

Sistemas Agroflorestais: Resultados, aplicações e desafios

Felipe Schwerz
Braulio Otomar Caron
Elvis Felipe Elli
Organizadores



Sistemas Agroflorestais: Resultados, aplicações e desafios

Felipe Schwerz
Braulio Otomar Caron
Elvis Felipe Elli
Organizadores

Sistemas Agroflorestais: Resultados, aplicações e desafios



Lavras - MG
2022

© Editora UFLA 2022 by Felipe Schwerz, Bráulio Otomar Caron, Elvis Felipe Elli (Organizadores). Este livro é de uso livre e gratuito e pode ser copiado na íntegra ou em partes, desde que se cite a fonte. Qualquer dúvida ou informações, entre em contato conosco pelo e-mail: editora@editora.ufla.br O conteúdo desta obra, além de autorizações relacionadas à permissão de uso de imagens e/ou textos de outro(s) autor(es), é de inteira responsabilidade do(s) autor(es) e/ou organizador(es). Direitos de publicação reservados à Editora UFLA. Impresso no Brasil - ISBN: 978-65-86561-23-4

UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

Reitor: João Chrysostomo de Resende Júnior
Vice-Reitor: Valter Carvalho de Andrade Júnior
Pró-Reitor de Pesquisa: Luciano José Pereira

CONSELHO EDITORIAL

Flávio Monteiro de Oliveira (Presidente), Patrícia Carvalho de Moraes (Vice-Presidente), Andréia da Silva Coutinho, Angélica Souza da Mata, Camila Souza de Oliveira Guimarães, Erick Darlisson Batista, Fernanda Gomes e Souza Borges, Giancarla Aparecida Botelho Santos, Giovanna Rodrigues Cabral, Graziane Sales Teodoro, Ilsa do Carmo Vieira Goulart, Lucas Rezende Gomide, Maria das Graças Cardoso, Patrícia Aparecida Ferreira, Roney Alves da Rocha, Rony Antônio Ferreira, Zuy Maria Magriotis.

EXPEDIENTE EDITORA UFLA

Flávio Monteiro de Oliveira (Diretor)	Patrícia Carvalho de Moraes (Vice-Diretora)
Alice de Fátima Vilela	Renata de Lima Rezende
Damiana Joana Geraldo Souza	Vítor Lúcio da Silva Naves
Késia Portela de Assis	Walquíria Pinheiro Lima Bello
Marco Aurélio Costa Santiago	

Revisão de português: Aline Fernandes Melo

Referências: Trindade Monografias - Bibliotecária: Wilselände de Oliveira

Ficha catalográfica elaborada pelo Setor de Processos Técnicos da Biblioteca Universitária da UFLA

Sistemas agroflorestais : resultados, aplicações e desafios / organizadores: Felipe Schwerz, Bráulio Otomar Caron, Elvis Felipe Elli, organizadores. – Lavras : UFLA, 2022.
101 p. : il. ; 21 cm.

Bibliografia.

1. Agricultura sustentável. 2. Agrometeorologia. 3. Legislação ambiental. 4. Produção vegetal. 5. Sistemas integrados. I. Schwerz, Felipe. II. Caron, Bráulio Otomar. III. Elli, Elvis Felipe. IV. Universidade Federal de Lavras.

CDD – 634.99

Ficha elaborada por Eduardo César Borges (CRB 6/2832)



EDITORA UFLA

Campus Universitário da UFLA, Andar Térreo do Centro de Eventos, Cx. Postal 3037,
CEP 37200-900 - Lavras/MG, Tel: (35) 3829-1532 - (35) 3829-1551
E-mail: editora@ufla.br, Homepage: www.editora.ufla.br

Organizadores



Felipe Schwerz

Professor na Universidade Federal de Lavras, na área de Agrometeorologia, Lavras, Brasil. Experiência nas áreas de agrometeorologia, produção vegetal, sistemas agroflorestais e recursos dendroenergéticos.
felipe.schwerz@ufla.br



Braulio Otomar Caron

Professor na Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen, na área de agrometeorologia, Frederico Westphalen, Brasil. Experiência nas áreas de agrometeorologia, produção vegetal e sistemas agroflorestais.
otomarcaron@yahoo.com.br



Elvis Felipe Elli

Pesquisador associado na modalidade de Pós-doutorado pela Iowa State University, Estados Unidos. Experiência nas áreas de agronomia e silvicultura, com ênfase em agrometeorologia e modelagem agrometeorológica.
elvisfelipeelli@gmail.com

Autores

Claiton Nardini

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência Agrônômica e Ambiental na Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen, Brasil. Experiência nas áreas de Agrometeorologia, Produção Vegetal, Biomassa Florestal e Sistemas Agroflorestais.
claitonnardini@live.com

Daniele Cristina Fontana

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, Brasil. Experiência nas áreas de horticultura, plantas medicinais e inovação tecnológica na área fitossanitária.
daani_fontana@hotmail.com

Denise Schmidt

Professora na Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen, na área de horticultura, Frederico Westphalen, Brasil. Experiência nas áreas de agronomia com ênfase em horticultura, sistemas hidropônicos e morfologia vegetal.
denise@ufsm.br

Elder Eloy

Professor na Universidade Federal de Santa Maria - Campus Frederico Westphalen, na área de tecnologia e utilização de produtos florestais, Frederico Westphalen, Brasil. Experiência nas áreas de tecnologia da madeira: qualidade e uso da madeira, energia da biomassa, sistemas agrícolas e agrometeorologia.
eloyelder@yahoo.com.br

Jaqueline Sgarbossa

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Agronomia na Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Brasil. Experiência nas áreas de agronomia, agrometeorologia, produção vegetal (ênfase em sistemas agroflorestais).
sgarbossajs@yahoo.com

Apresentação

A academia na sua essência busca não apenas formar profissionais moldados em técnicas e tecnologias, mas também contribui para a formação intelectual e pessoal dos estudantes que passam anos estudando e assimilando os conteúdos ministrados nos mais diferentes campos do conhecimento.

É inegável a contribuição do agronegócio brasileiro para o crescimento do País. A cada ano, mais técnicas e tecnologias surgem no cenário nacional e internacional, ficando dispostas para serem utilizadas conforme a capacidade de pagamento do investidor rural. Nem todos os participantes da cadeia produtiva brasileira possuem condições de aplicar de forma objetiva as novidades que surgem em função do alto custo. Neste sentido, existem técnicas de produção que podem ser utilizadas a custo baixo e que ao longo do tempo podem trazer ganhos em todas as áreas.

O livro “Sistemas Agroflorestais: Resultados, Aplicações e Desafios” traz uma contribuição para o agronegócio, pois os sistemas agroflorestais – SAFs constituem uma técnica de produção alternativa ao sistema de produção convencional, amplamente utilizado no agronegócio brasileiro e ensinado na academia. Os SAFs contribuem para o melhor uso da terra, melhoria das condições do solo, proporcionam diversidade e sustentabilidade no sistema de produção e melhoram as condições ambientais.

A diversidade é dada pelo compartilhamento na mesma área por árvores e culturas anuais ou semiperenes. Não existe uma regra específica para “criar” um SAFs, ou seja, não temos um “modelo pronto” para ser aplicado. Em uma mesma região podem existir diversas alternativas, conforme a necessidade que se queira dar, sobretudo ao componente arbóreo. O segredo é estudar as relações ecológicas dos diferentes elementos e buscar potencializá-los no tempo e no espaço, aliado ao entendimento da dinâmica da radiação solar incidente, especialmente a transmitida para o sub-bosque.

O manejo dos SAFs é complexo, pois exige a aplicação da interdisciplinaridade e busca entender as diferentes relações ecológicas das plantas, bem como suas interações, por exemplo, como a diminuição da radiação solar afeta a anatomia e morfologia da cultura anual que poderá interferir em sua fotossíntese e seu crescimento em sub-bosque.

A escolha das espécies florestais, bem como o seu arranjo, deverá potencializar o crescimento desta espécie e possibilitar que a cultura anual presente no sub-bosque tenha condições de expressar o seu crescimento e desenvolvimento, a fim de potencializar a produtividade. A experiência que será trazida nos capítulos deste livro mostrará que em sistemas de produção caracterizados por pequenas propriedades rurais, a produtividade não atingiu os patamares do sistema de monocultivo, no entanto, ficaram várias vezes acima da média da região de estudo. A ideia não é competir com o sistema tradicional de cultivo, e sim, aplicar conhecimentos adquiridos na academia para potencializar o uso dos SAFs como uma alternativa ao sistema de produção vigente.

Propor o cultivo em SAFs é buscar se desafiar, como pesquisador, a utilizar do método científico para trabalhar alternativas que se tornem viáveis ao longo do tempo no aspecto ambiental, econômico e social. Exige habilidade técnica, pois envolve diferentes áreas do conhecimento a começar pelo componente arbóreo que se torna o diferencial, pois modifica toda a dinâmica de crescimento da própria espécie florestal, bem como modifica os elementos meteorológicos no interior dos SAFs, e conseqüentemente, as condições para o crescimento e desenvolvimento das plantas em sub-bosque.

Neste contexto, o livro “Sistemas Agroflorestais: Resultados, Aplicações e Desafios” traz contribuições positivas com relação ao cultivo de culturas anuais nos SAFs, com base em diversos estudos realizados, abrangendo diferentes culturas e combinações de SAFs, os quais podem ser aplicados pelos produtores rurais. Traz ainda o desafio de continuar estudando algumas culturas mais exigentes para introduzir como alternativa no SAF estudado, como é o caso da soja. Mas, o que seria da ciência se não fossem os problemas, as dúvidas, as hipóteses e os objetivos específicos? Alternativas devem ser estudadas e o método científico deve ser aplicado para se obter resultados, mesmo que muitas vezes os resultados não são os esperados, e infelizmente, e por esse motivo deixam de ser publicados ou de ter relevância.

Agradecimentos

Os autores agradecem a todos os acadêmicos dos cursos de agronomia e engenharia florestal que participaram como voluntários ou bolsistas de iniciação científica e mestrado na elaboração, execução e construção, tanto do projeto como da implementação e obtenção dos resultados que geraram frutos em forma de artigos científicos, bem como deste livro.

Registra-se também o agradecimento à Cooperativa Mista de Produção, Industrialização e Comercialização de Biocombustíveis do Brasil, pela cedência do espaço onde está instalada a área experimental.

Os professores Braulio Otomar Caron e Denise Schmidt agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelas bolsas de produtividade.

Sumário

1 Sistemas Agroflorestais: abordagem geral e aplicabilidade	10
1.1 Definições e importância	11
1.2 Arranjo das árvores e seus efeitos em SAFs	12
1.3 Dinâmica da radiação solar no sub-bosque das árvores em SAFs	13
1.4 Referências bibliográficas	16
2 Resultados e experiências alcançadas de um experimento de sistema agroflorestal no Rio Grande do Sul	20
2.1 Resultados e desafios de um experimento de sistema agroflorestal	21
2.2 Experiências alcançadas por meio do sistema agroflorestal	25
3 Arranjo de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais:	
Interações intra e interespecíficas	31
3.1 Arranjo do plantio florestal	32
3.2 Interações intra e interespecíficas	33
3.3 Interações entre espécies florestais e agrícolas em SAFs	34
3.4 Considerações finais	38
3.5 Referências bibliográficas	38
4 Radiação solar e sua interação multiestrato em sistema agroflorestal	41
4.1 A radiação solar no sistema de produção	42
4.2 Características do estrato superior: “o efeito guarda-chuva”	43
4.3 Plantas do estrato inferior e o aproveitamento da radiação solar	44
4.4 O que pode ser feito para aumentar a captação de radiação solar pelos SAFs?	46
4.5 Considerações finais	49
4.6 Referências bibliográficas	50
5 Modificações anatômicas e fisiológicas de culturas presentes no sub-bosque em sistemas agroflorestais	53
5.1 Introdução	54
5.2 Modificações anatômicas e fisiológicas nas folhas	55
5.3 Considerações finais	58
5.4 Referências bibliográficas	58
6 Pastagens em sistemas agroflorestais	62
6.1 Introdução	63
6.2 Aspectos relacionados ao desempenho de forrageiras em SAFs	64

6.3 Considerações finais	67
6.4 Referências bibliográficas	67
7 Cultura da soja em sistemas agroflorestais	71
7.1 Importância da cultura da soja e principais alterações no sistema de cultivo	72
7.2 Estudos já desenvolvidos envolvendo o uso da soja em SAFs	73
7.3 Estratégias silviculturais e de manejo para mitigar efeitos negativos do sombreamento sobre a produtividade da soja	77
7.4 Considerações finais e futuros estudos	78
7.5 Referências bibliográficas	78
8 O milho em sistemas integrados de produção: implicações práticas e produtivas	82
8.1 A importância e inserção do milho em SAFs	83
8.2 Aspectos fitotécnicos no cultivo de milho em SAFs	85
8.3 Condições agrometeorológicas na cultura do milho em SAFs	88
8.4 Considerações finais	90
8.5 Referências bibliográficas	91
9 Sistemas Agroflorestais e seus aspectos legais	94
9.1 Histórico do Código Florestal	95
9.2 Definição de Áreas de preservação permanente e Reservas Legais	96
9.3 Áreas consolidadas	97
9.4 A inserção dos sistemas agroflorestais em áreas protegidas	98
9.5 Referências bibliográficas	100

Capítulo 1

Sistemas Agroflorestais: abordagem geral e aplicabilidade

Elvis Felipe Elli
Felipe Schwerz

1.1 Definições e importância

Um dos maiores desafios na área das ciências agrárias, em todo o mundo, é gerar um equilíbrio entre a produção de alimentos e a preservação ambiental. Os sistemas de cultivo intensivo, comumente chamados de sistema de monocultivo, são responsáveis pela produção de um grande volume de alimentos e produtos agrícolas. No entanto, tais sistemas apresentam algumas fragilidades referentes à preservação ambiental, principalmente àquelas relacionadas ao uso dos recursos naturais, como água e nutrientes.

Neste sentido, o uso de sistemas integrados de produção, como os sistemas agroflorestais (SAFs), pode ser considerada uma estratégia promissora para equilibrar a preservação ambiental e a produção agrícola (BROOKER et al., 2015; GODFRAY et al., 2010; SCHWERZ et al., 2019). Na literatura existem muitas definições e formas de pensar os SAFs. A definição mais aceita e considerada pelos autores deste livro como a que melhor define tais sistemas de produção, é que os SAFs são sistemas de uso da terra caracterizados pela permanência deliberada, seja pela introdução de árvores ou outras culturas perenes em associação com culturas anuais e/ou animais (LUNDGREN; RAIN TREE, 1982; NAIR, 1993). A ideia básica é definida pela forma de uso integrado da terra, em que se aplicam práticas e técnicas ecologicamente sustentáveis por meio da combinação de diferentes espécies. Esta integração pode ocorrer de forma simultânea ou em sequência temporal, de acordo com a finalidade do sistema, em que a ideia é ocorrer mútuo benefício resultante das interações ecológicas e econômicas (NAIR, 1984). Considerando o atual conceito de SAFs, pode-se definir quatro combinações de componentes, sendo elas: Integração Lavoura-Pecuária (sistema agropastoril); integração Lavoura-Floresta (silviagrícola); integração Pecuária-Floresta (silvipastoril); e integração Lavoura-Pecuária-Floresta (agrosilvipastoril).

Existem inúmeros benefícios proporcionados pelos SAFs, como por exemplo, maior produção por unidade de área (LI et al., 2011; ZHANG et al., 2007), maior eficiência no uso da radiação solar, água e nutrientes pelas culturas presentes no sub-bosque (CARON et al., 2019; NARDINI et al., 2019; VANDERMEER, 2011), redução da erosão do solo (SEPÚLVEDA; CARRILLO, 2015), de ventos fortes (BAGLEY, 1988), maior conforto animal (no caso de sistemas silvipastoris e agrosilvipastoris) (PEZZOPANE et al., 2019), maior sequestro de carbono no solo (CONG et al., 2014; MAKUMBA et al., 2006) e aumento da entrada de matéria orgânica, o que auxilia na melhoria das propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (PAULA et al., 2015; SALTON et al., 2013; TRACY; ZHANG, 2008). Com isso, fica evidente que os SAFs podem proporcionar uma ampla gama de serviços ecossistêmicos (FAO, 2017).

Além disso, os SAFs podem ser considerados como ferramentas importantes para mitigar impactos negativos das mudanças climáticas, devido ao alto sequestro de carbono na forma de biomassa acima e abaixo do solo comparado aos sistemas de monocultivo, bem como redução dos níveis de temperatura no sub-bosque arbóreo (BOSI et al., 2020; CONG et al., 2014; NGUYEN et al., 2013). Os SAFs também apresentam importantes contribuições e benefícios

sociais, principalmente aqueles relacionados à agricultura familiar. Isso porque, estes sistemas proporcionam uma maior diversificação da produção na propriedade rural, gerando produtos oriundos de atividades agrícolas, florestais e produção animal, mitigando riscos econômicos aos produtores rurais (ABDO et al., 2008; TAVARES, 2018; VIVAN; FIORIANI, 2006).

Um dos principais aspectos a ser considerado nos SAFs é a grande diversidade e possibilidade de combinações, isso para alcançar a maior produção para dado local e situação. Neste sentido, torna-se imprescindível o planejamento e implementação de SAFs específicos para cada situação agroecológica, de manejo e para determinado mercado. Com base nessas informações e de outros estudos presentes na literatura, os profissionais da área de ciências agrárias, extensionistas e produtores rurais interessados podem planejar a implantação e manejo do sistema de produção, considerando as condições específicas do local de produção.

Primeiramente, deve-se ter em mente que não existe fórmula ou exemplos prontos para aplicação generalizada pelos produtores. Isso porque a estrutura básica do sistema é formada por seus constituintes, por exemplo quais plantas utilizar, qual sua disposição na área, o que envolve posição, arranjo, orientação e espaçamento. Além disso, devido à grande diversidade de clima e solo, variedade de plantas a serem utilizadas, bem como a ampla variedade de combinações espaciais e temporais, torna-se praticamente impossível definir “modelos prontos” de produção.

Considerando a complexidade dos sistemas integrados de produção, é possível afirmar que os SAFs são, naturalmente, complexos e necessitam de uma abordagem multidisciplinar. Nesse sentido, as pessoas envolvidas neste setor de produção, sejam produtores rurais, técnicos ou extensionistas, precisam ter um adequado conhecimento das culturas, práticas de manejo e das condições edafoclimáticas do local de produção a fim de se obter sucesso na implantação e produção agrícola (RIGHI, 2015).

Os SAFs estão fundamentados nas interações existentes no contexto ecológico, econômico e social existentes num sistema de produção (RIGHI, 2015). As interações existentes estão relacionadas com a mudança de resposta dos componentes do sistema de produção. Nesse sentido, a maior ou menor proximidade (por exemplo espaçamentos de plantio mais próximos ou distantes) pode determinar o grau de interação entre os componentes do sistema. Atualmente, não existe uma regra definida para mensurar diretamente a interação entre as espécies, bem como das espécies com o meio. Uma das alternativas utilizadas e de fácil aplicação se refere à avaliação das modificações resultantes, por exemplo, crescimento e desenvolvimento das plantas, morfologia, anatomia, produtividade, entre outras variáveis (MULLER et al., 2014; PEZZOPANE et al., 2015; RIGHI, 2015; SCHWERZ et al., 2018).

1.2 Arranjo das árvores e seus efeitos em SAFs

A presença do componente arbóreo no sistema agroflorestal exerce grande influência nas interações entre seus componentes. As interações ocorrem no espaço e no tempo, o

que torna o sistema mais complexo (LUEDELING et al., 2016). O conhecimento da estrutura e característica do componente arbóreo, de seu conjunto (floresta) e do funcionamento dos processos ecológicos é necessário para o estabelecimento de sistemas integrados mais eficientes (RIGHI; BERNARDES, 2018).

A intensidade de interações, que pode aumentar ou reduzir a competição pelos recursos, depende do arranjo das plantas no local de produção, principalmente espaçamento e densidade. Sistemas agroflorestais comumente apresentam arranjos mais espaçados das espécies florestais, comparado com plantios arbóreos convencionais. Isto ocorre para possibilitar maior entrada de radiação solar para o crescimento e desenvolvimento das espécies presentes no sub-bosque (ELLI et al., 2016; SCHWERZ et al., 2018). Este fator é de extrema importância e deve ser cuidadosamente analisado antes que o SAFs seja implantado (para maiores informações, ver capítulo 4).

Para tanto, devem ser analisadas as características específicas do componente arbóreo, das espécies anuais que serão cultivadas no seu sub-bosque (condicionantes agrometeorológicos da produtividade) e características edafoclimáticas da região em questão. Por exemplo, um arranjo mais amplo possibilitará maior transmissividade de radiação solar para o sub-bosque arbóreo e fechamento posterior do dossel vegetativo, sendo muitas vezes um fator benéfico para as culturas agrícolas, principalmente na área de cultivo mais próxima ao renque das árvores (CARON et al., 2018; ELLI et al., 2016; NARDINI et al., 2019; SCHWERZ et al., 2018). Por outro lado, a produção de biomassa florestal por unidade de área será menor (ELOY et al., 2016, 2017), em detrimento à maior produção individual, como, por exemplo, maior diâmetro à altura do peito (DAP) e volume por árvore (BINKLEY et al., 2017). Nesse contexto, desbastes ou desramas são opções de manejo interessantes para manter um equilíbrio adequado entre a produção florestal e agrícola.

O crescimento consorciado com culturas agrícolas, e em espaçamentos maiores do que nos seus sistemas de monocultivo, resultam em uma menor competição entre as árvores. Tal fato é observado em virtude da pouca influencia das culturas anuais sobre as espécies florestais, isso porque os sistemas radiculares das espécies se encontram em diferentes posições e profundidades, o que determina as interações existentes.

1.3 Dinâmica da radiação solar no sub-bosque das árvores em SAFs

Em condições de campo, as culturas estão sujeitas à influência de diversos elementos meteorológicos que variam ao longo do espaço, tempo e definem o crescimento, desenvolvimento e potencial produtivo de um determinado sistema agrícola. As interações entre as culturas e o ambiente envolvem processos físicos, químicos e biológicos, cujo estudo e compreensão são altamente complexos (CHANG, 1968).

A captura e uso dos recursos naturais pelas plantas de um dado SAF, são determinadas pela natureza e intensidade dos processos biofísicos e interações entre seus componentes.

Dentre os recursos naturais, a radiação solar é um dos principais elementos meteorológicos que determina o sucesso do SAF. Isso porque a intensidade e qualidade da radiação solar é o que rege o crescimento e desenvolvimento vegetal por meio do processo fotossintético. Nos sistemas agroflorestais, os padrões da radiação solar são intensamente modificados, resultado das sobreposições de estruturas das copas que interceptam grande parte da radiação solar incidente, reduzindo sua chegada em estratos inferiores do dossel. Por outro lado, há um aumento da proporção de radiação difusa no interior dos SAFs, bem como, maior aprisionamento de ondas longas emitidas pela superfície (Figura 1).

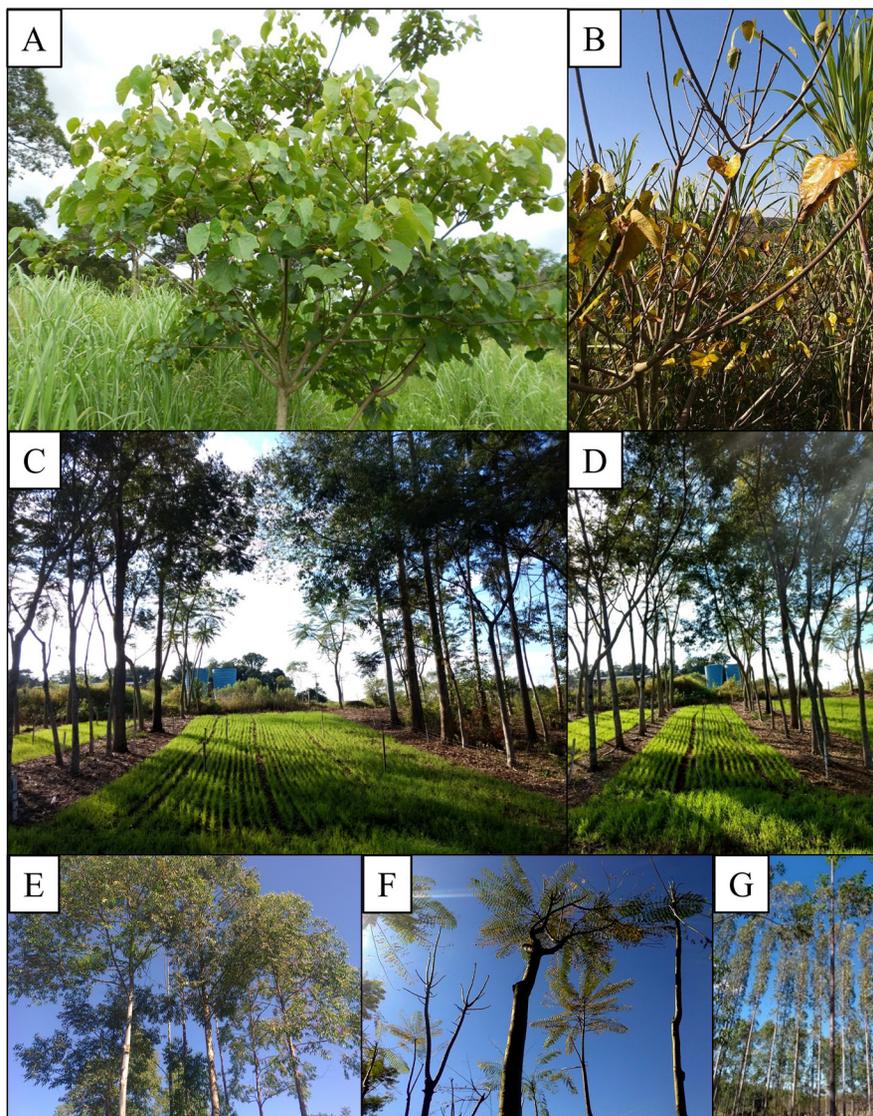


Figura 1 - Características e disposição das espécies cultivadas em sistemas agroflorestais. Copa da cultura do tungue no verão (A) e inverno (B) em sistema agroflorestal com cana-de-açúcar, demonstrando o hábito caducifólio da espécie. Figuras C e D representam os diferentes arranjos agroflorestais (um arranjo mais espaçado e outro mais denso, respectivamente) para o cultivo de aveia preta. Características da copa das espécies Eucalipto (E) e Guapuruvu (F). Por fim, a Figura G representa um clone de Eucalipto com características morfológicas de interesse para SAFs.

Fonte: Elvis Felipe Elli.

Desse modo, o fornecimento e a distribuição da radiação solar, ao longo do perfil agroflorestal, deve ser um dos primeiros aspectos a ser considerado no planejamento destes sistemas (RIGHI; BERNARDES, 2008), que junto ao conhecimento das necessidades ecofisiológicas das espécies presentes no sub-bosque, permitem a adoção de manejos adaptativos a fim de evitar perdas excessivas na produtividade.

No início do crescimento da espécie florestal temos uma menor interceptação de radiação solar pela copa das árvores, o que favorece o crescimento e a produção das culturas presentes no sub-bosque. No entanto, com o crescimento contínuo em altura, densidade da copa e área foliar da espécie florestal, a interação entre as plantas é aumentada e isso resulta em redução na quantidade de radiação que chega até o sub-bosque. Para tanto, no início do SAF, pode-se utilizar culturas que apresentem uma maior demanda de radiação solar, diferente do que acontece quando temos um maior sombreamento, o que acontece em um SAF já estabelecido. Neste caso, a escolha por espécies que sejam mais eficientes ou apresentem certas vantagens adaptativas em ambientes sombreados é preferível.

A interceptação de radiação solar pelos SAFs pode afetar a eficiência do uso de radiação e coeficiente de extinção de luz (CAMPBELL; NORMAN, 1998), que por sua vez, pode modificar a taxa de crescimento (PINTO et al., 2005), assimilação e partição de fotoassimilados produzidos pelas espécies crescidas no sub-bosque (MENDES et al., 2013). Alguns trabalhos demonstram que a eficiência do uso da radiação solar (EUR, g MJ⁻¹) é maior em plantas cultivadas no sub-bosque, comparado àquelas crescidas a pleno sol (CARON et al., 2014; NARDINI et al., 2019). Entretanto, na maioria das vezes, esse aumento da EUR não é capaz de compensar a redução expressiva da quantidade de radiação solar que chega ao interior do dossel. O entendimento desse balanço é um dos pontos primordiais para a manutenção da produtividade das culturas anuais em níveis satisfatórios, quando inseridas em SAFs.

A quantificação da radiação solar no sub-bosque dos SAFs é essencial e permite que o produtor possa otimizar planejamento e implantação do sistema visando melhor aproveitamento dessa variável meteorológica. Essa medida também auxilia na tomada de decisões importantes quanto às estratégias de manejo. A medida da radiação pode ser considerada de certa forma simples e de baixo custo. A mensuração deve ser realizada ao longo do tempo e espaço (por exemplo, mensurações em diferentes horários do dia e em diferentes pontos do sub-bosque), a fim de verificar a interceptação de radiação pelo componente arbóreo, e assim, observar a quantidade de radiação incidente no interior do sistema agroflorestal, ou seja, o quanto de radiação solar está chegando até as plantas do sub-bosque.

Sabendo da importância e dos benefícios proporcionados pelo uso de sistemas integrados de produção, os autores deste livro acreditam que as informações apresentadas ao longo dos capítulos podem auxiliar os produtores e extensionistas responsáveis pela aplicação do conhecimento a fim de maximizar a produção, promover o desenvolvimento econômico, social e contribuir para a intensificação sustentável dos sistemas agrícolas

brasileiros. Os SAFs são sistemas complexos e o conhecimento técnico-científico é o principal meio de superar os desafios impostos por estes sistemas. É importante destacar que grande parte das informações presentes neste livro são baseadas em artigos científicos oriundos de projetos de pesquisa dos próprios autores e de colegas que se dedicam para gerar conhecimento nesta área de estudo.

1.4 Referências bibliográficas

- ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 50-59, 2008.
- BAGLEY, W. T. Agroforestry and windbreaks. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 583-591, 1988.
- BINKLEY, D. *et al.* The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 405, p. 271-283, 2017.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Silvopastoral system with Eucalyptus as a strategy for mitigating the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 92, 2020.
- BROOKER, R. W. *et al.* Improving intercropping: a synthesis of research in agronomy, plant physiology and ecology. **New Phytologist**, London, v. 206, p. 107-117, 2015.
- CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. The light environment of plant canopies. *In: An Introduction to Environmental Biophysics*. New York: Springer, p. 247-278, 1998.
- CARON, B. O. *et al.* Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* A. ST. HIL. cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, p. 257-265, 2014.
- CARON, B. O. *et al.* Dynamics of solar radiation and soybean yield in agroforestry systems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3799-3812, 2018.
- CARON, B. O. *et al.* Agroforestry systems and understory harvest management: the impact on growth and productivity of dual-purpose wheat. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 91, n. 4, 2019.
- CHANG, J. Climate and Agriculture. *In: MOLLISON, B. Permaculture a Designers' Manual*. Chicago: Aldine Pub. Co., 112 p., 1968.
- CONG, W. F. *et al.* Intercropping enhances soil carbon and nitrogen. **Global Change Biology**, Nova Jersey, v. 21, p. 1715-1726, 2014.

- ELLI, E. F. *et al.* Productive, morphological and qualitative characteristics of sugarcane in the understory tree species in agroforestry systems. **African Journal of Agricultural Research**, [S. l.], v. 11, n. 17, p. 1576-1584, 2016.
- ELLI, E. F. *et al.* Ecofisiologia da cana-de-açúcar no sub-bosque de canafístula em arranjos de sistema agroflorestal. **Comunicata Scientiae**, Bom Jesus, v. 7, n. 4, p. 464-472, 2016.
- ELOY, E. *et al.* Effect of planting age and spacing on energy properties of *Eucalyptus grandis* W. Hill EX Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 40, n. 4, p. 749-758, 2016.
- ELOY, E. *et al.* Age and tree spacing and their effects on energy properties of *Ateleia glazioviana*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 9, 2017.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Agroforestry for landscape restoration: Exploring the potential of agroforestry to enhance the sustainability and resilience of degraded landscapes**. Rome, Italy, 22 p, 2017.
- GODFRAY, H. C. J. *et al.* Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, Nova Iorque, v. 327, p. 812-818, 2010.
- LI, Q. Z. *et al.* Over yielding and interspecific interactions mediated by nitrogen fertilization in strip intercropping of maize with faba bean, wheat and barley. **Plant and Soil**, [S. l.], v. 339, p. 147-161, 2011.
- LUEDELING, E. *et al.* Field-scale modeling of tree-crop interactions: Challenges and development needs. **Agricultural Systems**, [S. l.], v. 142, p. 51-69, 2016.
- LUNDGREN, B. O.; RAIN TREE, J. B. Sustained agroforestry. *In*: NESTEL, B. **Agricultural Research for Development: Potentials and Challenges in Asia**. The Hague, ISNAR, p. 37-49, 1982.
- MAKUMBA, W. *et al.* The long-term effects of a gliricidia-maize intercropping system in southern Malawi, on gliricidia and maize yields, and soil properties. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 116, p. 85-92, 2006.
- MENDES, M. M. S. Desenvolvimento do milho sob influência de árvores de pau branco em sistema agrossilvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 48, n. 10, p. 1342-1350, 2013.
- MULLER, M. D. *et al.* Desenvolvimento vegetativo de pinhão manso em diferentes arranjos de plantio em sistemas agrossilvipastoris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, n. 7, p. 506-514, 2014.
- NAIR, P. K. R. **An introduction to Agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 499 p., 1993.

- NAIR, P. K. R. Tropical agroforestry systems and practices. *In*: FURTADO, J. I.; RUDDLE, K. **Tropical resource ecology and development**. John Willey Ed Chichester - Inglaterra: ICRAF, 39 p., 1984.
- NARDINI, C. *et al.* Growth and solar radiation use efficiency of corn cultivated in agroforestry systems. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, [S. l.], v. 31, n. 7, p. 535-543, 2019.
- NGUYEN, Q. *et al.* Multipurpose agroforestry as a climate change resiliency option for farmers: an example of local adaptation in Vietnam. **Climatic Change**, [S. l.], v. 117, p. 241-257, 2013.
- PAULA, P. D. D. *et al.* Decomposição das podas das leguminosas arbóreas *Gliricidia sepium* e *Acacia angustissima* em um sistema agroflorestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 791-800, 2015.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 1, p. 110-119, 2015.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**, [S. l.], v. 79, p. 103-111, 2019.
- PINTO, L. F. G. *et al.* Growth, yield and system performance simulation of a sugarcane-eucalyptus interface in a subtropical region of Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 105, n. 1, p. 77-86, 2005.
- RIGHI, C. A. Sistemas Agroflorestais: definição e perspectivas. *In*: **Cadernos da Disciplina de Sistemas Agroflorestais**, Piracicaba, São Paulo, v. 2, p. 1-208, 2015.
- RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. Sistemas Agroflorestais. *In*: **Cadernos da Disciplina de Sistemas Agroflorestais**, Piracicaba, São Paulo, v. 1, p. 1-5, 2018.
- RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. Disponibilidade de energia radiante em um sistema agroflorestal com seringueiras (*hevea* spp.): produtividade do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 533-540, 2008.
- SALTON, J. C. *et al.* Integrated crop livestock system in tropical Brazil: toward a sustainable production system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 190, p. 70-79, 2013.
- SCHWERZ, F. *et al.* Yield and qualitative traits of sugarcane cultivated in agroforestry systems: Toward sustainable production systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, [S. l.], v. 34, n. 4, p. 280-292, 2019.
- SCHWERZ, F. *et al.* Plant growth, radiation use efficiency and yield of sugarcane cultivated in agroforestry systems: An alternative for threatened ecosystems. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 90, n. 4, p. 3265-3283, 2018.

- SEPÚLVEDA, B. R.; CARRILLO, A. A. Soil erosion and erosion thresholds in an agroforestry system of coffee (*Coffea arabica*) and mixed shade trees (*Inga* spp and *Musa* spp) in Northern Nicaragua. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [S. l.], v. 210, p. 25-35, 2015.
- TAVARES, M. F. Sistema agroflorestal como alternativa de produção para agricultura familiar. *In: Cadernos da Disciplina de Sistemas Agroflorestais*, Piracicaba, São Paulo, v. 2, p. 95-108, 2018.
- TRACY, B. F.; ZHANG, Y. Soil compaction, corn yield response, and soil nutrient pool dynamics within an integrated crop-livestock system in Illinois. **Crop Science**, [S. l.], v. 48, p. 1211-1218, 2008.
- VANDERMEER, J. H. **The Ecology of Agroecosystems**. Boston, MA, USA: Jones and Bartlett Publishers, 387 p., 2011.
- VIVAN, J. L.; FLORIANI, G. S. Construção participativa de indicadores de sustentabilidade em sistemas agroflorestais em rede na Mata Atlântica. *In:*
- VILCAHUAMÁN, L. J. M. et al. **Sistemas Agroflorestais e desenvolvimento com proteção ambiental: práticas e tecnologias desenvolvidas**. Colombo: Embrapa Florestas, p. 9-34, 2006.
- ZHANG L. *et al.* Growth, yield and quality of wheat and cotton in relay strip intercropping systems. **Field Crops Research**, [S. l.], v. 103, p. 178-188, 2007.