber o que fazer em cada espaço. Para isso, é importante identificar características do solo, do relevo, do clima e da vegetação no local onde se implantará a agrofloresta. Nessa identificação, a questão central é compreender o que os processos vitais estão fazendo – e com que ferramentas – para o incremento de fertilidade e diversidade. Este incremento é realizado de forma coordenada, cooperativa e sequencial pelos consórcios de seres vivos que ocorrem em cada espaço. Cada consórcio tem aptidão máxima para viver e melhorar o ambiente na etapa em que ocorre naturalmente, durante a jornada da vida em direção à maior fertilidade e biodiversidade.

Assim, a identificação da vegetação, em diferentes combinações, a partir das variações de características de solo e de relevo, é essencial.

Nas etapas iniciais da sucessão ecológica, a pequena capacidade de armazenar água e a falta de minerais no solo que regulam a atividade vegetal não possibilitam a captação máxima de energia solar nem mesmo se fosse possível serem disponibilizados nutrientes em quantidades suficientes. Nestas condições, a produção de matéria vegetal de baixa digestibilidade pelos microrganismos é condição imprescindível para o acúmulo da matéria orgânica que possibilitará o aumento da capacidade produtiva do ambiente. As plantas típicas destes consórcios e etapas produzem justamente este tipo de matéria vegetal, que se caracteriza por elevada quantidade de carbono em relação à quantidade de nitrogênio (Figura 21).





Figura 21. Produção de matéria vegetal em estágios iniciais de sucessão ecológica.

Nas fases iniciais de sucessão, sejam elas iniciadas por uma clareira natural ou uma ação antrópica, plantas de espécies herbáceas aparecem em muito maior densidade do que espécies arbustivas, e estas em maior densidade que espécies arbóreas. Ao crescerem rapidamente e em alguns ciclos, depositam matéria orgânica no solo e criam condições para a ativação de diferentes consórcios de microrganismos no solo. Em estágios intermediários de sucessão, as espécies herbáceas, especialmente das famílias das gramíneas e das asteráceas (margaridas), já não existem em alta densidade, dando lugar a consórcios em que prevalecem arbustos e uma densidade um pouco maior de plântulas de árvores. Na Floresta Ombrófila Densa da Mata Atlântica, esse é o momento em que espécies como o jaguarandi (*Boehmeria caudata* Sw.), a pariparoba (*Piper* sp), as carquejas (*Baccharis* sp) e outras espécies aparecem em maior densidade. O trabalho destas espécies cria condições, abaixo e acima do solo, para que consórcios em que as árvores se sobressaem possam existir.

Identificar que consórcios estão ocupando no ambiente de trabalho é fundamental para determinar práticas de manejo agroflorestal, visando “entrar no processo de sucessão” sem retroceder em suas etapas e sem artificializar condições do ambiente para forçar consórcios de etapas posteriores em curto prazo. Assim, é importante perceber que espécies estão ocorrendo, quais as densidades das mesmas, quais suas formas de vida e suas características de adaptação ao ambiente.

É importante, também, perceber como variam os consórcios de plantas no relevo. Em ambientes declivosos, geralmente se acumulam solo e matéria orgânica em locais de microrrelevo côncavo. Nestes locais, consórcios vegetais típicos de etapas mais avançadas da escalada da vida se desenvolvem ao lado dos consórcios típicos de etapas anteriores, que estão estabelecidos nos locais de microrrelevo convexo. Ali, atraem e alimentam animais e estimulam consórcios de microrganismos do solo que aos poucos dinamizam e fermentam a evolução de todo o sistema (Figura 22).

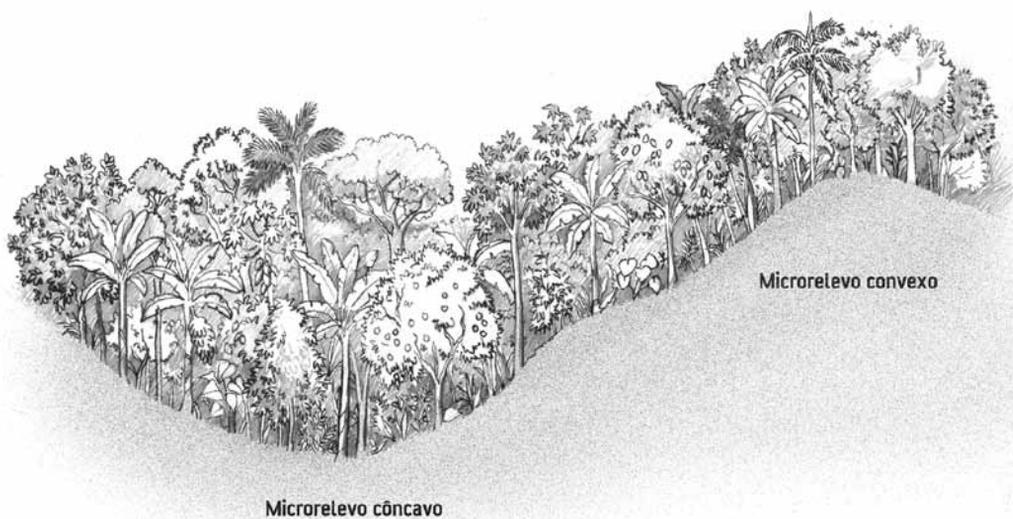


Figura 22. Variação de consórcios de diferentes estágios sucessionais na paisagem, em função de condições de relevo.

Em locais onde há maior quantidade de água no solo, os consórcios também se diferenciam, exibindo espécies herbáceas e arbustivas, frequentemente, com folhas maiores e criando condições para o aparecimento de árvores mais rapidamente, desde que não haja condições de excesso de água, impedindo a presença de ar no solo. Quando há este excesso, são outros os consórcios, e o aparecimento de espécies arbóreas é, em geral, mais lento.

A orientação do relevo em relação ao sol também determina variações nos consórcios de plantas. Locais em que há maior exposição à luz do sol (em várias regiões, chamados de “face”) tendem a apresentar processos sucessionais mais acelerados, pois têm mais acesso à energia solar e à fotossíntese. Locais mais sombreados, que recebem menor incidência luminosa (chamados de “contraface”), tendem a apresentar consórcios e espécies diferentes, e uma velocidade menor de sucessão destes consórcios (Figura 23).



Figura 23. Variação de consórcios de diferentes estágios sucessionais na paisagem, em função de diferentes exposições do relevo à incidência de luz solar.

No processo de perceber os diferentes consórcios de plantas que existem em cada local, identificar o histórico de uso da área também é fundamental. Estágios iniciais de sucessão em uma clareira, por exemplo, apresentam espécies e consórcios bem diferentes do que estágios iniciais de sucessão em áreas agrícolas. Nestas últimas, muitas vezes o uso do fogo, de agrotóxicos e/ou de máquinas pesadas terão “forçado” a desestruturação e a redução da fertilidade do solo, exigindo o trabalho mais intenso e por mais tempo de gramíneas, samambaias e asteráceas para a ativação da vida microbiana do solo e para o aparecimento de espécies adaptadas a estágios sucessionais mais avançados. Em uma clareira na floresta, as características edáficas e de umidade, assim como a riqueza do banco de sementes no solo, determinam uma maior velocidade de sucessão e características diferenciadas nos consórcios.

Agroflorestas implantadas em áreas que anteriormente eram florestas, ainda que em estágios iniciais de sucessão, tendem a ser muito mais produtivas e biodiversas, especialmente nos primeiros anos, do que agroflorestas implantadas sobre áreas que eram pastagens ou lavouras. Em levantamentos fitossociológicos realizados em agroflorestas no âmbito da Cooperafloresta, essa diferença pôde ser percebida comparando-se duas agroflorestas, conduzidas por agricultores diferentes, porém próximas uma da outra, com o mesmo tipo de solo e declividade e relevo semelhante. Ambas foram avaliadas com 6 anos de idade. Uma delas foi implantada diretamente sobre pastagem e a outra foi implantada sobre uma capoeira (floresta em regeneração) de 8 anos de idade, que cresceu sobre a pastagem, após a retirada do gado. A agrofloresta implantada sobre a capoeira apresentava muito maior estoque de carbono e incremento anual de carbono, além de uma grande quantidade de espécies nativas sob manejo de poda e rebrota. Além disso, a agrofloresta implantada diretamente sobre a pastagem também exigia muito mais trabalho de poda e deposição do material podado sobre o solo para o incremento da fertilidade (Steenbock et al., 2013b).

Assim como o histórico de uso, a proximidade da área em que vai se

implantar uma agrofloresta a áreas florestais também influencia fortemente a disponibilidade de sementes e propágulos que irão se estabelecer, favorecendo o processo sucessional e incrementando a fertilidade.

Além destas condições, a exposição maior ou menor da área à incidência de ventos influencia diretamente na manutenção da umidade no ar e no solo, o que afeta também a velocidade de sucessão e as características dos consórcios.

Portanto, “perguntar ao ambiente” as características de cada consórcio, em cada local, é fundamental para a implantação da prática agroflorestal, definindo especialmente onde e de que forma começar.

Além de obter respostas no próprio ambiente, é importante “perguntar ao conhecimento ecológico local” tudo o que for possível, no sentido de entender as ferramentas dos processos vitais em cada região, reconhecendo que este tipo de pergunta é feito constantemente por quem vive em relação mais direta com o ambiente natural. Agricultores em geral detêm um enorme conhecimento sobre os consórcios de plantas que ocorrem na região, sobre a adaptação de cada espécie cultivada a cada tipo de solo ou de relevo e sobre suas relações ecológicas, entre tantos outros saberes. Resgatar e promover este saber, na prática agroflorestal, é fundamental.



2. IMPLANTANDO UMA AGROFLORESTA

Texto elaborado utilizando como base o filme “Implementação manual e semi-mecanizada de canteiro agroflorestal”, de João Amorim (AMORIM, 2013a).

Uma vez identificadas as características ambientais do espaço para a implantação da agrofloresta, é importante dimensionar o tamanho da área a ser implantada. Para este dimensionamento, além das características do ambiente, é importante considerar a capacidade de mão de obra para o trabalho na área.

Na medida em que na prática agroflorestal a produção se dá tanto no espaço horizontal quanto no perfil vertical, é mais interessante otimizar o trabalho em áreas menores do que implantar áreas maiores em que o manejo deixe a desejar, por falta de tempo ou de mão de obra. Isso também possibilita a implantação de um conjunto maior de agroflorestas na propriedade, aproveitando as diferenças de consórcios, de solo e de estágios de sucessão para a amplificação da variedade de produtos produzidos.

Na experiência das famílias agricultoras da Cooperafloresta, esta premissa vem reduzindo o tamanho e aumentando o número das agroflorestas implantadas ao longo do tempo (Figura 24). Agroflorestas de 12 anos, ou seja, aquelas iniciadas há 12 anos, tem área grande e foram feitas em pequena quantidade; agroflorestas jovens (de 0 a 4 anos de idade) tem área pequena e, hoje, são em grande quantidade. Enquanto o número de agroflorestas cresceu 605% nos últimos 16 anos, a área média das agroflorestas reduziu 52,4% (de 2,90 ha para 1,38 ha) nesse mesmo período.



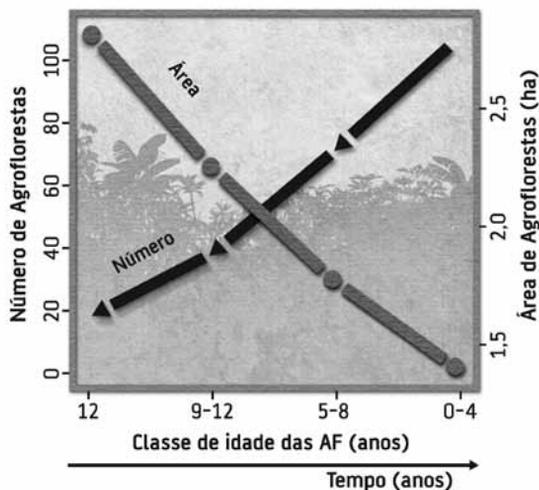


Figura 24. Área média (em hectare – ha) e número médio por classe de idade de agroflorestas (AF) dos agricultores associados à Cooperafloresta ao longo do tempo. Fonte: adaptada de Steenbock et al. (2013a).

Na determinação do local e do tamanho da área a ser implantada, é de grande importância levar em conta, também, a disponibilidade de sementes e mudas. Não vale a pena implantar áreas grandes tendo-se poucas sementes e mudas disponíveis.

Entretanto, mais do que contribuir para a determinação do tamanho da área de agrofloresta que será implantada, a definição das espécies que serão plantadas deve ser a base do planejamento agroflorestal. Este planejamento deve refletir, com cuidado, o acúmulo de informações percebidas sobre o ambiente em que a agrofloresta será implantada.

Dessa forma, o planejamento das espécies deve estar baseado, em primeiro lugar, na aptidão das espécies de interesse para ocupar nichos e cumprir papéis ecológicos semelhantes aos de espécies nativas da região em seus diferentes consórcios. Assim, indivíduos de mamão (*Carica papaya* L.) podem ocupar nichos de indivíduos de embaúba vermelha (*Cecropia* sp); indivíduos de café (*Coffea arabica* L.) podem ocupar nichos de indivíduos de pariparoba (*Piper* sp); nichos de indivíduos de palmito juçara (*Euterpe edulis*) podem ser ocupados pelo adensamento da própria espécie. Assim, além de se produzirem espécies de interesse,

mantém-se e amplia-se a diversidade funcional no espaço agroflorestal.

A origem das mudas e das sementes a serem utilizadas é um aspecto fundamental a ser considerado. É estratégia da natureza a produção de diversidade, e estratégia geral das plantas a geração de sementes com variabilidade genética. Dentro desta ampla variabilidade, a natureza seleciona características genéticas adequadas a cada ambiente. Assim, é importante que, na medida do possível, sejam utilizadas sementes de várias matrizes da própria região – sejam de espécies nativas ou de culturas ou frutíferas comerciais – e, imitando a natureza, sejam plantadas muito mais sementes, manivas ou propágulos do que se espera que hajam indivíduos germinados e adultos na agrofloresta.

Como cada microambiente em que cada semente será depositada no solo tem condições biológicas, físicas e químicas diferenciadas, e como cada semente contém, potencialmente, características genéticas diferentes, a combinação das características genéticas às diferentes condições é o que promoverá a germinação e o estabelecimento dos indivíduos. Por isso a necessidade, tanto na natureza quanto na agrofloresta, de uma “disponibilidade genética” grande.

À primeira vista, usar muito mais sementes do que se espera que indivíduos adultos sejam gerados pode parecer um contrassenso, ou algo que tende a aumentar o custo de implantação. Todavia, o custo de produção de mudas é imensamente maior, e existe uma grande percentagem de perda de mudas, nas mais diferentes espécies, quando estas são levadas a campo, justamente por não adaptação ao microambiente natural em que são plantadas. Assim, na implantação agroflorestal, tende-se a priorizar o plantio por mudas daquelas espécies em que o plantio por sementes é pouco viável. É o caso de espécies frutíferas comerciais, tais como a lichia, os cítrus, o pêssego, a maçã, etc., cujo “melhoramento genético” reduz ou inviabiliza a germinação a campo, em função da perda de rusticidade. Não se trata, contudo, de negligenciar o plantio por mudas – pode-se optar por esta forma de plantio também quando se pretende a realização de enxertos para a produção precoce de frutos, ou quando se deseja uma variedade específica, ou ainda por outras razões técnicas ou ecofisiológicas (a bananeira, por exemplo, não produz sementes; a mandioca e outras raízes

e caules tuberosos dificilmente se estabelecem por plantios por sementes, etc.).

A seleção das espécies a serem plantadas deve levar em conta o estabelecimento gradativo das mesmas em diferentes consórcios ao longo do tempo. No momento da implantação da agrofloresta, plantam-se todas as espécies ao mesmo tempo, mas não se espera que todas cresçam na mesma velocidade e nem que ocupem todas os mesmos estratos.

A Cooperafloresta tem utilizado um método simples de seleção de espécies para o plantio agroflorestal, baseado na visualização dos diferentes consórcios, nos diferentes estratos, ao longo do tempo. Este método consiste em usar uma tabela como está demonstrado na Tabela 5, onde as linhas representem os diferentes estratos e as colunas representem consórcios de diferentes classes de idade. Trata-se, portanto, de um planejamento de sucessão e estratificação da agrofloresta.

Tabela 5. Exemplo de planejamento de sucessão e estratificação agroflorestal.

Estratos	Consórcios				
	Aumento da diversidade e densidade de espécies nativas e manejadas na agrofloresta →				
	Placenta *1 (até 3 meses)	Placenta 2 (3 meses a 1 ano)	AF 1 (1 a 10 anos)	AF 2 (10 a 25 anos)	AF 3 (25 a 50 anos)
Emergente	Couve, Repolho	Milho, Pepino, Vagem	Aroeira, Acerola, Ingá, Santa Bárbara, Banana, Marmão	Abacate, Pupunha	Cajá-manga, Copaiba, Cedro, Teca, Ipê, Angelim, Cajá-mirim
Alto	Brócolis, Alface	Inhame, Cará, Taioba, Mandioca	Lichia, Caqui, Abacate, Manga, Pupunha, Urucum	Lichia, Caqui, Manga, Cedro, Cajá-manga, Banana florestal, Palmito juçara, Uvaia, Jaboticaba, Pitanga	Jaboticaba, Uvaia, Pitanga, Carambola, Palmito juçara
Médio	Rúcula, Salsa, Chicória	Gengibre, Urucum, Feijão	Uvaia, Jaboticaba, Pitanga, Lima da Pércia, Graviola, Carambola, Banana florestal, Palmito juçara	Laranja, Limão, Graviola, Carambola, Banana florestal, Palmito juçara	Laranja, Limão, Graviola, Carambola
Baixo	Rabanete, Cenoura, Feijão	Abacaxi, Abóbora, Feijão	Laranja, Limão, Café	Café, Cacau	Café, Cacau

* Tem-se dado o nome de “placenta”, nas agroflorestas no âmbito da Cooperafloresta, aos estágios iniciais das mesmas, nas quais se promove um grande plantio e acúmulo de matreial orgânico; AF: agrofloresta.

É importante deixar claro que as espécies indicadas na Tabela 5 constituem apenas um exemplo. Utilizando-a como tal, apesar do planejamento de plantio vir a “localizar” as diferentes espécies em diferentes estratos e consórcios, todas as espécies são plantadas ao mesmo tempo. O café, por exemplo, ocupará o estrato baixo a partir de um ano de agrofloresta; diferentes espécies de *citrus* ocuparão diferentes estratos em diferentes idades da agrofloresta; porém, estas e todas as outras espécies constantes na tabela serão plantadas ao mesmo tempo.

Aqui, reside a arte e o conhecimento sobre os *habitats*, os nichos e as relações ecológicas, a velocidade de crescimento e as características de altura e arquitetura de cada espécie. É aqui, também, que reside a oportunidade de trazer ao espaço produtivo um número grande de espécies, que contribuirão para a diversidade funcional, para a segurança alimentar e para a diversificação da renda.

Proceder este planejamento, dessa forma, é visualizar os diferentes estratos da agrofloresta ao longo do tempo. A produtividade da agrofloresta a ser implantada depende de um planejamento o mais preciso possível, e que leve em conta a diversidade de espécies em cada estrato e em cada consórcio. Por mais que sempre seja possível introduzir na agrofloresta novos indivíduos, de novas espécies, em diferentes épocas, um nicho ecológico desocupado ou ocupado por uma espécie de características semelhantes não pode ser preenchido imediatamente por um indivíduo que vai ser implantado. Um nicho que poderia ser ocupado por uma laranjeira adulta, por exemplo, e está vazio ou ocupado por uma espécie menos interessante (do ponto de vista produtivo ou ecológico) não permanecerá naquele espaço esperando uma muda de laranjeira crescer. Se esta for implantada, quando se tornar adulta, o nicho ecológico naquele espaço ocupado por ela já será outro. Para a maioria dos agricultores da Cooperafloresta, quando uma agrofloresta é implantada sem um bom planejamento, muitas vezes é melhor renová-la. Quando isso é feito, disponibiliza-se uma enorme quantidade de alimento para a biota do solo (via poda drástica do material vegetal) e

instala-se uma agrofloresta mais completa e mais bem planejada, o que é, em geral, mais interessante do que ir completando-a aos poucos.

Uma vez definido o local para implantação da agrofloresta e tendo as sementes, manivas, propágulos e mudas em mãos, é importante iniciar o preparo da área.

Como fazer agrofloresta envolve a facilitação do processo de sucessão ecológica, o primeiro passo, na implantação, é, em geral, a capina seletiva. A capina seletiva difere da capina convencional para limpeza da área, pois elimina somente as plantas que já cumpriram seu papel na sucessão e precisam dar lugar a outras, e não todas as plantas da área.

Conforme já colocado, na natureza a transição entre diferentes consórcios não se dá de forma abrupta, levando por vezes anos para acontecer. Faz-se a capina seletiva após entender que espécies já cumpriram ali o seu papel no processo sucessional, observando a área e tendo conhecido as características ambientais da região. Na capina seletiva, estes indivíduos são retirados e depositados sobre o solo, de preferência manualmente. Nessa deposição, é importante cuidar para que indivíduos de espécies com facilidade de “pegamento” sejam colocados sobre folhas ou galhos cortados na capina, evitando o contato direto com o solo e, conseqüentemente, sua regeneração. Caso a implantação seja realizada em uma área em estágio bem inicial de sucessão, como, por exemplo, uma área coberta por braquiária ou outras gramíneas, a capina seletiva pode ter um elevado custo. Nestes casos, pode ser preferível iniciar com o plantio direto de leguminosas, ou concentrar a implantação agroflorestal em núcleos menores. Em agroflorestas a serem implantadas neste tipo de situação, especialmente em áreas relativamente grandes, pode-se optar pelo preparo do solo com subsolagem mecanizada, utilizando uma só haste nas linhas onde serão plantadas as árvores e demais plantas (canteiros).



Figura 25. Capina seletiva para implantação de agrofloresta.

Para potencializar a capacidade de fotossíntese no plantio agroflorestal e, ao mesmo tempo, utilizar como aporte a energia e os nutrientes acumulados pela sucessão ecológica anterior ao plantio, podem-se total ou parcialmente as árvores e arbustos existentes no local, picando os ramos e galhos de suas copas e cortando os troncos em pedaços de aproximadamente meio metro (50 cm). Este material será utilizado para o aprimoramento da formação de nichos ao longo do processo sucessional, a partir da intervenção agroflorestal. Em outras palavras, tomam-se de empréstimo os nutrientes e a energia captados e organizados pela vida, naquele espaço, como investimento para um nível mais complexo de organização a partir da agrofloresta.

Uma vez realizada a capina seletiva e o corte/poda das árvores e arbustos, definem-se os locais onde serão estabelecidos os canteiros agroflo-

restais. Os canteiros são locais especialmente preparados para receber as sementes e propágulos em alta densidade e de forma organizada.

Usualmente, tem-se elaborado canteiros de 1 a 1,2 m de largura (para facilitar seu manejo), e de comprimento igual ao comprimento da área. Entre um canteiro e outro, é usual manter um espaço de aproximadamente 3,5 m. O direcionamento dos canteiros deve ser preferencialmente de forma perpendicular à linha do movimento do sol, o que permitirá a otimização da incidência da luz solar nas plantas.

Porém, outro critério importante para o direcionamento dos canteiros é colocá-los no sentido do declive da área, o que favorecerá e facilitará em muito o manejo das plantas, pois curva-se menos o corpo para se colocar as mãos no chão. Assim, o direcionamento dos canteiros deve procurar balancear a otimização da incidência luminosa e a facilidade de manejo (Figura 26).

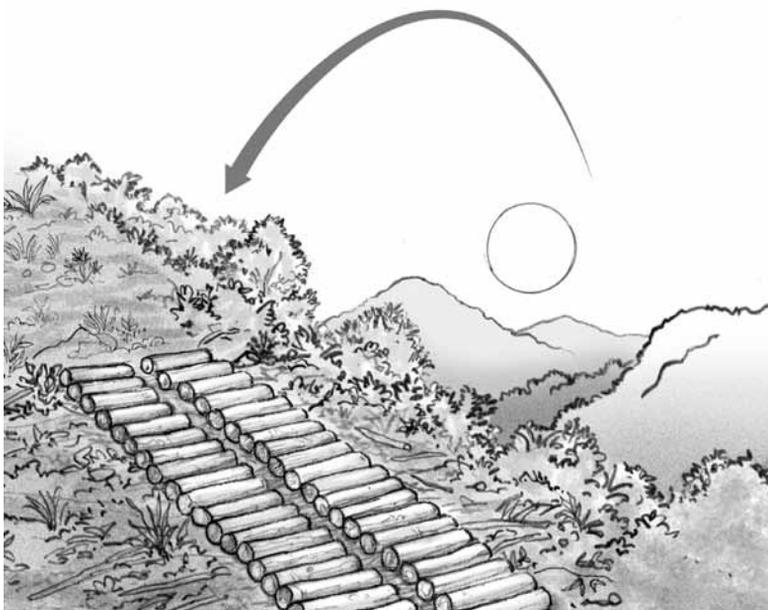


Figura 26. Representação esquemática do direcionamento da implantação de canteiros agroflorestais.

A ideia da implantação de canteiros acompanhando o declive da área pode parecer estranha à primeira vista, pois, de acordo com as boas práticas de conservação de solos, a construção de canteiros deve ser feita de forma perpendicular ao declive. É importante ter em mente, todavia, que os canteiros implantados na agrofloresta, bem como os espaços entre os canteiros, são completamente cobertos com elevada quantidade de matéria vegetal já no momento do plantio, e que a área será rapidamente coberta por plantas vivas, produzindo sistema radicular ativo, em alta densidade. Além disso, conforme será detalhado adiante, serão colocados pedaços de troncos sobre os canteiros que, estes sim, ficarão perpendiculares ao relevo. Dessa forma, esta prática não favorece a erosão do solo.

Após a delimitação do espaço para os canteiros, segue-se a sua implantação propriamente dita. Primeiramente, raspa-se cuidadosamente o “cisco”, ou o material vegetal retirado na capina seletiva sobre a área dos canteiros (que no caso específico do espaço dos canteiros tende a ser de todas as plantas ali presentes). Isso se faz com enxada ou ancinho, procurando retirar o mínimo possível da camada superficial de solo junto com o “cisco”. Porém, mesmo com todo o cuidado, uma certa quantidade de solo acaba se misturando ao “cisco”. Este solo, originário da camada mais superficial, tende a ser de alta atividade biológica e de grande fertilidade, e não pode ser desperdiçado. Portanto, amontoa-se o material retirado, reservando-o para uso posterior.

Estando o espaço dos canteiros sem cobertura de plantas, “solta-se” o solo superficial (10 a 15 cm de profundidade). Com o solo “solto”, montam-se os canteiros procurando manter as bordas mais elevadas do que a área central, visando direcionar a água da chuva e os nutrientes mobilizados pela decomposição da matéria orgânica para o centro dos canteiros (Figura 27).

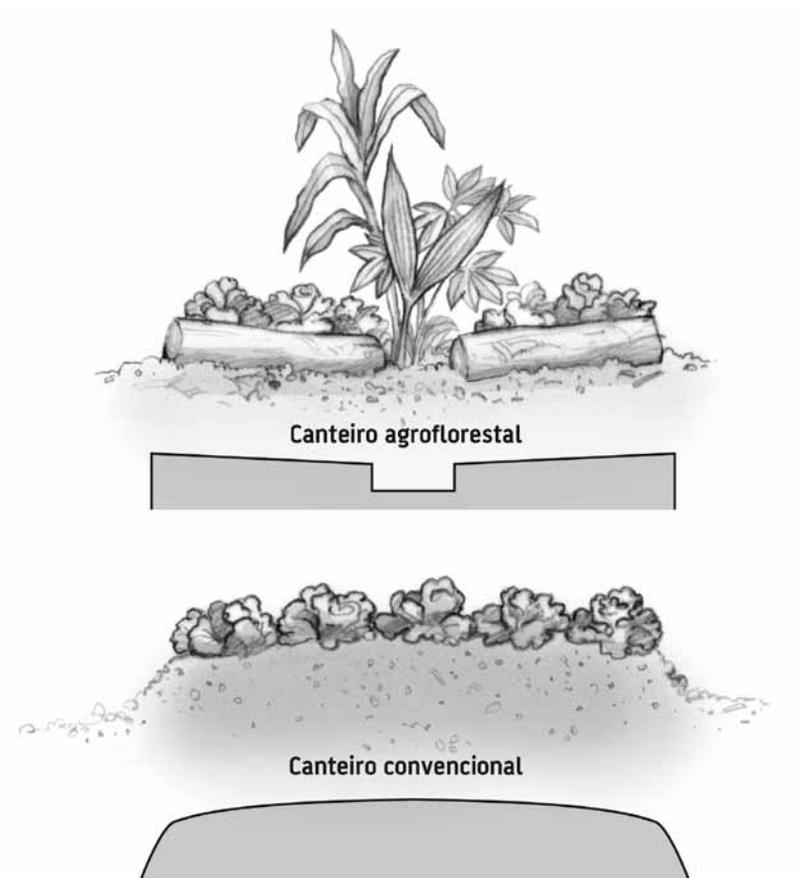


Figura 27. Representação esquemática da forma dos canteiros agroflorestais.

Elaborados os canteiros, inicia-se o plantio. Neste momento, é importante lembrar que será semeada ou plantada uma quantidade muito maior de sementes e mudas do que se espera que germine ou viva em longo prazo na agrofloresta. Portanto, o espaço do canteiro receberá uma grande densidade de sementes e/ou mudas. Seja considerando esta condição, seja aproximando espécies companheiras, ou seja, ainda evitando que o manejo de poda e colheita das espécies, cada uma a seu tempo, afete negativamente as outras plantas que permanecerem, o “mapeamento” adequado do plantio

nos canteiros é de grande importância.

Este “mapeamento” consiste em desenhar o delineamento e a forma do plantio de cada espécie nos canteiros, antes de sua efetivação, buscando otimizar a ocupação do espaço acima e abaixo do solo em cada fase da sucessão agroflorestal, tendo como eixo de planejamento a otimização da captação da energia solar no sistema, da ocupação de diferentes nichos ecológicos e da ampliação das relações ecológicas.

Neste desenho, é importante considerar, por exemplo, que espécies de diferentes estratos, que ocupem diferentes espaços verticais, acima e abaixo do solo, podem e devem ser plantadas no mesmo espaço horizontal, o que otimizará a captação da energia solar no sistema ao longo do tempo.

Entretanto, o espaçamento entre espécies cujas copas ocuparão o mesmo estrato, no mesmo estágio sucessional da agrofloresta, deve ser bem calculado, evitando a competição entre as mesmas. Este cuidado deve ainda ser maior no plantio de mudas, prevenindo, em médio prazo, a necessidade de retirada de árvores em competição que representaram, muitas vezes, um elevado custo para a aquisição de suas mudas.

Outro aspecto a ser considerado é a arquitetura das raízes das espécies a serem plantadas em conjunto com a arquitetura da parte aérea de cada uma. Caules subterrâneos ou raízes tuberosas, como inhame, cará, batatas ou mandioca, por exemplo, ocupam um grande espaço no solo. O direcionamento do plantio dessas espécies deve considerar qual espaço será ocupado e que, no momento da colheita, sua desocupação momentânea não deve afetar o início do desenvolvimento de outras espécies, especialmente de fases subsequentes da sucessão. Isso deve ser levado em conta, inclusive, no ângulo e no sentido de direcionamento das manivas e propágulos nos canteiros.

Espécies de hortaliças de ciclo mais curto, todavia, que serão colhidas antes e que não afetem, no momento da colheita, o desenvolvimento dos tubérculos, podem ocupar espaços próximos no solo, desde que a arquitetura das folhas dessas espécies, no espaço a ser ocupado por elas e no perí-

odo de seus ciclos, permitam a otimização do aproveitamento da luz solar.

Já espécies como as abóboras e feijões, por outro lado, ocupam uma parte considerável do espaço sobre o solo, com sua grande quantidade e densidade de folhas. Se o plantio dessas espécies for feito muito próximo a outras espécies com ciclos de vida semelhantes, a tendência é que estas sejam dominadas e venham a perecer.

No mapeamento, é importante considerar, ainda, que espécies que preferem o sol da manhã devem ser plantadas no lado leste do canteiro, ocorrendo o contrário para espécies que se adaptam ao sol da tarde.

No delineamento do plantio, a preocupação em ocupar diferentes nichos ecológicos, a partir da diversidade do mesmo, é também de grande importância, visando contribuir para a otimização da organização dos processos vitais em níveis cada vez mais complexos. A título de exemplo, o guandu é uma espécie herbácea/arbustiva de ciclo curto que produz raízes fortes e profundas, trazendo para sua parte aérea nutrientes de regiões do solo inacessíveis por outras plantas de ciclo curto. Após seu crescimento, a poda da parte aérea trará para as regiões superficiais do solo estes nutrientes, assim como disponibilizará aos organismos do solo sua energia acumulada, favorecendo novos níveis de organização do sistema.

A ocupação de diferentes nichos possibilita a amplificação das relações ecológicas, que por sua vez amplificam a quantidade e a diversidade de nichos, em uma retroalimentação energética e estrutural. Diferentes espécies de gramíneas e asteráceas, por exemplo, ao ocuparem com suas raízes as camadas superficiais do solo, tendem a desenvolver associações com micorrizas. Estas associações, além de garantirem maior disponibilidade de absorção de água do solo para estas plantas, são muito efetivas para a disponibilização de fósforo no solo, nutriente geralmente presente, mas indisponível. Um solo com mais fósforo disponível permite o desenvolvimento de várias outras espécies, que ocuparão outros nichos e participarão em outras relações ecológicas.

Assim, é fundamental identificar as possibilidades de ocupação de ni-

chos de forma associada às relações ecológicas que as espécies a serem plantadas poderão fazer parte. O plantio de “espécies facilitadoras”, ou seja, justamente aquelas com uma grande quantidade e variedade de relações ecológicas em potencial, é muito importante.

Os aspectos aqui considerados são apenas alguns exemplos de cuidados a tomar no “mapeamento” dos plantios nos canteiros. Em última análise, devem ser considerados, conforme já colocado, todos os aspectos que possam influenciar na otimização da ocupação dos espaços horizontais e verticais, na ocupação de diferentes nichos ecológicos, na potencialização de relações ecológicas e na otimização da captação de energia solar para o sistema. Isso tudo considerando a adaptação de cada espécie ao solo, clima e relevo da área.

Uma vez “mapeado” o plantio, inicia-se o mesmo, tendo como regra geral plantar primeiro as espécies de mudas ou propágulos maiores, cuja implantação exija maior revolvimento do solo, para não “bagunçar” o canteiro. Mudas de árvores devem ser plantadas após a abertura de covas dentro do canteiro, que podem ser feitas com cavadeiras manuais ou mecanicamente. Após as árvores, plantam-se os propágulos e as manivas (como mandioca, cará, gengibre, por exemplo) e, após, as sementes das diferentes espécies. A cada espécie plantada, marca-se o local de plantio, no espaçamento definido, para evitar sobreposições inadequadas e revolvimento de solo em locais em que a semente já tenha ocorrido.

Em geral, realiza-se o plantio de sementes e mudas ao longo do eixo central do canteiro, em uma pequena faixa de 8 a 15 cm de largura. Nas margens dessa faixa central, quando há disponibilidade de material, colocam-se cuidadosamente, lado a lado e de forma perpendicular ao eixo do canteiro, pedaços de troncos das árvores, de aproximadamente meio metro, cortados na área ou em áreas próximas. Quando não se tem madeira disponível, pode-se utilizar qualquer outro tipo de material orgânico. Esta intervenção tem cinco funções principais:

- proteger o solo do canteiro da insolação direta e da erosão;

- ativar a vida microbiana no espaço do canteiro, a partir da disponibilização de matéria orgânica e do estímulo às relações ecológicas da micro e mesofauna do solo (bactérias, fungos, colêmbolos, minhocas, etc.), que passam a usufruir direta ou indiretamente desta grande quantidade de material orgânico, criando constantemente novos nichos ecológicos no solo e incrementando sua fertilidade;

- proteger a área central do canteiro – onde ocorreu o plantio – do estabelecimento das espécies herbáceas de ocorrência natural, especialmente gramíneas;

- contribuir para o direcionamento da água da chuva em baixa velocidade e em nível para a parte central do canteiro; e

- estabelecer o início de um ambiente de solo florestal, mais adequado ao desenvolvimento das mudas e sementes plantadas.

Na prática, a colocação dos troncos na forma descrita procura imitar, em parte, o processo de renovação das florestas a partir de clareiras. Nas clareiras, a regeneração florestal ocorre utilizando, entre outros recursos, o material orgânico das árvores caídas. Na “imitação” deste processo nas agroflorestas, contudo, busca-se acelerar o processo de sucessão, dispondo o material vegetal da forma mais organizada possível e diretamente em contato com o solo (Figura 28).





A



B



Figura 28. Implantação de canteiro agroflorestal, imagens A, B, C e D.

Uma opção a ser considerada, no mapeamento do plantio, é a colocação de solo (preferencialmente o solo retirado junto com o “cisco”, no delineamento dos canteiros) ocupando o espaço superior entre dois pedaços de troncos, ao longo de todo o canteiro. Este solo, rico em fertilidade, pode ser usado para o plantio de espécies de ciclo curto (Figura 29). A presença dessas espécies também favorecerá a decomposição do material orgânico, a formação de novos nichos ecológicos e o estabelecimento de novas relações ecológicas na área.



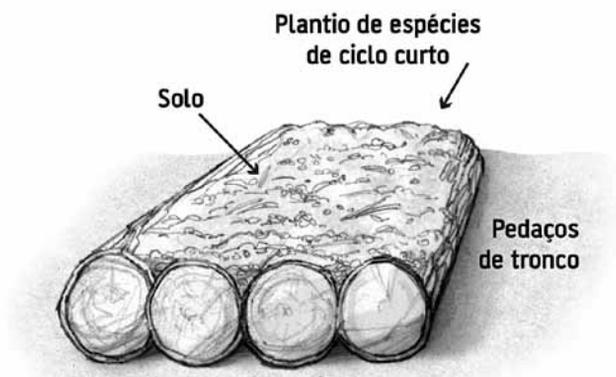


Figura 29. Opção de colocação de solo sobre os pedaços de troncos nos canteiros, para plantio de espécies de ciclo curto, especialmente hortaliças.



Na experiência da Cooperafloresta, o produto do plantio em um canteiro agroflorestal é um banco de sementes, propágulos e mudas muito denso e diversificado, contendo dezenas de espécies (Figura 30).





Figura 30. Representação de canteiro agroflorestal.

Realizado o plantio nos canteiros, é hora de cuidar do plantio no espaço entre os mesmos. Conforme já colocado, entre um berço e outro, costuma-se manter um espaço de aproximadamente 3,5 m de largura, que deverá ser maior em casos de menor fertilidade do solo e/ou estágios bem iniciais de sucessão ecológica.

Neste espaço, em que foi feita a capina seletiva, o objetivo é otimizar a formação de matéria vegetal a partir da captação de energia solar (fotossíntese). Em outras palavras, o que se quer neste espaço é uma “bomba” de disponibilização de carbono e outros nutrientes para o sistema, utilizando espécies adaptadas a fazer isso a pleno sol.

Em geral, as espécies que melhor fazem isso são as gramíneas, de metabolismo C4. Em função de suas adaptações morfofisiológicas, as gramíneas tendem a apresentar uma alta taxa fotossintética, convertendo gás carbônico em matéria vegetal rapidamente e com grande intensidade em ambientes abertos. Esta matéria vegetal contém, também, vários nutrientes absorvidos do solo. Além da alta capacidade de fotossíntese, enquanto

houver incidência solar direta na área, algumas gramíneas suportam cortes a cada 2 ou 3 meses, que podem levar ao solo uma grande quantidade de material orgânico rico em carbono e demais nutrientes.

Considerando estes aspectos, plantam-se neste espaço gramíneas de rápido crescimento. No âmbito da Cooperafloresta, tem sido utilizado neste plantio, principalmente, o capim-napier e o capim-colonião-mombaça (plantado por sementes). Uma touceira adulta dessas espécies pode fornecer centenas de propágulos. Planta-se o capim a cada metro, ou o mais densamente possível, de acordo com a disponibilidade de propágulos e a capacidade de mão de obra.

Junto com o capim, pode-se plantar adubos verdes, especialmente leguminosas (como crotalária, guandu, etc.) e asteráceas (como o margaridão, por exemplo).

Como o que se quer nesta área entre os canteiros é produzir matéria vegetal em grande quantidade para a disponibilização de material orgânico e nutrientes para a agrofloresta, a quantidade de área a ser disponibilizada para este fim deve ser tanto maior quanto menos fértil é o solo. Em experiências de manejo agroflorestal iniciadas pela Cooperafloresta nos municípios da Lapa (PR) e Ribeirão Preto (SP), estão sendo utilizadas faixas de 6,8 a 8,4 m de largura, onde, além de capim e adubos verdes, implantam-se espécies arbustivas e arbóreas pioneiras rústicas com grande capacidade de produção de matéria vegetal e rebrota.

A rápida e densa cobertura dessa área, além de constituir uma “fábrica de material orgânico” (que fornecerá nutrientes quando decompuser), acaba por controlar outras espécies de rápido crescimento e de difícil controle, especialmente as herbáceas nativas, na medida em que ocupam o espaço e a possibilidade de captação de luz solar dessas espécies (Figura 31).



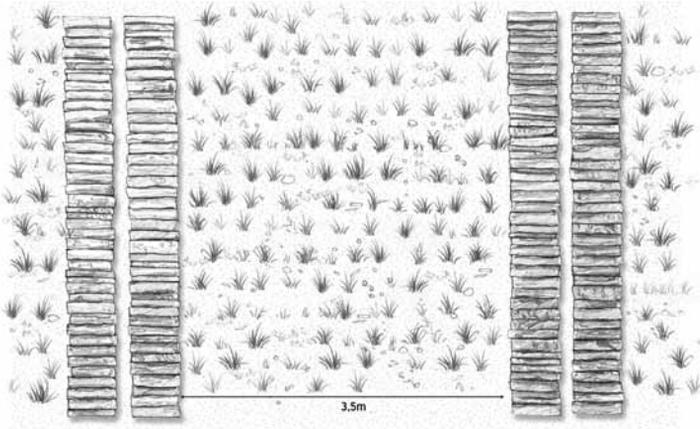


Figura 31. Agrofloresta em implantação, indicando o plantio de capim entre os canteiros.

Realizado o plantio na área entre os canteiros, finaliza-se a implantação da agrofloresta cobrindo todo o solo com folhas e galhos picados, obtidos a partir do corte das árvores existentes na área. Cobrem-se tanto os canteiros quanto os espaços entre os canteiros, usando, proporcionalmente, mais

material de cobertura sobre os canteiros. Essa prática, além de proteger o solo da erosão, contribui para a ativação da vida no solo e otimiza o aproveitamento do espaço agroflorestal (Figura 32).



Figura 32. Finalização da implantação da agrofloresta

3. MANEJO INICIAL DO CAPIM E DAS ESPÉCIES DE CICLO CURTO

Em um período de dois a quatro meses após a implantação da agrofloresta, a área entre os canteiros tende a estar totalmente coberta pelo capim e, se for o caso, pelos adubos verdes.

Quando o capim-napier já apresentar dois “nós” maduros em seu caule, é o momento do primeiro corte. Corta-se o capim, com facão, e depositam-se as folhas sobre os canteiros.

É importante ter o cuidado de cortar a parte de baixo das folhas cortadas (em geral, a terça parte do comprimento) e depositá-las na própria área do capim. Como o capim “pega” muito facilmente, caso a parte basal das folhas seja colocada nos canteiros, é possível que ele enraíze ali, competindo com as espécies plantadas. Por outro lado, esta prática contribui com alguma reposição de material orgânico na área entre os canteiros (Figura 33).



Figura 33. Capim-napier pronto para o primeiro corte.

Após o primeiro corte, é possível realizar novos cortes a cada 2 a 3 meses. No âmbito da Cooperafloresta, prefere-se fazer o corte do capim na época de lua minguante, o que favorece a rebrota.

Cada corte representa aproximadamente 1,7 kg de matéria vegetal seca sendo depositada por metro quadrado (ou 17 toneladas de matéria vegetal seca por hectare) (Pego et al., 2013). Junto com o capim, a cada

corde, cortam-se também os adubos verdes que já atingiram a fase adulta, colocando sua matéria vegetal sobre os canteiros (Figura 34).



Figura 34. Manejo do capim em agrofloresta jovem.

Quando existem condições adequadas de fertilidade do solo e a deposição de uma grande quantidade de material orgânico, durante o primeiro ano da agrofloresta é possível um manejo intenso de colheita das espécies de ciclo curto, especialmente hortaliças. Se os canteiros foram bem planejados e implantados, a colheita das hortaliças, no primeiro ano, tende a pagar, com sobras, o trabalho de implantação da agrofloresta; sem dúvida o trabalho mais intenso na mesma.

A colheita das hortaliças deve ser feita com todo o cuidado, procurando não revirar o solo e evitando danificar plântulas de outras espécies, especialmente das árvores que estão crescendo por baixo delas. Qualquer espaço que venha a ficar exposto ao sol após a colheita deve ser coberto com folhas, sejam provenientes da área do capim ou de outros manejos (Figura 35).





Figura 35. Colheita de hortaliças dos canteiros agroflorestais em agroflorestas jovens, imagens A e B.

Quem faz agrofloresta sabe que solo exposto é um convite para o estabelecimento de capins, que fazem, na natureza, a função de mantê-lo coberto. Se a área central do canteiro foi densamente plantada, essa área não será ocupada por capins, nem os de origem da regeneração natural, nem o capim plantado. A grande cobertura com pedaços de tronco ou outras fontes de material orgânico, entre a área central dos canteiros e a área do capim plantado, garante este relativo isolamento, especialmente na fase inicial de desenvolvimento da agrofloresta.

Outra função muito importante dessas linhas de pedaços de tronco, neste momento, é a facilitação do manejo da área. Estas linhas servem como caminho e base para o manejo, evitando o pisoteio de plantas e a exposição do solo (Figura 36).



Figura 36. Manejo da agrofloresta em fase inicial, facilitado pela forma dos canteiros.

Além do manejo de corte e deposição do capim e de colheita escalonada dos produtos da agrofloresta, o manejo também envolve um cuidado especial com a capina seletiva, especialmente nos primeiros anos da agrofloresta, re-

tirando plantas de espécies de fases iniciais da sucessão e promovendo plantas de estágios mais avançados. Além disso, várias espécies, tanto plantadas quanto provenientes de regeneração natural, podem e devem ser parcialmente podadas, gerando material orgânico para uso nos canteiros e liberando a entrada de luz para os estratos mais baixos da agrofloresta.

Após quatro a seis anos, as copas das árvores e arbustos, provavelmente, estarão criando condições de sombreamento que alteram o nicho adequado ao desenvolvimento do capim que foi plantado, assim como das gramíneas em geral.

Dessa forma, o capim, que cumpriu a grande função de produzir matéria vegetal e incrementar os processos vitais no início da agrofloresta, vai deixando o sistema, naturalmente. Nessa época, praticamente, também já não existem pedaços de troncos nos canteiros, uma vez que estes já foram transformados pela biota do solo. Além disso, a combinação das plantas provenientes dos plantios, nos canteiros, com as plantas promovidas pela capina seletiva, fora deles, vão retirando gradativamente da paisagem agroflorestal as linhas dos canteiros (Figura 37).



Figura 37. Agrofloresta de 6 anos.

4. MANEJO DE AGROFLORESTAS MADURAS

Texto elaborado utilizando como base o filme “Implementação manual e semi-mecanizada de canteiro agroflorestal”, de João Amorim (AMORIM, 2013a).

Entrar em uma agrofloresta com alguns anos de vida é como entrar em um quarto que se arruma constantemente. Quem vem manejando a área sabe onde está cada espécie, pois cada planta, proveniente do plantio ou da regeneração natural, foi plantada e monitorada por meio das capinas seletivas e das podas desde a implantação da agrofloresta.

Assim como quando se vai arrumar um quarto, um manejo em uma agrofloresta madura não pode começar com grandes operações. Em um quarto, por exemplo, não se deve mudar os móveis de lugar sem arrumar a cama antes, ou retirar de cima dos móveis objetos que atrapalhem a arrumação. Assim como quando se vai arrumar um quarto, no manejo agroflorestal são feitas as atividades simples e óbvias primeiramente.

Começa-se com a capina seletiva, retirando do sistema aquelas plantas que já produziram, que já cumpriram seu papel na sucessão e estão em fase final de vida. Agindo dessa forma, está se acelerando o processo de sucessão ecológica, retirando espécies que não se adequam mais aos novos nichos criados pela própria sucessão. Dessa maneira, o manejo constante evita a estagnação do sistema.

É importante lembrar que cada planta retirada deve ser picada e colocada sobre o solo, evitando-se colocar as espécies que “pegam” ou “rebrotam” facilmente em contato direto com o mesmo — essas plantas devem ser colocadas sobre galhos ou folhas podados de outras espécies.

Como o solo descoberto é um convite para o estabelecimento de espécies herbáceas pioneiras, especialmente gramíneas, deve-se cobrir com o material vegetal proveniente da capina seletiva especialmente os espaços descobertos e mais expostos à luz solar. Por outro lado, já que tanto a capina seletiva quanto a poda promoverão maior entrada de luz no sistema, atingindo inclusive os andares mais baixos da agrofloresta e estimulando o crescimento de espécies

herbáceas pioneiras, é preciso ter bastante cuidado para realizar uma capina realmente efetiva, retirando todas as plantas que não devem mais estar no sistema. Uma capina seletiva bem feita evita ter que voltar a se fazer capinas desnecessárias na área, reduzindo em muito o trabalho ao longo do tempo.

É importante estar atento, na capina seletiva, à possibilidade do uso de várias plantas retiradas que geram propágulos ou mudas que poderão ser utilizados na implantação de outras agroflorestas.

Por outro lado, é provável que várias plantas provenientes da regeneração natural estejam ocupando nichos não ocupados por indivíduos de espécies plantadas. Mantê-las e/ou promovê-las pode ser interessante para aumentar as relações e os nichos ecológicos na área, ou como possíveis fontes de material orgânico. Se for este o caso e a espécie suportar podas, rebrotando ainda em nicho adequado, pode-se aproveitar o material podado para a adubação da área. Ou pode-se, simplesmente, manter o indivíduo para uma nova avaliação, em um próximo manejo.

Feita a capina seletiva e conservando as plantas que se deseja manter, é hora de fazer as podas.

Voltando à comparação com a arrumação de um quarto, qualquer proposta de algum novo arranjo dos móveis tem alguns limitantes, dados pelo próprio espaço do quarto. Por exemplo, sabe-se, de antemão, que não é possível colocar o guarda-roupa na parede da janela e nem a cama fechando a porta; é possível ainda que um móvel grande não venha a caber no quarto, a não ser que saiam outros menores, mas que podem ser essenciais.

Em uma agrofloresta, não é possível retirar as árvores do espaço horizontalmente ocupado por elas, e este é um limitante espacial. Entretanto, pode-se estimulá-las a ocupar outros espaços verticais, estratificando as suas copas, sempre respeitando a vocação ecológica da planta ou o estrato que ela ocupa em seu ecossistema de origem, que pode ser inferido por contínua observação e avaliação em outros locais.

Esta é a questão chave do manejo: com base na percepção da sucessão ecológica da agrofloresta, a partir da identificação, no local, das espécies

que estão formando os diferentes consórcios e estratos, é preciso perceber qual o estrato ideal a ser ocupado por cada planta ao longo do tempo. Com isso em mente, procura-se conduzi-las, especialmente pela poda, a estes estratos. Trata-se de um ajuste a cada momento de manejo, procurando realizar atividades que levem cada planta ao seu estrato ideal.

Em outras palavras, o processo de sucessão ecológica indica as fases – anterior, atual e potencialmente futura – da agrofloresta, sendo que determinados consórcios de espécies estão ou estarão presentes em cada uma delas. A sucessão, portanto, é o resultado do trabalho do tempo sobre as espécies e sobre a agrofloresta como um todo.

A estratificação, por outro lado, é um detalhamento do processo de sucessão ecológica no espaço vertical, ou, colocado de outra forma, o resultado da ação do tempo na estrutura vertical da agrofloresta (Figura 38).

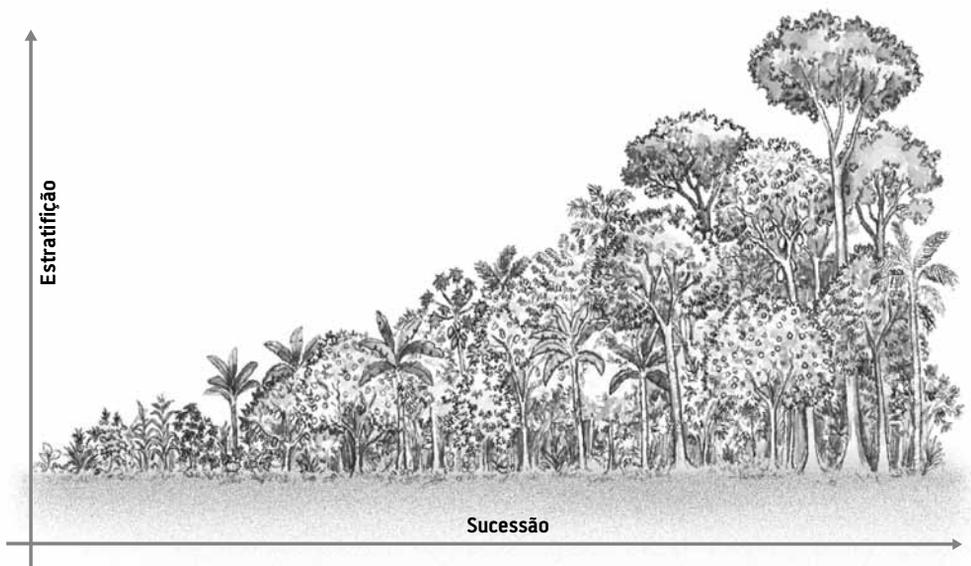


Figura 38. Representação esquemática identificando a sucessão e a estratificação ao longo do tempo.

Entender e perceber oportunidades de intervenção para incrementar a ocupação do espaço vertical ao longo do tempo é fundamental para o manejo. Isto porque uma de suas funções principais é justamente potencializar ou até reorientar alguns arranjos espaciais, contando com a força da sucessão ecológica e do crescimento das espécies.

Assim, após realizada a capina seletiva, o manejo se resume, principalmente, a um diálogo com cada planta na agrofloresta, trazendo questões como:

- “Será que esta planta está no lugar certo?”;
- “Será que devo conduzir sua copa para outro andar da agrofloresta?”;
- “Será que preciso retirá-la, porque a substituta dela naquele estrato já está pedindo passagem?”;
- “Qual a função dessa planta, neste momento e futuramente, na formação de nichos e relações ecológicas, e que relações e nichos são desejáveis?”;
- “Qual a altura que sua copa deve estar em médio prazo?”;
- “Qual a altura que estarão ou deverão ser conduzidas as copas das árvores adjacentes?”;
- “Qual a intensidade de luz que otimizará a produtividade dessa planta?”;
- “Como posso podar as árvores adjacentes para facilitar essa entrada de luz?”.

Dialogar dessa forma, olhando para cada planta sob vários ângulos e trazendo para este diálogo o conhecimento sobre as características de cada espécie, determina que tipos de podas deverão ser feitas.



4.1 PODA DE ESTRATIFICAÇÃO

Conforme colocado acima, cada planta tem o seu estrato ideal, ou o seu andar, a partir do espaço horizontal que ela ocupa na agrofloresta e considerando as plantas das diferentes espécies ao seu redor. Faz-se a poda de estratificação para estimular que cada planta ocupe realmente o estrato adequado.

Em uma situação em que estejam, por exemplo, próximas entre si, uma planta de café, um cítrus e uma canela, ocupando com suas copas o mesmo estrato vertical, é importante realizar podas que as estratifiquem adequadamente. Pode-se “cortar a cabeça” (o meristema apical) do café, estimulando que ele forme uma grande saia e que não cresça mais verticalmente; podar os ramos mais baixos da canela e, se conveniente, podar galhos de árvores adjacentes que estejam impedindo a chegada de luz à sua copa, estimulando seu crescimento vertical; e manter o cítrus, realizando, se for o caso, uma poda de frutificação (Figura 39).

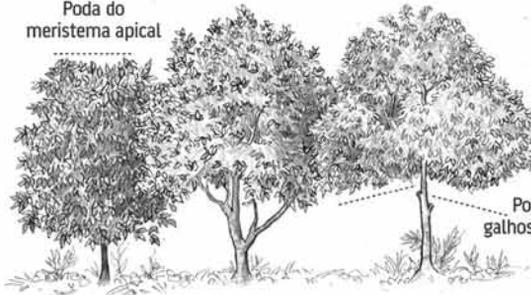
Se a canela for podada mais abaixo, antes da formação dos galhos, a sua rebrota irá competir, no mesmo estrato, com o cítrus, ou mesmo com o café. Se o café for podado em seus ramos laterais, e não o meristema apical, a tendência é que ele cresça verticalmente, competindo com o cítrus. Assim, o sucesso produtivo e ecológico da agrofloresta depende da distribuição adequada de luz em cada estrato, tendo a poda de estratificação como principal ferramenta.



Poda de estratificação



Poda do
meristema apical



Poda dos
galhos inferiores

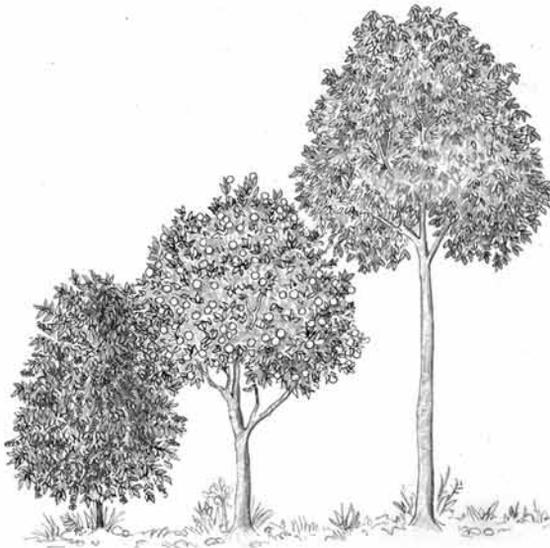


Figura 39. Representação esquemática da poda de estratificação.

4.4 PODA DE FRUTIFICAÇÃO

A poda de frutificação é um tratamento, um cuidado com as árvores, visando facilitar a produção de flores e frutos.

Em geral, quanto mais “arejada” estiver a copa, maior a possibilidade de produção e, ao mesmo tempo, menor a possibilidade de ataque de fungos e insetos. Assim, é importante retirar os galhos que estão mais velhos ou senescentes, os galhos doentes e os galhos que se sobrepõem a outros mais vigorosos. Além disso, ramos “ladrões” ou “galhos chupões”, ou seja, aqueles galhos mais grossos que tendem a crescer retos, mais verticalmente, também devem ser retirados, evitando-se a perda de energia da árvore.

Além destes critérios gerais, é importante atentar para as características próprias de cada espécie em relação à produção de flores e frutos, para se fazer uma poda adequada. Existem espécies que só produzem em ramos do ano, outras que só produzem em ramos que já completaram um ano, e outras que só produzem em ramos mais velhos. Adequar a poda de frutificação a estas características é fundamental. Também é de grande importância procurar conduzir, por meio da poda, a um formato da copa próxima ao formato natural da espécie (Figura 40).



Figura 40. Poda de frutificação.

4.3 PODA DE ELIMINAÇÃO

A poda de eliminação é feita quando existem ou venham a existir duas ou mais plantas ocupando, com suas copas, o mesmo espaço horizontal, e cujo estrato ideal é o mesmo. Ou seja, plantas próximas umas das outras, cujas características indicam que devam ocupar o mesmo estrato na agrofloresta, exigem uma avaliação de qual ou quais delas devem ser mantidas e quais devem ser eliminadas. Diferentemente da poda de estratificação, neste caso não há como estratificar com sucesso as plantas, pois elas ocuparão o mesmo estrato, competindo entre si.

Na avaliação de qual planta manter, é importante considerar aspectos de diversidade, função ecológica, produtividade e opções de uso e renda. Normalmente, opta-se por retirar a espécie típica das etapas anteriores e deixar a espécie típica das etapas futuras. Muitas vezes, é fácil perceber esta opção, visto que a seleção natural tende a deixar mais saudável o indivíduo da etapa futura de sucessão.

É bom lembrar que podas de eliminação fazem parte do planejamento, ainda que de forma indefinida quanto a cada espécie ou planta. Conforme descrito anteriormente, no momento do plantio semeiam-se ou plantam-se muito mais sementes, propágulos ou mudas do que se espera de plantas adultas, buscando garantir uma “disponibilidade genética” e de adaptação das espécies na agrofloresta. Quanto maior a variação de usos e funções ecológicas que uma espécie pode representar, maiores as possibilidades de aproveitamento das podas de eliminação.



Figura 41. Poda de eliminação.

4.4 CUIDADOS NA PODA

Apesar da avaliação de que tipo de poda fazer depender de um “diálogo” com cada planta, é importante que cada intervenção considere como ficará o conjunto das plantas na agrofloresta, de forma a otimizar a entrada de luz em todos os andares ou estratos. Para tanto, é sempre interessante ter em mente como se quer que a estrutura da agrofloresta esteja no próximo manejo.

Além disso, conforme propõe Götsch (1995), deve-se atentar para a planta existente abaixo daquela que será podada, que irá substituí-la no próximo consórcio. Dessa forma, leva-se em consideração tanto a planta que vai ser podada quanto a planta que sofrerá as consequências dessa poda, já que a poda interferirá na disponibilidade de luz, espaço e oferta de material orgânico para o sistema.

No manejo da poda, é relevante, também, considerar que árvores muito altas podem dificultar em muito o manejo. Assim, deve-se atentar para a altura máxima das árvores que se quer manter, buscando cortar seus meristemas apicais quando elas atingirem essa altura. No caso de árvores madeiráveis, essa poda contribui também para ir “engrossando” a árvore, na medida em que se favorece a atividade dos meristemas secundários.

É considerável lembrar que, ao entrar em uma agrofloresta madura para manejá-la, deve-se levar diferentes ferramentas de poda. A poda de estratificação e a poda de eliminação podem ser feitas com facão. A diferença é que, na poda de estratificação, o corte deve ser muito bem feito e de baixo para cima, evitando que haja lascas no corte. Isso favorece a rebrota e evita a entrada de fungos, bactérias e insetos no caule. Já na poda de eliminação, o corte deve ser feito o mais rente ao solo possível (figura 41), lascando a madeira, justamente para reduzir a chance de rebrota. Já a poda de frutificação precisa ser feita de forma mais precisa, com tesoura de poda ou serrote de mão.

Podas de galhos de árvores que se pretende usar a madeira devem ser feitas cedo, ou seja, no momento certo para não formar nós, e de forma precisa.

O material podado, originário de qualquer poda, deve ser bem picado

e colocado sobre o solo. Neste processo, é imprescindível, além de cobrir partes do solo eventualmente sem vegetação, distribuir o mais homogêneo possível o material, lembrando que as raízes estão, potencialmente, em toda a projeção da copa das árvores, e não somente ao pé das plantas.

Finalmente, é fundamental ter em mente que é por meio das podas que a luz solar deve chegar aos vários estratos da agrofloresta. Assim, as podas realizadas, seja de que tipo for, devem otimizar essa entrada de luz. Eventualmente, é necessário realizar podas específicas para este fim.



5. “COMPLETANDO” AGROFLORESTAS

No manejo das agroflorestas, muitas vezes a capina seletiva e a poda geram espaços que podem ser ocupados por outras espécies.

Conforme já comentado, o ideal é que estes espaços sejam previstos no planejamento do plantio. Entretanto, em várias situações, é possível e interessante a implantação de novas espécies ao longo do tempo e do manejo, visando completar os andares e nichos ecológicos da agrofloresta.

Assim, é primordial estar atento a essas possibilidades, no sentido de incrementar, quando possível, os processos vitais e a produtividade agroflorestal.



6. RENOVAÇÃO DA AGROFLORESTA

Ao longo do tempo e em função das práticas de manejo, as espécies arbóreas vão dominando o espaço agroflorestal, sobrando pouco espaço e nichos ecológicos para espécies herbáceas de interesse (com exceção de espécies herbáceas adaptadas ao sombreamento, como taioba e açafraão).

Por outro lado, muitas vezes o manejo de poda e colheita, em agroflorestas mais velhas (quando estas não foram manejadas para evitar que fiquem muito altas), passa a ser feito com alguma dificuldade quando exige a subida em árvores altas.

Quando o sistema é muito incompleto quanto à ocupação dos nichos e/ou quando o manejo vai se tornando difícil, é importante avaliar a pertinência de renovação da agrofloresta, total ou parcialmente. Se for este o caso, procede-se da mesma forma que na implantação. Entretanto, a mobilização dos processos vitais e o incremento de diversidade e fertilidade desempenhado durante o manejo promoverão um nível muito mais elevado de organização da energia e das estruturas vitais na próxima agrofloresta.



Como é possível perceber, fazer agrofloresta não é estritamente implantar culturas agrícolas dentro da floresta. Uma agrofloresta implantada e manejada é o produto de várias intervenções, cuidadosamente planejadas e executadas, que visam aproveitar os processos vitais do local para o próprio incremento da vida.

Em outras palavras, é importante ter em mente que a agrofloresta busca aproveitar e cooperar de forma inteligente os processos vitais. Este aproveitamento se faz a partir de muita observação e cuidado, traduzidos em múltiplas intervenções adequadamente planejadas. Tendo isso como premissa, pode-se dizer que, em um sentido amplo, fazer agrofloresta é de fato plantar, é fazer agricultura, é dialogar com a natureza, tendo como campo de trabalho os processos vitais da floresta.







LITERATURA CITADA

- AMORIM, J. Implementação manual e semi-mecanizada de canteiro agroflorestal. Filme. Acesso em <http://www.youtube.com/watch?v=RSTF-ShrmLQ>, em 19 de agosto de 2013. 2013a
- AMORIM, J. Manejo de agrofloresta de 5 anos. Filme. Acesso em <http://www.youtube.com/watch?v=RSTF-ShrmLQ>, em 19 de agosto de 2013. 2013b
- ANGEL-PÉREZ, A.L.D.; MENDOZA B., M.A. Totonac homegardens and natural resources in Veracruz, Mexico. *Agriculture and Human Values*, 21: 329-346, 2004.
- ASSAD, M. L. L. Fauna do solo. In: LOPES VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. (Ed.) *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1997. 363 - 443 p.
- AZEVEDO, A. C.; VIDAL-TORRADO, P. Esmectita, vermiculita, minerais com hidróxi entrecamadas e clorita. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds) *Química e mineralogia do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 381 - 426.
- BEARE, M.H.; COLEMAN, D.C.; CROSSLEY Jr, D.A.; HENDRIX, P.F.; ODUM, E.P. A hierarchical approach to evaluating the significance of soil biodiversity to biogeochemical cycling. *Plant and Soil*, Dordrecht, 170: 5-22, 1995.
- BENJAMIN, T.J.; MONTAÑEZ, P.I.; JIMÉNEZ, J.J.M.; GILLESPIE, A.R. Carbon, water and nutrient flux in Maya homegardens in the Yucatán peninsula of Mexico. *Agroforestry Systems*, 53: 103-111, 2001.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução n. 429, de 28 de fevereiro de 2011. *Diário Oficial da União*, 01 de março de 2011.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Instrução Normativa n. 4, de 8 de setembro de 2009. *Diário Oficial da União*, 10 de setembro de 2009.
- BROKAW, N.V.L. Gap-phase regeneration in a tropical forest. *Ecology* 66: 682-687, 1985.
- BUDOWSKI, G. Distribution of tropical american rain forest species in the light of successional process. *Turrialba*, 15: 40-42, 1965.
- CAJA-GIRON, Y.S.; SINCLAIR, F.L. Characterization of multistrata silvopastoral systems on seasonally dry pastures in the Caribbean Region of Colombia. *Agroforestry Systems*, 53: 215-225, 2001.
- CANELLAS, L. P.; MENDONÇA, E. S.; DOBBS, L.B.; BALDOTTO, M. A.; VELLOSO, A. C. X.; SANTOS, G. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Reações da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P. & CAMARGO, F. A. de O. (Eds.). *Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais*. 2. ed. ver. e atual. Porto Alegre: Metrópole, 2008. 45 - 63 p.
- CAPRA, F. *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo: Ed. Cultrix, 1996. 256p.
- CAPRA, F. *As conexões ocultas: ciência para uma vida sustentável*. São Paulo: Editora Cultrix, 2002. 296p.
- CARNEIRO, R. O uso do solo e classificação da floresta (Kuikúro). In: RIBEIRO, B. G. (Org.) *Suma Etnológica Brasileira - I. Etnobiologia*. Belém: Editora Universitária UFPA, 1987. 302 p.

CARPANEZZI, A.A. Banco de sementes e deposição de folheto e seus nutrientes em povoamentos de bracinga (*Mimosa scabrella* Bentham) na região metropolitana de Curitiba. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista(UNESP), 1997. 177 f. (Tese de Doutorado).

CEZAR, R.M. Parâmetros biológicos de solos em sistemas agroflorestais multiestrata sucessional e regeneração natural. Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, 2013. 62 f. (Dissertação de Mestrado).

CHABOUSSOU, F. Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose. Tradução de Maria José Guazzelli. Porto Alegre: L&PM, 1999. 272p.

CLARK, D. A. Are tropical forests an important carbon sink? Reanalysis of the long-term plot data. *Ecological Applications* 12: 3–7, 2002.

DÍAZ, S.; CABIDO, M. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology & Evolution*, 16: 646-655, 2001.

DUXBURY, J. M.; SMITH, M. S.; DORAN, J. W. Soil organic matter as a source and a sink of plant nutrients. In: COLEMAN, D. C.; OADES, J. M.; UEHARA, G. (Eds.) Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. Manoa: NIFTAL Project, University of Hawaii, 1989. 33 – 67 p..

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. State of the world forests. Rome: 2011. 179 p.

FERREIRA, M. M. Caracterização física do solo. In: van LIER, Q. J. (Ed.) Física do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. 1 – 27 p.

FUTUYMA, D. J. Biologia evolutiva (coord. tradução Mario de Vivo). 2ª Ed. Ribeirão Preto, FUNPEC-RP, 2002. 631 p.

GARRITY, D.P.; LEFROY, R.D.B.; BLAIR, G.J.; CRASWELL, E.T. the fate of organic matter and nutrients in agroforestry systems. In: LEFROY, R.D.B.; BLAIR, G.J. (Eds.) Soil organic matter management for sustainable agriculture: a workshop held in Ubon, Thailand, Aug. 1994. Proceedings n. 56. Anais, Camberra: ACIAR , 1995. p. 69-77.

GARWOOD, N. C. Tropical soil seed banks: a review. In: LECK, M. A., ARKER, V. T.; SIMPSON, R. A. (Eds.). Ecology of soil seed banks. San Diego, Academic Press, 1989. p. 149-209.

GLIESSMAN, S.R. Agroecologia. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2005. 653 p.

GLOVER, N.; BEER, J. Nutrient cycling in two traditional central american agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 4: 77-87, 1986.

GÖTSCH, E. Natural succession of species in agroforestry and in soil recovery. Piraí do Norte, Fazenda Três Colinas, 1992. 19 p. (não publicado)

GÖTSCH, E. Break-through in agriculture. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1995. 22 p.

GRANADOS, L.A.C. Viabilidad financiera de sistemas agrosilvopastoriles multiestrata y agroflorestales, en fincas ganaderas convencionales del Departamento de Santander, Colombia. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2005. 146 f. (Dissertação de Mestrado).

HALL, J. B.; SWAINE, M. D. Seed stocks in Ghanaian forest soils. *Biotropica*, 12: 256-263, 1980.

- HEYWOOD, V. H.; WATSON, R. T. Global biodiversity assessment. Cambridge: University Press, United National Environmental Programme. 1997. 140 p.
- HOLGUIN, V.A.; IBRAHIM, M.; MORA-DELGADO, J. El aprendizaje participativo como base de un cambio positivo del uso del suelo en fincas ganaderas de Costa Rica. *Livestock Research for Rural Development*, v.19, n.4, abr 2007. Disponível em: <<http://w.cipav.org.co/lrrd/lrrd19/4/holg19053.htm>>. Acesso em 10/09/2013.
- HURLBERT, S. The nonconcept of species diversity: a critic and alternative parameters. *Ecology*, 52: 577-586, 1971.
- JORDAN, C.F. Nutrient Cycling Processes and Tropical Forest Management. In: GÓMEZ-POMPA, A.; WHITMORE, T.C. and HADLEY, M. (Eds.) *Rain Forest Regeneration and Management*. Paris: UNESCO (Man and The Biosphere Series, vol.6), 1990. p. 159-180.
- KAGEYAMA, P. Y.; GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. (Eds.). *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Universidade de São Paulo/Fapesp, 2000. 261 p.
- KÄMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. Mineralogia de solos brasileiros. In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds) *Pedologia: fundamentos*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012. p. 81 – 145.
- LAMBERS, H.; CHAPIN I., F. S.; PONSS, T. L. *Plant physiological ecology*. New York: Springer-Verlag, 1998. 540 p.
- LAURANCE, W.F.; LOVEJOY, T.E.; VASCONCELOS, H.L.; BRUNA, E.M.; DIRHAM, R.K.; STOFFER, P.C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R.O.; LAURANCE, S.G.; SAMPAIO, E. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments: a 22-years investigation. *Conservation Biology*, 6: 605-618, 2002.
- LIMA, C. L. R.; PILLON, C. N.; SUZUKI, L. E. A. S. & CRUZ, L. E. C. Atributos físicos de um Planossolo Háplico sob sistema de manejo comparados aos do campo nativo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32: 1849 – 1855, 2008.
- LIMA, R. M. B. de. *Descrição, composição e manejo dos Cultivos Mistos de Quintal na Várzea da “Costa do Caldeirão”*. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, 1994. 293 f. (Dissertação de Mestrado).
- LOVELOCK, J. *As eras de Gaia: uma biografia da nossa Terra viva*. Tradução de Lucília Rodrigues. Mira-Sintra: Publicações Europa-América, 1988. 214 p.
- LOVELOCK, J. *Gaia: cura para um planeta doente*. São Paulo: Cultrix, 2006. 192p.
- MARGALEF, R. *Perspectives in ecological theory*. Chicago: University of Chicago Press, 1968. 111 p.
- MARTINEZ-RAMOS, M.; ALVAREZ-BUYLLA, E.; SARUKHAN, J.; PINERO, D. Treefall age determination and gap dynamics in a tropical forest. *Journal of Ecology*, 76: 700-716, 1988.
- MATURANA, H. R.; VARELA, F. J. *A árvore do conhecimento: as bases biológicas da compreensão humana*. São Paulo: Editora Palas Athena, 2001. 288 p.
- MAY, R. M., LAWTON, J. H.; STORK, N. E. Assessing extinction rates. In: LAWTON, J. H. and MAY, R. M. (Eds.) *Extinction rates*. Oxford: Oxford University Press, 1995. p. 1-24.
- MEA - MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. *Ecosystems and human well-being:*

Synthesis. Washington, DC: Island Press, 2005. 137p.

MELO, V. F.; WYPYCH, F. Caulinita e haloisita. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds) Química e mineralogia do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p. 427 – 504.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE/CENTRO ECOLÓGICO. Relatório do Estudo Sistemas de Uso de Terra e Serviços Ambientais. SUBPROGRAMA PROJETOS DEMONSTRATIVOS – PDA. Relatório (não publicado). www.mma.gov.br (Acesso em 20/06/2013)

MYERS, N.; KNOLL, A. The biotic crisis and the future of evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98: 5389–5392, 2001.

NOSS, R.F.; CSUTI, B. Habitat fragmentation. In: MEFFE, G.K., CARROLL, R.C. (Eds.). *Principles of Conservation Biology*, 2 ed., Sinauer: Sunderland, MA, 1997. p. 269-304.

OLIVEIRA, A. Diversidade, estrutura e dinâmica do componente arbóreo de uma floresta de terra firme de Manaus, Amazonas. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1997. 198 f. (Tese de Doutorado).

PEGO, L.; BINNECK, S.; BORGES, S.; VIEIRA, W. Agrofloresta como estratégia produtiva e de conservação ambiental na Floresta Nacional do Açungui – Campo Largo/PR. Projeto Profissional de Intervenção. Curitiba, Faculdade Evangélica do Paraná, 2013. 63 p.

PENEREIRO, F. M. Sistemas agroflorestais dirigidos pela sucessão natural: um estudo de caso. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1999. 138 f. (Dissertação de Mestrado).

PIANKA, E. R. *Evolutionary ecology*. New York: Harper Collins College Publishers, 5 ed., 1994. 486 p.

PIANKA, E. R. Latitudinal gradients in species diversity: a review of the concepts. *American Naturalist*, 100: 34-46, 1966.

PICKETT, S.T.A.; ROZZI, R. The ecological implications of wolf restoration: contemporary ecological principles and linkages with social processes. In: SHARPE, V. A.; NORTON, B.; DONNELLEY, S. (Eds). *Wolves and human communities: biology, politics, and ethics*. Washington, DC: Island Press, 2000. p. 171-190.

PIMM, S. L.; RAVEN, P. Extinction by numbers. *Nature*, 403: 843-845, 2000.

POSEY, D.A. A preliminary report on diversified management of tropical forest by the Kayapo Indians of Brazilian Amazon. *Advances in Economic Botany*, 1:112- 126, 1984.

PRICE, P. W. The web of life: development over 3,8 billion years of trophic relationships. In: MARGULIS, L.; FESTER, R. (Eds). *Symbiosis as a source of evolutionary innovation*. Cambridge: MIT Press, 1991. p. 262-272.

PRIGOGINE, I. *As leis do caos*. São Paulo: Editora UNESP, 2002. 109p.

PRIGOGINE, I. *O fim das certezas*. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista, 1996. 199p.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *A nova aliança: metamorfose da ciência*. 3 ed. Brasília: Editora da Universidade de Brasília, 1997. 247p.

PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *Entre o tempo e a eternidade*. São Paulo: Companhia das Letras, 1992. 226p.

ROZZI, R.; FEISINGER, P.; MASSARDO, F.; PRIMACK, R. *Que es la diversidade biológica?*

- In: PRIMACK, R.; ROZZI, R.; FEISINGER, P.; DIRZO, R.; MASSARDO, F. Fundamentos de conservación biológica. México DF, México: Fondo de cultura económica, 2001. 797 p.
- RICKLEFS, R.E. A economia da natureza. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S.A., 2003. 503 p.
- RUSSEL, J. B. Química geral. Vol. 2. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 1994. 1268 p.
- SCHULTEN, H.R.; SCHNITZER, M. A state of the art structural concept for humic substances. *Naturwissenschaften*, 80: 29-30, 1993.
- SCHWIDERKE, D. K. Estoque e ciclagem de nutrientes em sistema agroflorestal sucesional e floresta secundária no vale do Ribeira. Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, 2013. 120 f. (Dissertação de Mestrado).
- SHTORACHE, G. F. Atributos físicos do solo em sistema agroflorestal multiestrata sucesional. Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, 2013. 71 f. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H. A.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Eds. Fertilidade do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 275 – 374.
- SILVA, L. S.; CAMARGO, F. A. O. de & CERETTA, C. A. Composição da fase sólida orgânica do solo. In: MEURER, E. J. (Ed.) Fundamentos de química do solo. Porto Alegre: Genesis, 2000. 45 – 62p
- SILVEIRA, N.D. Sostenibilidad socioeconómica y ecológica de sistemas agroforestales de café (*Coffea arabica*) en la microcuenca del Río Sesesmiles, Copán, Honduras. Turrialba, Costa Rica, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), 2005. 154 f. (Dissertação de Mestrado).
- SIMINSKI, A.; FANTINI, A. C.; GURIES, R.P.; RUSCHEL, A.R.; REIS, M. S. Secondary forest succession in the Mata Atlântica, Brazil: floristic and phytosociologic trends. *ISRN Ecology*, 2011: 1-19, 2011.
- SIQUEIRA, J.O.; FRANCO, A.A. Biotecnologia do solo: fundamentos e perspectivas. Brasília: MEC, ABEAS; Lavras: ESAL, FAEPE, 1988. 236 p.
- STAVER, C.; GUHARAY, F.; MONTEROSSO, D.; MUSCHLER, R.G. Designing pest-suppressive multiestrata perennial crop systems: shade-grown coffee in Central America. *Agroforestry Systems*, 53: 151-170, 2001.
- STEENBOCK, W. Domesticação de bracatingais: perspectivas de conservação ambiental e inclusão social. Florianópolis, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 281 f. (Tese de Doutorado).
- STEENBOCK, W.; SILVA, R. O.; FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Agroflorestas e sistemas agroflorestais no espaço e no tempo. In: STEENBOCK, W.; COSTA E SILVA, L.; SILVA, R. O.; RODRIGUES, A. S.; PEREZ-CASSARINO, J.; FONINI, R. Agrofloresta, ecologia e sociedade. Curitiba, Kairós, 2013a. p. 39 – 60.
- STEENBOCK, W.; SILVA, R. O.; VEZZANI, F. M.; MARTINS, P. J.; FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Avaliação da dinâmica do carbono em agroflorestas desenvolvidas por agricultores associados à Cooperafloresta. In: STEENBOCK, W.; COSTA E SILVA, L.; SILVA, R. O.;

RODRIGUES, A. S.; PEREZ-CASSARINO, J.; FONINI, R. Agrofloresta, ecologia e sociedade. Curitiba, Kairós, 2013b. p. 321 – 344.

STEENBOCK, W.; SILVA, R. O.; VEZZANI, F. M.; SEOANE, C. E. S.; FROUFE, L. C. M.; Características estruturais das agroflorestas desenvolvidas no âmbito da Cooperafloresta. In: STEENBOCK, W.; COSTA E SILVA, L.; SILVA, R. O.; RODRIGUES, A. S.; PEREZ-CASSARINO, J.; FONINI, R. Agrofloresta, ecologia e sociedade. Curitiba, Kairós, 2013c. p. 345 – 362.

TILMAN, D.; REICH, P. B.; KNOPS, J.; WEDIN, D.; MIELKE, T.; LEHMAN, C. Diversity and Productivity in a Long-Term Grassland Experiment. *Science*, 294: 843-845, 2001.

TOREZAN, J.M.D. Estudo da sucessão secundária na Floresta Ombrófila Densa Submontana, em áreas anteriormente cultivadas pelo sistema de “coivara”, em Iporanga, SP. Dissertação de Mestrado. Curitiba, Programa de Pós-Graduação em Botânica, Departamento de Botânica, Universidade Federal do Paraná, 1995. 89 f.

VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. O solo como sistema. Curitiba: edição dos autores, 2011. 104p.

von BERTALANFFY. The theory of open systems in physics and biology. *Science*, 111: 23 – 29, 1950.

WRI/IUCN/UNEP (WORLD RESOURCES INSTITUTE/THE WORLD CONSERVATION UNION/UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME). Global Biodiversity Strategy: guidelines for action to save, study, and use Earth's biotic wealth sustainably and equitably. Washington, D.C.: WRI/IUCN/UNEP, 1992. 244 p.

YAMAMURA, N. Diversity and evolution of symbiotic interactions. In: ABE, T.; LEVIN, S. A.; HIGASHI, M. (Eds.) Biodiversity: an ecological perspective. Kyoto: 1996. 294 p.

YOUNG, A. 10 Hypotheses for soil-agroforestry research. *Agroforestry Today*, 1: 13-16, 1989.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-908740-1-0



9 788590 874010



Secretaria da
Agricultura Familiar

Ministério do
Desenvolvimento Agrário

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA