

Ideótipo arbóreo para Sistemas Agroflorestais

Adenio Louzeiro de Aguiar Junior ^{1*} Gustavo Mattos Abreu ² Silvio Nolasco de Oliveira Neto ²
Denys Matheus Santana Costa Souza ¹ Amana de Magalhães Matos Obolari ² Bruna Duque
Guirardi ² Lucas Amaral de Melo ¹

¹Universidade Federal de Lavras, Av. Doutor Sylvio Menicucci, 1001 - Aqueanta Sol, CEP 37200-000, Lavras, MG, Brasil

²Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, CEP 36570-900, Viçosa, MG, Brasil

Review

*Corresponding author:
adenio57@gmail.com

Keywords:

Tree component

Selection of forest species

Crown morphology

Integrated crop-livestock-
forestry

Palavras-chave:

Componente arbóreo

Seleção de espécies florestais

Morfologia de copa

Integração lavoura-pecuária-
floresta

Received in

2020/08/04

Accepted on

2021/19/03

Published in

2021/06/30



DOI: <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v8i1.10913>



RESUMO: Os Sistemas Agroflorestais (SAF) são reconhecidamente modelos de exploração de solos que mais se aproximam ecologicamente da floresta natural e, por isso, considerados como importante alternativa de uso sustentado do ecossistema tropical úmido. Os aspectos morfológicos da espécie florestal presente nesse sistema são fatores relevantes, dada a interação com os demais componentes do SAF. Por meio do presente estudo, objetiva-se realizar uma revisão bibliográfica sobre o ideótipo morfológico para espécies arbóreas na composição de Sistemas Agroflorestais. Os aspectos de copa do componente florestal definem o nível de sombreamento que será imposto aos demais integrantes do sistema, determinando em grande parte a finalidade do SAF e a produção de todo o sistema. As particularidades do tronco e do sistema radicular do componente florestal também devem ser avaliadas considerando-se o objetivo final do SAF, pois enquanto as características do tronco podem definir o momento de inserção do componente animal, o sistema radicular será determinante em outras variáveis, como a ciclagem de nutrientes e o grau de competição com o componente agrícola e/ou forrageiro. Sendo assim, a escolha da espécie florestal na composição do SAF deve ser ponderada, visando atender aos aspectos técnicos, econômicos, ambientais e sociais do sistema adotado.

Arboreal ideotype for agroforestry systems

RESUMO: Agroforestry Systems (AFS) are recognized models of soil exploration that most ecologically approach the natural forest and, therefore, considered as an important alternative for the sustainable use of the humid tropical ecosystem. The morphological aspects of the forest species present in this system is a relevant factor, given its interaction with the other components of AFS. Through the present study, a bibliographical review on morphological ideotype for tree species in agroforestry systems was carried out. The canopy aspects of the forest component define the level of shading that will be imposed on the other members of the system, largely determining the purpose of AFS and production of the entire system. The forest component particularities of stem and root system should also be evaluated considering the ultimate objective of AFS. While this part defines the moment of insertion of animal component, it stipulates the cycling of nutrients in the system, as well as the degree of competition with the agricultural and/or fodder component. Therefore, the choice of forest species in the composition of AFS should be considered in order to take into account the technical, economic, environmental and social aspects of the adopted system.

Introdução

O sistema agroflorestal (SAF) deve ser compreendido como um modelo de produção que visa associar o cultivo, ou o manejo, de espécies arbóreas integradas com culturas agrícolas na presença ou ausência de animais em uma mesma unidade de área, de forma simultânea ou escalonada ao longo do tempo (Nair, 1993).

Dentre as inúmeras funções e benefícios que são gerados pelos SAF, destacam-se melhorias na fertilidade e estrutura física do solo, das condições microclimáticas e ecológicas para produção das culturas, além de adicionar múltiplos produtos na área de cultivo, com possíveis aumentos na produção total por unidade de área (Santiago *et al.*, 2013; Stone *et al.*, 2015).

Existem vários modelos de SAF, os quais podem apresentar diversas combinações e estruturas entre os seus componentes (arbóreo, agrícola, forrageiro e ou animais). Dessa maneira, todas as variáveis individuais de cada um dos componentes devem ser consideradas, sobretudo as características morfológicas do componente arbóreo, pois a escolha equivocada da espécie arbórea pode comprometer aspectos técnicos cruciais para a viabilidade de todo o sistema.

A implantação de culturas arbóreas sem prévio estudo de suas particularidades pode promover interações indesejadas em toda a área de cultivo, podendo acarretar prejuízos, tanto em termos de qualidade dos produtos e serviços, quanto em produtividade total do sistema adotado (Coelho e Oliveira, 2009; Stahl e Pearsall, 2012; Karungi *et al.*, 2015).

Dada a importância da escolha adequada do componente arbóreo utilizado no SAF, identifica-se o surgimento de um conceito ainda pouco explorado nos trabalhos científicos, denominado ideótipo arbóreo. O termo ideótipo pode ser entendido como a escolha da espécie, baseada em aspectos morfológicos e fisiológicos, que proporcionará, de maneira previsível, maior quantidade e qualidade de bens e serviços em um ambiente com condições ecológicas, edáficas e climáticas de relativo conhecimento prévio (Donald, 1968).

O ideótipo arbóreo pode ser dividido nas categorias de ideótipo isolado, competitivo, cultural e associativo (Donald, 1968; Wood e Burley, 1991; Martinez *et al.* 2010). Para a composição de um SAF, sugere-se a adoção do ideótipo arbóreo associativo, o qual deverá apresentar desempenho adequado em seu crescimento e produção quando em ambientes com uma ou mais espécies cultivadas simultaneamente, podendo ainda promover serviços ambientais, edáficos e microclimáticos, que culminarão em aumento na produtividade e

qualidade das outras culturas e/ou animais que compõem o SAF.

Alguns trabalhos (Macdicken e Vegara, 1990; Wood e Burley, 1991; Profírio-Da-Silva, 2016) tentaram introduzir o conceito de ideótipo arbóreo em modelos de SAF. No entanto, ainda não há clareza sobre os aspectos de avaliação das características que devem ser levados em consideração no momento da implantação do sistema agroflorestal. Tais características podem ser divididas em morfológicas e fisiológicas, sendo o estudo de morfologia (tronco, copa e raiz) das árvores inseridas nos SAF crucial para a escolha do ideótipo arbóreo mais adequado para cada situação.

Assim, por meio desta revisão de literatura, objetiva-se realizar um estudo aprofundado sobre o ideótipo morfológico de espécies arbóreas para composição de Sistemas Agroflorestais.

Estruturas e caracterização morfológica da copa arbórea em SAF

Conceituação para crescimento, forma e geometria da copa arbórea

As estruturas de copa das espécies arbóreas exercem considerável influência sobre o nível de sombreamento do sistema, uma vez que as copas podem variar entre indivíduos e entre espécies, permitindo maior ou menor incidência de radiação solar nos estratos que se encontram sob o dossel do componente arbóreo (Hardy *et al.*, 2004).

A implantação do componente arbóreo no SAF sem prévio detalhamento das características morfológicas de sua estrutura de copa, como a altura, densidade e o diâmetro da mesma, pode acarretar prejuízos em termos produtivos de todo o sistema (Meloni, 1998). Assim, a espécie arbórea que possui crescimento padronizado de sua estrutura de copa apresenta vantagem em um SAF, permitindo estimar o nível de sombreamento do sub-bosque e as interações que podem ocorrer entre os componentes do sistema.

As copas das árvores podem ser separadas em dois tipos de arquitetura, a simpodial e a monopodial. A arquitetura simpodial tem o “esgalhamento” do tronco sem um padrão estabelecido, a qual pode modificar-se facilmente em resposta às condições ambientais locais. Plantas com arquitetura monopodial possuem copas com crescimento padronizado, troncos verticais e retos (Seitz, 1996; Souza *et al.*, 2006). Na Figura 1 é possível verificar a arquitetura de copa para duas espécies arbóreas, monopodial (Figura 1A) e simpodial (Figura 1B).

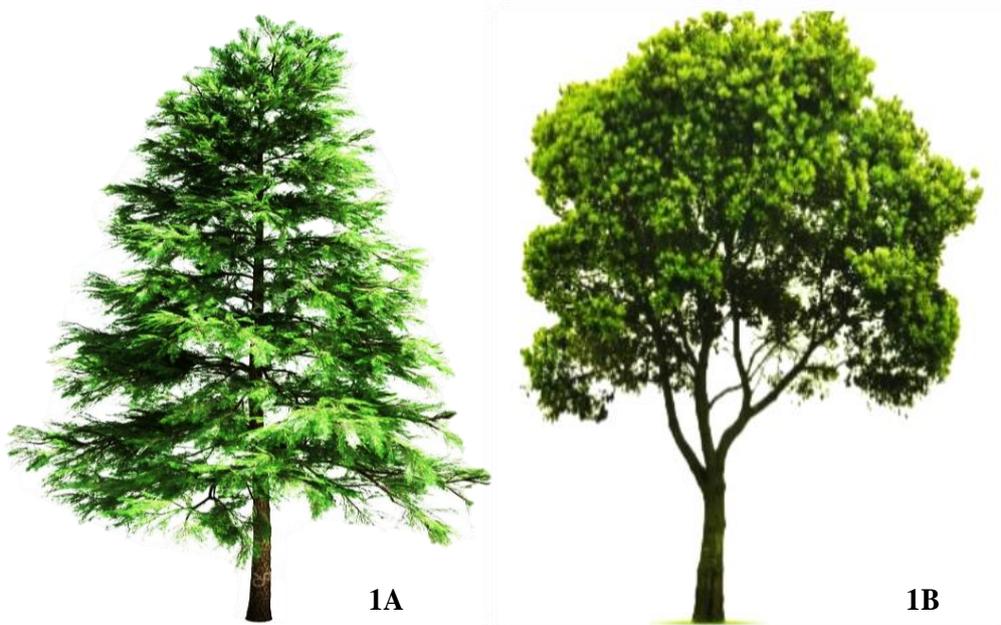


Figura 1. Arquiteturas de copa monopodial (1A) e simpodial (1B) (adaptado de Encinas et al., 2002).

Nos dois modelos de arquitetura de copa a direção de crescimento é de fundamental importância para que os padrões arquitetônicos sejam compreendidos. Na Figura 2 estão ilustrados os possíveis sentidos de crescimento da copa. Nota-se que árvores monopodiais possuem apenas o sentido acrópeto (Figura 2A), enquanto as

simpodiais podem possuir direção tanto no sentido acrópeto (Figura 2B), quanto no sentido plágioatrópico (Figura 2C). O crescimento acrópeto refere-se ao crescimento no sentido vertical, enquanto o plagiotrópico possui crescimento lateral, podendo sua direção tornar-se vertical caso o ambiente seja propício para isso.

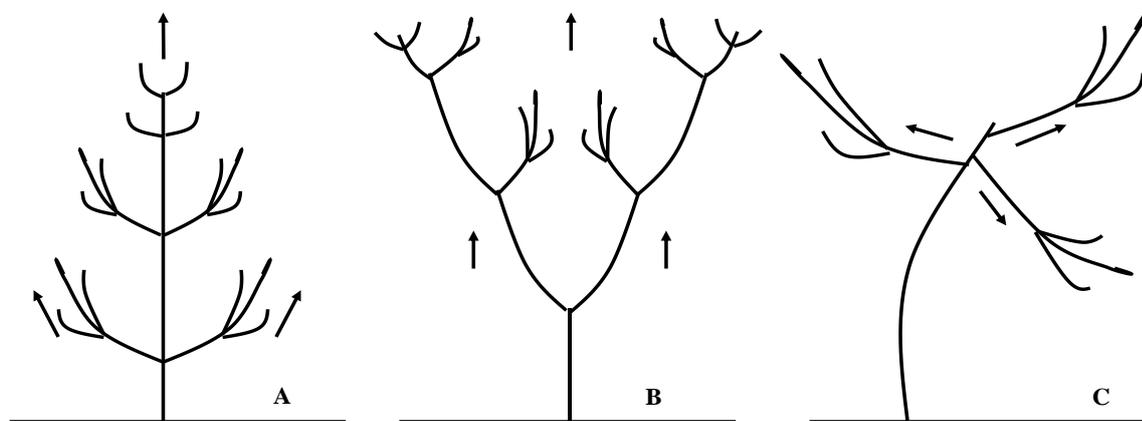


Figura 2. Modelos arquitetônicos da estrutura de copa conforme seu sentido de crescimento. A - monopodial com sentido acrópeto; B - simpodial com sentido acrópeto; C - simpodial com sentido plágioatrópico (adaptado de Seitz, 1996).

A geometria da copa também deve ser um fator avaliado no momento de implantação do SAF, pois sua forma irá influenciar diretamente na área e na posição da sombra gerada. Silva (2006) aborda seis modelos de copa conforme sua forma geométrica, sendo eles: esférica, lentiforme,

cilíndrica, cônica, cônica invertida e elipsoide. Na Figura 3 é possível observar alguns modelos geométricos para a estrutura de copa. Na Figura 4, nota-se a diferença entre a geometria de copa de duas espécies arbóreas e como o efeito da projeção da sombra é influenciada pela estrutura da copa.



Figura 3. Diferentes modelos geométricos de estrutura de copa para as espécies arbóreas (Pixabay, 2018).

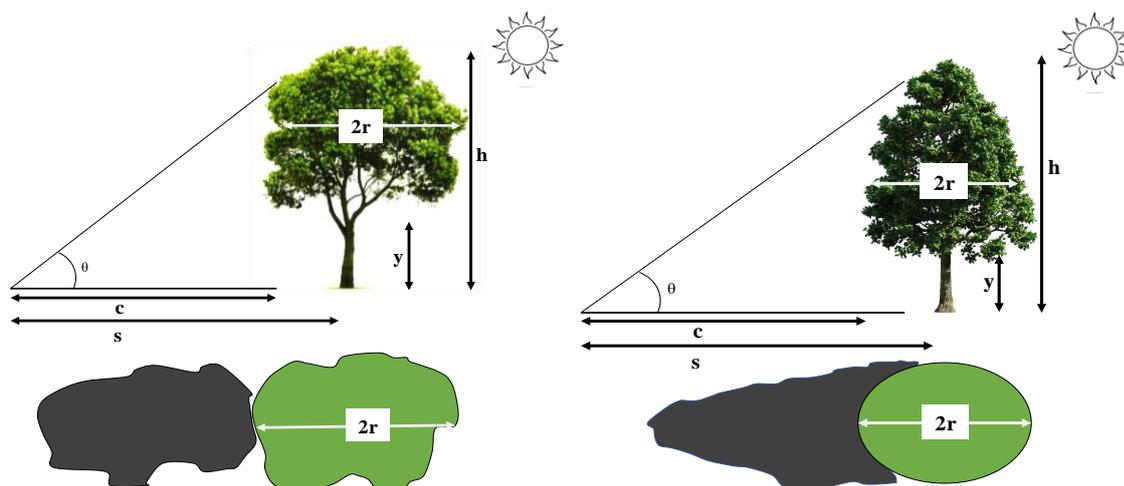


Figura 4. Forma geométrica para duas espécies e projeção da sombra promovida pela estrutura de copa. h - altura total da planta; y - altura do tronco da árvore; 2r – diâmetro da copa; c - projeção da sombra da copa; s - projeção de sombra da árvore; θ - ângulo de projeção da sombra. Adaptado de Silva (2006).

Morfometria da copa arbórea como meio de estimar a eficiência da espécie florestal em SAF

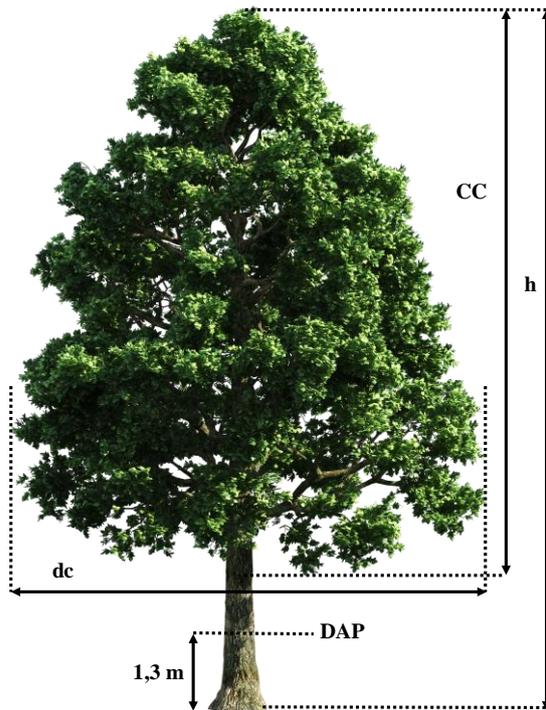
De maneira geral, as copas das árvores podem apresentar formas variadas entre espécies ou genótipos distintos, tornando o estudo da morfometria de copa importante para o entendimento das funções que tal estrutura desempenha na planta ou como ela pode interferir nas relações de competição com outras árvores e outros componentes do SAF. A morfometria é entendida como a relação entre as possíveis variáveis morfológicas mensuráveis das plantas arbóreas (Roman *et al.*, 2009). Alguns parâmetros morfométricos podem ser visualizados na Figura 5.

No trabalho realizado por Condé *et al.* (2013), foram utilizadas quatro espécies florestais em Sistemas Agroflorestais na região da Amazônia. Estes autores identificaram que as formas das copas se diferenciaram-se entre si, influenciando de maneira distinta a competição entre as árvores que compunham o sistema e alterando o arranjo espacial adequado (espaço vital) para cada espécie ao longo dos anos de cultivo.

Condé *et al.* (2013) ainda observaram que, entre as quatro espécies testadas, sendo elas *Carapa guianensis* (Andiroba), *Bertholletia excelsa* (Castanheira do Brasil), *Copaifera langsdorffii* (Copaíba) e *Swietenia macrophylla* (Mogno Brasileiro), a que apresentou os maiores valores para

proporção de copa foi o Mogno Brasileiro. Além disso, foi constatada uma semelhança entre a porcentagem de copa, índice de abrangência da copa e forma da copa para as espécies Mogno Brasileiro e

Andiroba, o que permitiu aos autores sugerir plantios adensados ao invés de SAF para essas duas espécies, a fim de que elas tenham maior eficiência de utilização de copa.



Onde:

cc= comprimento de copa (m);

h= altura total (m);

dc= diâmetro de copa (m);

$dc * \pi/4 =$ área de copa(m²);

DAP= diâmetro a altura de 1,3 m (m);

$cc/h * 100 =$ proporção de copa (%);

$h/DAP =$ grau de esbeltez;

$dc/DAP =$ índice de saliência;

$dc/h =$ índice de abrangência;

$dc/cc =$ forma da copa.

Figura 5. Modelo arbóreo e possíveis relações morfométricas (adaptado de Roman et al., 2009).

Tumwebaze *et al.* (2013) demonstraram a importância das relações entre a copa e outras estruturas da árvore. Eles conseguiram estimar, por meio de equações alométricas, a produção de biomassa da parte aérea para quatro espécies arbóreas em um SAF em Uganda, onde o diâmetro da copa foi introduzido em modelos matemáticos para promover melhorias na estimação de modelos estatísticos quanto a aspectos produtivos, como o crescimento em DAP. Ainda nesse estudo, houve diferença para a largura da copa entre as espécies testadas (*Markhamia lutea*, *Casuarina equisetifolia*, *Maesopsis eminii* e *Grevillea robusta*), onde *M. lutea* apresentou menor diâmetro e densidade de copa entre as espécies estudadas, ao passo que *G. robusta* obteve os maiores valores para essas duas características.

Influência dos genótipos na estrutura de copa e em sua relação com os demais componentes do SAF

Espécies arbóreas que possuem diâmetro de copa elevado e sem uma forma pré-definida podem proporcionar mudanças significativas nos fatores ambientais locais, não sendo possível prever, com clareza, quais possíveis modificações na qualidade do solo e no microclima. Portanto, torna-se essencial o conhecimento prévio do comportamento

morfológico da estrutura de copa para que o modelo aplicado ao SAF seja o mais assertivo possível.

De uma maneira geral, a abrangência da copa pode determinar a área de mudança microclimática e a qualidade do solo no local de implantação de um SAF. Uribe *et al.* (2015) avaliaram a influência das copas de *Quercus ilex* sobre os aspectos de respiração microbiana e estoque de C e N do solo em um Sistema Silvopastoril na região central da Espanha. Os autores identificaram que o componente arbóreo do sistema promoveu alteração significativa do microclima local, de modo que a respiração da microbiota do solo foi superior sob as copas das árvores, quando comparadas com as áreas controles (sem influência do componente arbóreo).

A estrutura da copa também deve ser entendida como um fator de promoção do bem-estar animal em Sistema Silvopastoril e Agrossilvipastoril. Este aspecto deve possuir forte impacto na decisão sobre qual espécie arbórea utilizar no sistema, pois dependendo da espécie, é possível que haja maior ou menor benefício ao animal em função das características morfológicas de suas copas.

Entre as espécies que possuem destaque na composição de SAF, as pertencentes ao gênero *Eucalyptus* são comumente utilizadas, sendo que grande parte delas possuem estrutura de copa que favorece o nível de sombreamento adequado ao

sistema. Tais vantagens podem ser motivadas pela forma de crescimento da copa dessas espécies, que geralmente são bem definidas e pouco densas (Paciullo *et al.*, 2007). Contudo, também é evidente diferenças das estruturas de copa entre as espécies do

gênero *Eucalyptus* (Bernardo, 1995). Na Figura 6 observa-se como a densidade e o diâmetro de copa variam entre três espécies de eucalipto em dois arranjos espaciais.

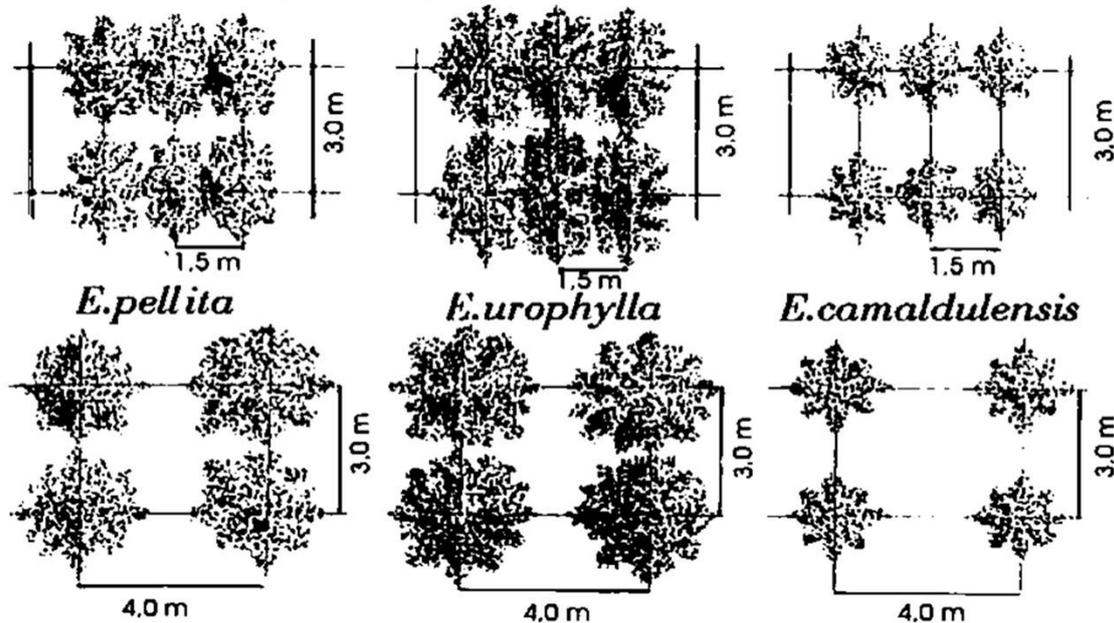


Figura 6. Estrutura de copa para três espécies de eucalipto em dois arranjos espaciais (Bernardo 1995).

É possível caracterizar aspectos de copa para o eucalipto e demonstrar os benefícios estruturais de sua parte aérea (Radeesma *et al.* 2006), assim como para se estabelecer limites aceitáveis de interação entre o componente arbóreo e os demais do sistema (Pereira *et al.* 2015), seja com culturas agrícolas anuais e semi perenes ou mesmo com forrageiras e animais.

Em SAF na Costa Rica, onde foi estabelecido o cultivo do café arábica com três espécies arbóreas (*Eucalyptus deglupta*, *Terminalia ivorensis* e *Erythrina poeppigiana*), observou-se que o café respondeu de maneira diferenciada para os níveis de sombreamento estabelecidos para cada uma das espécies arbóreas, sendo o eucalipto a que proporcionou melhor desempenho em termos de produtividade do cafeeiro. Entre outras explicações, os autores identificaram que existem variações no nível de sombreamento proporcionado pela estrutura das copas, sendo notados menores valores para projeção da copa, área basal da copa e índice de área foliar para a espécie de eucalipto (Kanten e Vaast, 2006).

É importante ressaltar que se devem evitar generalizações na implantação de espécies do gênero *Eucalyptus*, pois a escolha da espécie arbórea para composição de um SAF deve ser baseada nas especificidades de cada modelo aplicado, tendo várias espécies com grande potencial de implantação.

Leme *et al.* (2005), estudando um sistema silvipastoril, constataram que os animais apresentaram preferências quanto as espécies arbóreas implantadas. Neste mesmo experimento, os autores observaram que a preferida pelos animais como abrigo foi a *Acacia mangium*, em comparação com *Acacia angustissima*, *Acacia auriculiformis*, *Albizia guachapelle*, *Albizia lebbek*, *Anadenanthera sp.*, *Dalbergia nigra*, *Eritrina sp.*, *Gliricidia sepium*, *Enterolobium contortisiliquum*, *Caesalpinia ferrea*, *Piptadenia sp.* Contudo, os autores não discutiram as variáveis dendrométricas das árvores, como altura total, diâmetro do fuste e densidade de copa, o que, em partes, poderia explicar a preferência dos animais pelas citadas espécies arbóreas. vale destacar também que essa preferência dos animais pode variar com o decorrer do crescimento das árvores, em função de características como sombreamento proporcionado pela copa e oferta de alimentos.

Aspectos gerais do tronco arbóreo em SAF

O tronco do componente arbóreo em um SAF pode exercer forte influência sobre a escolha da espécie de interesse a se utilizar no sistema. Novamente, a exemplo da estrutura de copa, o objetivo do SAF deve ser o principal fator para a determinação do ideótipo arbóreo quanto a este aspecto. Isso é possível de ser verificado, principalmente, em termos de produção madeireira, uma vez que grande parte dos desenhos

agrofloretais se dá objetivando a produção de madeira.

O alto índice de ramificação do tronco em espécies arbóreas é tido como um fator negativo em modelos agrofloretais com objetivo de produção madeireira, pois essas ramificações tendem a maior expressividade em espaçamentos amplos. Assim, essas ramificações passam a influenciar diretamente no sombreamento exercido pelo componente arbóreo do sistema, na porção do tronco utilizada comercialmente (fuste), além de apresentar prejuízos da ordem de diâmetro mínimo de utilização e colheita mecanizada.

Para os casos em que o uso da espécie arbórea é definida com objetivos específicos, como para cobertura, proteção do solo, potencialização da ciclagem de nutrientes pela adubação verde (Meirelles e Souza, 2015), uso de banco forrageiro (Campanha *et al.*, 2011), produção de lenha e a utilização arbórea como quebra ventos (Eiras e Coelho, 2011), as espécies que apresentam muitas ramificações podem ser empregadas como alternativa interessante.

Em SAF onde tinha-se como objetivo a produção madeireira, existe um fator imprescindível para garantir a viabilidade técnica do sistema, que é a taxa de crescimento inicial da espécie em termos de altura total e diâmetro a altura de 1,3 m. Oliveira Neto *et al.* (2010) mencionam que nesses sistemas o momento adequado para inserir os animais na área do consórcio ocorre quando as árvores apresentam altura mínima de 2,5 m, dado que a partir desta, dificilmente ocorrerão danos severos ao componente arbóreo, seja por ramoneio ou pisoteio. Rangel *et al.* (2008) indicam que o ramoneio de ramos e folhas é algo esperado nesses sistemas, em especial quando os galhos estão ao alcance dos animais.

Árvores com ritmo de crescimento inicial acelerado, em comparação a outras espécies arbóreas, possuem menor risco de sofrerem herbivoria pelos animais em Sistemas Silvopastoril, sendo que tal prática afeta significativamente o desenvolvimento do componente arbóreo. Chabot e Hicks (1982) citam como danos da herbivoria a perda de tecido fotossintetizante, redução de produtividade e gastos energéticos com a síntese de área foliar e compostos de defesa.

Espécies que possuem crescimento inicial acelerado permitem o adiantamento de práticas comuns ao SAF, como a entrada de animais na área. Caso a espécie utilizada apresente crescimento em altura e diâmetro lento, maior será o custo com práticas culturais, como controle de mato competição, além de ocorrer subutilização da área, uma vez que ao introduzir outros componentes, sobretudo o animal, elevam-se os riscos de danos de ordem física e competitiva ao componente arbóreo do sistema (Jeromini *et al.* 2017).

Sabe-se que grande parte dos danos causados ao tronco do componente arbóreo em sistemas

silvipastoris provém do comportamento animal. No entanto, existem espécies que são resistentes aos possíveis danos, bem como menos preferencialmente atacadas pelo componente animal. Guerreiro *et al.* (2015), testaram genótipos de eucalipto e observaram que os animais promoviam danos de ordem física no tronco das plantas, sendo que os clones do *Eucalyptus grandis* foram os mais afetados, porém, eles não tiveram comprometimento quanto aos aspectos fisiológicos da planta. Os autores ainda identificaram que apenas duas árvores tiveram seu tronco quebrado por força exercida pelos animais, sendo considerado um dano pequeno à produtividade.

Ao avaliar danos físicos e de ramoneio causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para Sistemas Silvopastoris, Porfírio-Da-Silva *et al.* (2012) observaram que todas as árvores quebradas pelos animais apresentavam diâmetro à altura do peito (DAP) inferior a 6 cm. Os danos físicos, promovidos pelo componente animal ao componente arbóreo, são comuns nos SAF (Figura 7).

Assim, é possível, de acordo com a espécie utilizada, que partes do tronco sejam ingeridos pelos animais presentes na área. Além do esperado dano causado à árvore, a ingestão de material lenhoso pode provocar diversas complicações a saúde do animal. O material lignificado possui restrições no processo digestório, além de conter substâncias químicas que podem causar efeitos tóxicos ao organismo, ou mesmo provocar a embolia dos animais (Porfírio-Da-Silva *et al.* 2009).

Outro aspecto relevante, e em muitos casos negligenciado é a nutrição dos animais, em especial de bovinos, a qual deve ser observada, dado que a deficiência de minerais, em especial de Na e P, apresentam como principal sintoma o “apetite depravado”, o que pode influenciar os animais a causar danos às árvores por meio da predação das mesmas na busca de suprir a carência por determinados elementos essenciais (Mcdowell, 1999).

Além da influência promovida pelos animais nos sistemas, é importante ressaltar que ocorrem efeitos competitivos por parte dos componentes agrícolas sobre o componente arbóreo. Deste modo, conforme estudo realizado por Paul e Weber (2016), foi constatado que a presença da cultura agrícola influenciou o índice de sobrevivência, conforme a espécie arbórea testada. No referido trabalho, verificou-se que a *Astronium graveolens* e a *Cedrela odorata* tiveram alto índice de sobrevivência, respectivamente 90% e 97%, mesmo na presença de diferentes arranjos agrícolas, enquanto a *Hieronyma alchorneoides* obteve alto índice de mortalidade, com apenas 37% de sobrevivência, quando adicionado o componente agrícola ao sistema.



Figura 7. Danos causados ao caule de *Eucalyptus dunnii* por caprinos (Gonzales, 2016).

A principal hipótese para os resultados observados por Paul e Weber (2016) é que as plantas se encontravam sombreadas pelas culturas agrícolas, principalmente pelo milho. Consequentemente, a partir do momento em que houve redução do nível de sombreamento do sistema, ocasionado pela colheita do milho, as plantas entraram em estresse por falta de adaptação ao ambiente luminoso e aos aumentos no déficit de pressão de vapor do ar. Portanto, é possível que o rápido crescimento do tronco da espécie arbórea em SAF pode minimizar o grau de competição sofrida pela mesma, por meio da sobreposição de sua copa as culturas agrícolas implantadas. Isso ocorre devido a presença de mecanismos adaptativos desenvolvidos ao longo de todo o seu crescimento e desenvolvimento, de modo a aumentar sua chance de sobrevivência.

Com o aumento das preocupações ambientais, e consequentemente aumento dos incentivos a práticas de mitigação dos gases promotores do efeito estufa, a estocagem de carbono (C) por meio de plantios de espécies arbóreas apresenta-se como promissora estratégia para implantação de um SAF (Calfapietra *et al.*, 2010). Nesse aspecto, táticas para quantificar o C armazenado nos componentes arbóreos deve ser uma medida a se levar em consideração quanto aos serviços exercidos por este componente para o sistema.

Embora o tronco seja considerado a estrutura da planta que possui maior capacidade de armazenagem de C, a porcentagem de estoque em suas partes pode alterar conforme a espécie. Como exemplo, pode-se citar a teca (*Tectona grandis*), a qual possui 61% do C armazenado na porção do fuste com casca (Almeida *et al.*, 2010), enquanto o eucalipto possui 83% do C armazenado em seu fuste (Soares e Oliveira, 2002). Deste modo, a escolha da espécie quanto a armazenagem de C em seu tronco também pode ser um fator para a escolha do ideótipo arbóreo em SAF.

Sistema radicular dos componentes arbóreos em SAF

Em relação ao ideótipo arbóreo para composição do SAF, a caracterização do sistema radicular pode apresentar-se como importante alternativa na escolha do modelo do sistema, uma vez que algumas características variam de acordo com o genótipo ou espécie utilizada, como é o caso da aquisição de nutrientes e água (Borden *et al.* 2016). No SAF, o nível de competição radicular entre os componentes tende a ser mais intenso do que em monocultivos. No entanto, essa característica pode ser considerada como um dos aspectos de maior dificuldade em se estimar, devido ser um fator de restrita avaliação, limitando muitas pesquisas a respeito.

Um dos principais meios de diferenciar o sistema radicular entre as espécies arbóreas é a porcentagem de raízes finas, as quais possuem diâmetro menor que 2 mm, existentes no sistema radicular, sendo elas as responsáveis pela maior parte da absorção de água e nutrientes. Pinheiro *et al.* (2016), estudaram a densidade de raízes finas quanto à distância e profundidade das linhas das árvores em um SAF com quatro genótipos de eucalipto, aos dois anos após o plantio. Os autores verificaram que a maior porção das raízes finas ocorreu próximo às linhas de plantio das árvores e nas camadas superficiais do solo.

Os resultados obtidos por Pinheiro *et al.* (2016) indicam a ocorrência de excessiva competição por água e nutrientes entre as árvores e os demais componentes do sistema. Assim, a presença de raízes finas a maiores profundidades (> 5 m) tende a ser uma característica vantajosa para as espécies arbóreas em SAF, pois essas plantas tendem a absorver maiores quantidades de água em períodos com baixa disponibilidade hídrica e explorarem diferentes camadas do solo, de modo a possuírem

também maiores chances de sobrevivência em períodos de seca (Battie-Laclau *et al.*, 2014).

Quando a escolha da espécie arbórea é baseada nas características do sistema radicular, é possível que haja maior aproveitamento dos recursos hídricos e nutricionais disponíveis no solo. Isso ocorre dado que o componente arbóreo e as culturas agrícolas podem ocupar camadas distintas do solo, além de que a fertilidade do solo pode ser alterada

por meio da aceleração da ciclagem de nutrientes e armazenamento da matéria orgânica do solo, promovidas pela constante renovação das raízes. Na Figura 9 é possível visualizar a exploração do solo pelas raízes em um monocultivo agrícola (Figura 8A) e em SAF (Figura 8B), enquanto na Figura 9, observa-se o padrão de distribuição das raízes de diferentes espécies de plantas.

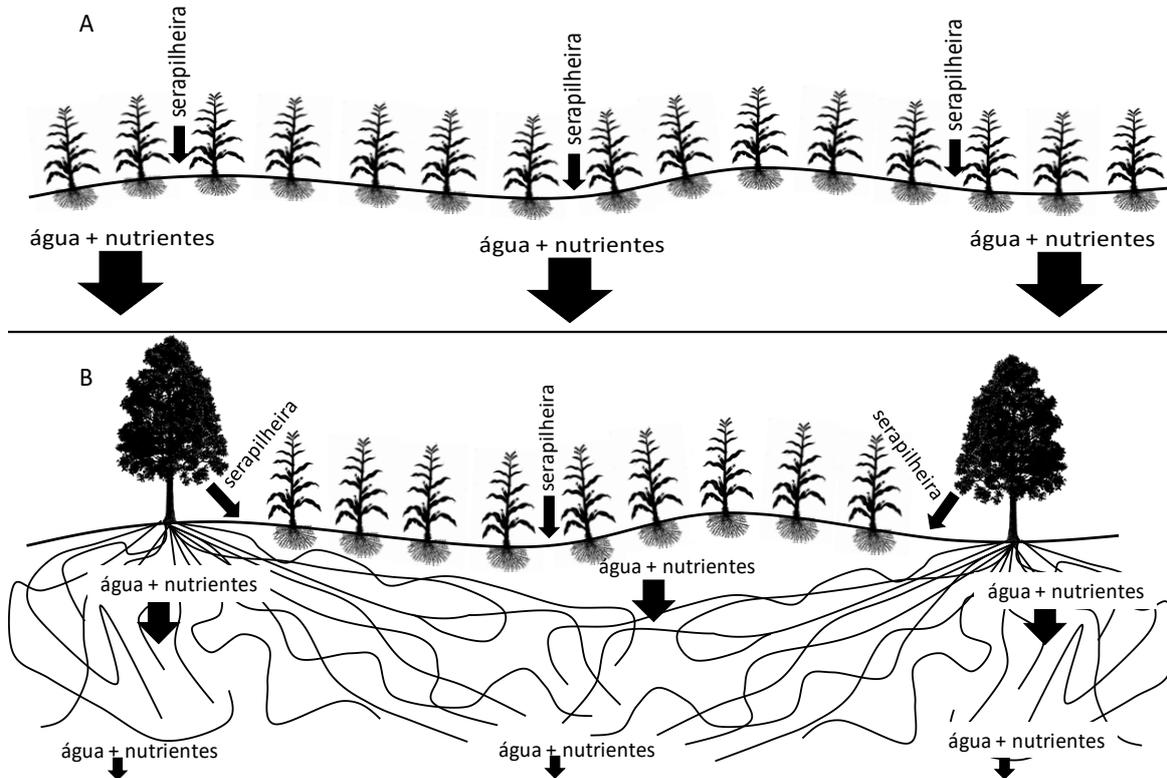


Figura 8. Distribuição e área de exploração das raízes no solo em monocultivo agrícola (8A) e em SAF (8B) (Van Noordwijk *et al.*, 1996).

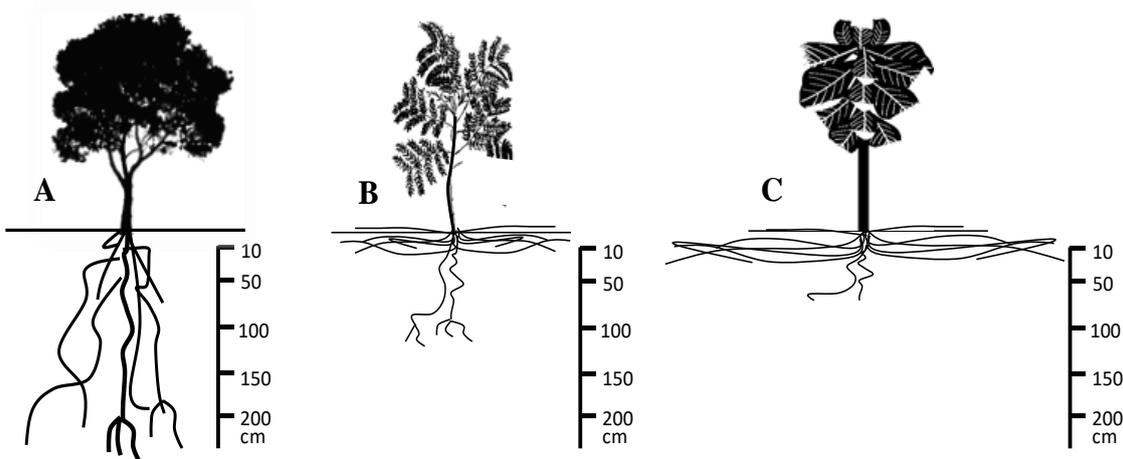


Figura 9. Padrão de distribuição de raízes no solo, conforme a espécie utilizada (Van Noordwijk *et al.*, 1996).

A taxa de crescimento do componente florestal também influencia a quantidade de raízes finas das árvores. Gonçalves (1995), avaliando o sistema radicular de *E. grandis*, observou que quanto maior a taxa de crescimento da floresta, menor era a

densidade de raízes finas nas diferentes camadas de solo. O autor ainda observou que maiores quantidades dessas raízes foram encontradas em solos de baixa fertilidade, sendo esta característica uma adaptação das plantas em busca de recursos, em especial os nutrientes.

É importante ressaltar que as diferenças nas variações no padrão de crescimento das raízes não se dão apenas entre espécies de portes distintos, como as agrícolas e arbóreas, mas também pode ocorrer entre plantas de tamanho semelhante. Reis *et al.* (2006) verificaram que em clones de diferentes híbridos de eucalipto a profundidade média das raízes apresentou diferença significativa entre os indivíduos testados, ao passo que o híbrido 1250 (*E. grandis* x *E. urophylla*) demonstrou maior densidade de raízes estabelecidas nas camadas superficiais, enquanto o híbrido 1277 (*E. grandis* x *E. camaldulensis*) apresentou a maior média em profundidade para essa variável

Interações ecológicas entre componentes de um SAF

As interações ecológicas entre os componentes de um SAF acontecem onde um componente altera, de modo positivo ou negativo, o funcionamento de um ou mais integrantes do sistema (Atangana *et al.*, 2013). O elemento arbóreo pode interagir de diferentes maneiras com os demais componentes do sistema a depender, entre outros fatores, do ambiente onde se instala o consórcio. Como exemplo, Rao *et al.* (1997) indicam que ao se consorciar espécies de diferentes portes de modo simultâneo as interações mais marcantes são em resposta às melhorias na fertilidade do solo e a competição pelos recursos de crescimento das plantas, em especial por água e nutrientes. Em condições de solos férteis e com boa disponibilidade hídrica, as melhorias na fertilidade do solo em sistemas consorciados superam os efeitos deletérios da competição entre os componentes, o que promove aumentos do rendimento das culturas em SAF quando comparados aos monocultivos. No entanto, em ambientes semiáridos e com solos ácidos e de baixa fertilidade, raramente ocorrerão benefícios nesses sistemas, devido à maior competição por água e nutrientes.

Lott *et al.* (2000) apontam que existe grande importância em se selecionar espécies arbóreas com características radiculares que apresentem complementaridade espacial de modo que não reduzam significativamente o rendimento dos demais componentes do sistema. Por mais que se espere que ocorra a exploração de diferentes camadas de solo entre culturas agrícolas/forageiras e árvores, existem situações onde ocorre intensa competição das raízes dos componentes em uma mesma camada do solo (Bayala *et al.*, 2004). Duan *et al.* (2019) encontraram resultados interessantes ao avaliar o comportamento das raízes de plantas de *Juglans regia* e *Triticum aestivum* em monocultivo e SAF. Foi observado que o sistema consorciado proporcionou redução de maneira significativa da densidade e diâmetro das raízes das espécies envolvidas. Os autores ainda observaram que a

maior competição entre as raízes ocorreu na camada de 0-40 cm do solo.

Lott *et al.* (2000) também indicam que, na maior parte dos casos, as culturas agrícolas são plantadas em densidades similares às utilizadas em monocultivos, enquanto as árvores são cultivadas em densidades de plantio mais baixas, visando a não interferência das árvores na produção de grãos. Desse modo, com o crescimento das árvores, a interação competitiva entre as plantas pode ser prejudicial ao rendimento de grãos, o que justificaria a realização de podas ou até mesmo a redução da densidade de árvores com o decorrer dos anos.

Em situações onde o crescimento das plantas não é limitado pelos recursos água e nutrientes, a produção de um monocultivo pode ser determinada pela quantidade de energia solar que a espécie consegue captar por meio de suas folhas (Monteith *et al.*, 1991). Durand-Bessart *et al.* (2020) observaram que a quantidade de sombra promovida por árvores gera efeitos significativos no desempenho de plantas de café (*Coffea arabica*). Os autores notaram que em condições de sombreamento moderado, as plantas apresentaram menor incidência e severidade de doenças foliares, enquanto alto nível de sombra proporcionou aumento da ocorrência de doenças e reduziu o crescimento e produtividade da cultura. Essas considerações levaram os autores a concluir que o sombreamento pode, simultaneamente, reduzir a incidência de doenças foliares e promover aumentos na produção de grãos, sendo importante encontrar a quantidade de sombra ideal para a espécie, dado que o excesso ou a falta de sombra são prejudiciais à cultura.

O comportamento das espécies agrícolas e/ou forrageiras em resposta à associação com árvores encontra grande influência da fisiologia da via fotossintética dessas plantas. Bayala *et al.* (2015) levantaram uma discussão interessante sobre as adaptações de plantas de metabolismo C₃ e C₄ em ocasião da associação com árvores que geram sombreamento em SAF. Plantas C₄, como as gramíneas, as quais são muito utilizadas nesse tipo de sistema, são mais sensíveis ao sombreamento, em comparação às C₃, as quais são capazes de modificar a morfologia e anatomia de suas folhas, objetivando aumentar a captação de luz em condições de sombra.

Tal fato foi observado por Inurreta-Aguirre *et al.* (2018) em avaliação do cultivo trigo, a qual é uma planta C₄, em pleno sol e SAF. No primeiro ano de cultivo, o rendimento de grãos não se diferiu entre os sistemas, enquanto no ano seguinte, o cultivo em SAF demonstrou produção significativamente menor em comparação ao pleno sol, o que, segundo os autores, pode ter ocorrido devido ao sombreamento proporcionado pelas árvores desde a semeadura até a colheita. Desse modo, a depender do grau de sombreamento do sistema, o que é afetado pela densidade, idade, arquitetura de copa e porte das árvores, o cultivo de determinadas espécies

agrícolas/forrageiras pode se tornar inviável nesse tipo de sistema com o decorrer do tempo. Isso pode ser um fator complicador, em especial ao se tratar de espécies perenes, como no caso do cultivo de forragens.

A avaliação dessas interações e o resultado das mesmas no rendimento das culturas deve ser considerada pelo produtor, dado que essas projeções são relevantes nesse tipo de empreendimento, em função do planejamento a longo prazo envolvido no cultivo de árvores (Luedeling *et al.*, 2014). A avaliação desses sistemas é mais trabalhosa devido sua alta complexidade, em comparação aos monocultivos, dada a diversidade de espécies, variadas formas e intensidades de interação e ao longo tempo de cultivo das árvores (Bayala *et al.*, 2015). Os citados autores ainda apontam que existem grandes dificuldades em se avaliar o componente animal, dado à sua mobilidade, o que explica a baixa ocorrência de estudos avaliando a interação desses com as árvores.

Considerações Finais

Diante o exposto, nota-se que os componentes arbóreos com potencial de instalação em um sistema agroflorestal possuem diferenças consideráveis entre si quanto aos aspectos morfológicos. Deste modo, a escolha do ideótipo morfológico para um determinado modelo de SAF deve ser minuciosamente estudada, pois as interações que, invariavelmente, ocorrem nos sistemas em função das características de forma de suas estruturas podem promover resultados distintos que culminarão no sucesso ou fracasso do SAF adotado.

É de entendimento científico que as condições edáficas e climáticas, bem como o objetivo final do produtor, podem apresentar variações entre si, mesmo sendo utilizados os modelos de sistemas semelhantes. Desse modo, devem-se levar em consideração tais especificidades, visando à escolha de espécies com ideótipo arbóreo adequado para atender à expectativa de produtor, assim como a necessidade do sistema. Por fim, a determinação de um padrão morfológico arbóreo para a escolha da espécie utilizada na composição do SAF deve ser feita nas mais diversas situações, visando sempre atender aos aspectos legais, técnicos, econômicos, ambientais e sociais decorrentes da instalação de um Sistema Agroflorestal.

Referências

Almeida EM, Campelo Júnior JH, Finger Z (2010) Determinação do estoque de carbono em teca (*Tectona grandis* L. f.) em diferentes idades. *Ciência Florestal*, 20(4):559-568. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982414>.

Atangana A, Khasa D, Chang S, Degrande A (2014) Ecological interactions and productivity in

agroforestry systems. *Tropical Agroforestry*, 151-172. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7723-1_7.

Battie-Laclau P, Laclau JP, Domec JC, Christina M, Bouillet JP, Piccolo MC, Gonçalves JLM, Moreira RM, Krusche AV, Bouvet JM, Nouvellon Y (2014) Effects of potassium and sodium supply on drought-adaptive mechanisms in *Eucalyptus grandis* plantations. *New Phytologist*, 203(2):401-413. <http://dx.doi.org/10.1111/nph.12810>.

Bayala J, Sanou J, Teklehaimanot Z, Ouedraogo SJ, Kalinganire A, Coe R, Van Noordwijk M (2015) Advances in knowledge of processes in soil–tree–crop interactions in parkland systems in the West African Sahel: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 205:25-35. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.02.018>.

Bayala J, Teklehaimanot Z, Ouedraogo SJ (2004) Fine root distribution of pruned trees and associated crops in a parkland system in Burkina Faso. *Agroforestry Systems*, 60: 13-26. <https://doi.org/10.1023/B:AGFO.0000009401.96309.12>.

Bernardo AL (1995) *Crescimento e Eficiência nutricional de Eucalyptus spp. Sob Diferentes espaçamentos na região de cerrado de Minas Gerais*. Dissertação, Universidade Federal de Viçosa, 192p.

Borden KA, Thomas SC, Isaac ME (2016) Interspecific variation of tree root architecture in a temperate agroforestry system characterized using ground-penetrating radar. *Plant and soil*, 410(1-2):323-334. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3015-x>.

Calfapietra C, Gielen B, Karnosky D, Ceulemans R, Mugnozza S (2010) Response and potential of agroforestry crops under global change. *Environmental Pollution*, 158(4):1095-1104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2009.09.008>.

Campanha MM, Araújo FS, Menezes MOT, Silva VMA, Medeiros HR (2011) Estrutura da comunidade vegetal arbóreo-arbustiva de um sistema agrossilvipastoril, em Sobral – CE. *Revista Caatinga*, 24(3):94-101.

Chabot BF, Hicks DJ (1982) The ecology of leaf life spans. *Annual review of ecology and systematics*, 13(1):229-259. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.es.13.110182.001305>.

Coelho RG, De Oliveira LC (2009) *Ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável do sudoeste da Amazônia*. Rio Branco: Embrapa Acre. 455p.

Condé MT, Lima MLM, Lima Neto EM (2013) Morfometria de quatro espécies florestais em sistemas agroflorestais no município de Porto Velho,

- Rondônia. *Revista Agro@ambiente*, 1(7):18-27. <http://dx.doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v7i1.932>.
- Donald CM (1968) The breeding of crop ideotypes. *Euphytica*, 17(3):385-403. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00056241>.
- Duan ZP, Gan YW, Wang BJ, Hao XD, Xu WL, Zhang W, Li LH (2019) Interspecific interaction alters root morphology in young walnut/wheat agroforestry systems in northwest China. *Agroforestry Systems*, 93: 419-434. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0133-2>.
- Durand-Bessart C, Tixier P, Quinteros A, Andreotti F, Rapidel B, Tauvel C, Allinne C (2020) Analysis of interactions amongst shade trees, coffee foliar diseases and coffee yield in multistrata agroforestry systems. *Crop Protection*, 133:105-137. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2020.105137>.
- Eiras PP, Coelho FC (2011) Utilização de leguminosas na adubação verde para a cultura de milho. *Inter Science Place*, 1(17):96-124.
- Encinas JI, Da Silva GF, Ticchetti I (2002) *Variáveis Dendrométricas*. Brasília: Universidade de Brasília - Departamento de Engenharia florestal. 102p.
- Gonçalves JLM (1995) Sistema radicular de absorção do *Eucalyptus grandis* sob diferentes condições edáficas. *Sociedade Brasileira de Silvicultura*, 17(61):8-10.
- Gonzales NMS (2016) *Avaliação e manipulação da seleção de dietas de ovinos e caprinos em área de sistemas integrados de produção agropecuária com a presença de eucalipto*. Dissertação. Universidade Federal Do Paraná. 108p.
- Guerreiro MF, Nicodemo MLF, Profirio-Da-Silva V (2015) Vulnerability of tem eucalyptus varieties to predation by cattle in a silvopastoral system. *Agroforestry Systems*, 89(4):743-749. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-015-9797-7>.
- Hardy JP, Melloh R, Koenig G, Marks D, Winstral A, Pomeroy JW, Link T (2004) Solar radiative on transmission through conifer canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126(3):257-270. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.06.012>.
- Inurreta-Aguirre HD, Lauri PÉ, Dupraz C, Gosme M (2018) Yield components and phenology of durum wheat in a Mediterranean alley-cropping system. *Agroforestry Systems*, 92: 961-974. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0201-2>.
- Jeromini TS, Fachinelli R, Silva GZ, Pereira STS, Scalon SDPQ (2017) Emergence and initial growth of copaiba seedlings under different substrates. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 37(90): 219-223. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.90.1189>.
- Kanten RV, Vaast P (2006) Transpiration of Arabica coffee and associated shade tree species in sub-optimal, low-altitude conditions of Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 67(2):187-202. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-005-3744-y>.
- Karungi J, Nambi N, Ijala AR, Jonsson M, Kyamanywa S, Ekbohm B (2015) Relating shading levels and distance from natural vegetation with hemipteran pests and predators occurrence on coffee. *Journal of Applied Entomology*, 139(9):669-678. <http://dx.doi.org/10.1111/jen.12203>.
- Leme TMS, Pires MFA, Verneque RS, Alvim MJ, Aroeira JM (2005) Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. *Ciência e agrotecnologia*, 29(3):668-675. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000300023>.
- Lott JE, Howard SB, Ong CK, Black CR (2000) Long-term productivity of a *Grevillea robusta*-based overstorey agroforestry system in semi-arid Kenya: II. Crop growth and system performance. *Forest ecology and management*, 139(1-3): 187-201. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00267-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00267-X).
- Luedeling E, Kindt R, Huth NI, Koenig K (2014) Agroforestry systems in a changing climate—challenges in projecting future performance. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6: 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.07.013>.
- Macdicken KG, Vegara NT (1990) *Agroforestry: classification and management*. New York: John Wiley & Sons. 400p.
- Martinez GB, Mourão Junior M, Brienza Junior S (2010) Seleção de ideótipos de espécies florestais de múltiplo uso em planícies fluviais do Baixo Amazonas, Pará. *Acta Amazonica*, 40(1):65-74. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672010000100009>.
- Mcdowell LR (1999) *Minerais para ruminantes sob pastejo em regiões tropicais, enfatizando o Brasil*. 3rd Edition. Gainesville: University of Florida. 80p.
- Meirelles AC, Souza LAG (2015) Produção e qualidade da biomassa de leguminosas arbóreas cultivadas em sistema de aleias em Latossolo Amarelo da Amazônia Central. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 1(2):67-74.
- Meloni SA (1998) Simplified description of the three-dimensional structure of agroforestry trees for use with a radiative transfer model. *Agroforestry Systems*, 43(1-3):121-134. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1026415709351>.
- Monteith JL, Ong CK, Corlett JE (1991) Microclimatic interactions in agroforestry

- systems. *Forest Ecology and management*, 45(1-4): 31-44.
- Muciño DH, Montes ES, Ceccon E (2015) *Leucaena macrophylla*: An ecosystem services provider. *Agroforestry Systems*, 89(1):163-174. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-014-9751-0>.
- Nair PKR (1993) *An Introduction to Agroforestry*. Dordrecht: ICRAF/Kluwer Academic Publishers. 499p.
- Oliveira Neto SN, Vale AB, Nacif AP, Vilar MB, Assis JB (2010) *Sistema agrossilvipastoril-integração lavoura, pecuária e floresta*. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais. 190p.
- Paciullo DSC, Porfírio-Da-Silva V, Carvalho MM, De Castro CRT (2007) Arranjos e modelos de sistemas silvipastoris. In: Fernandes EM, Paciullo DSC, Castro CRT, Muller MD, Arcuri PB, Carneiro JC (ed) *Sistemas agrossilvipastoris na América do Sul: desafios e potencialidades*. Juiz de fora: Embrapa Gado de Leite. p.13-50.
- Paul C, Weber M (2016) Effects of planting food crops on survival and early growth of timber trees in eastern Panama. *New Forests*, 47(1):53-72. <http://dx.doi.org/10.1007/s11056-015-9477-5>.
- Paula RR, Reis GG, Reis MGF, Oliveira Neto SN, Leite HG, Melido RCN, Lopes HNS, Souza FC (2013) Eucalypt growth in monoculture and silvopastoral systems with varied tree initial densities and spatial arrangements. *Agroforestry Systems*, 87(6):1295-1307. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-013-9638-5>.
- Pereira ACM, Almeida JCC, Moreira TGB, Zanellas PG, Carvalho CAB, Morais LF, Soares FA, Lima MA (2015) Avaliação do componente arbóreo e forrageiro de sistemas silvipastoris na mesorregião dos "campos das vertentes" de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 5(1):66-77. <http://dx.doi.org/10.21206/rbas.v5i1.317>.
- Pinheir CR, Deus Junior JC, Nouvellon Y, Campoe OC, Stape JL, Aló LL, Guerrini IA, Jourdan C, Laclau JPA (2016) Fast exploration of very deep soil layers by Eucalyptus seedlings and clones in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 366:143-152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.02.012>.
- Pixabay. CC0 Public Domain. (2018). [cit. 2020-06-06]. <https://pixabay.com/pt/black-%C3%A1rvores-caducif%C3%B3lia-agulhas-306558/>.
- Porfírio-Da-Silva V, De Moraes A, Moletta JL, Pontes LS, De Oliveira EB, Pelissari A, Carvalho PCF (2012) Danos causados por bovinos em diferentes espécies arbóreas recomendadas para sistemas silvipastoris. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32(70):183-192. <http://dx.doi.org/10.4336/2012.pfb.32.70.67>.
- Porfírio-Da-Silva V, Medrado MJS, Nicodemo MLF, Dereti RM (2009) *Arborização de pastagens com espécies florestais madeireiras: implantação e manejo*. Colombo: Embrapa Florestas. 48p.
- Radeesma S, Ong CK, Coe R (2006) Water use of tree lines: importance of leaf area and micrometeorology in sub-humid Kenya. *Agroforestry Systems*, 66(3):179-189. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-005-6643-3>.
- Rangel JHA, Almeida AS, Muniz E, Gomide CA (2008) Sistema silvipastoril: uma alternativa para a produção de ruminantes. In: Gomide CAM, Rangel JHA, Muniz EM, Almeida AS, Sá JL, Sá CO (ed) *Alternativas alimentares para ruminantes II*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. p.245-267.
- Rao MR, Nair PKR, Ong CK (1997) Biophysical interactions in tropical agroforestry systems. *Agroforestry systems*, 38(1-3): 3-50. <https://doi.org/10.1023/A:1005971525590>.
- Reis GGD, Reis MGF, Fontan ICI, Monte MA, Gomes NA, Oliveira CHR (2006) Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus spp* submetidos a dois regimes de irrigação no campo. *Revista Árvore*, 30(6):921-931. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000600007>.
- Roman M, Bressan DA, Durlo MA (2009) Variáveis morfométricas interdimensionais para *Cordia trichoma* (Vell) Arráb. Ex Steud. *Revista Ciência Florestal*, 19(4):473-480. <http://dx.doi.org/10.5902/19805098901>.
- Santiago WR, Vasconcelos SS, Kato OR, Bispo CJC, Rangel-Vasconcelos LGT, Castellani DC (2013) Nitrogênio mineral e microbiano do solo em sistemas agroflorestais com palma de óleo na Amazônia oriental. *Acta Amazonica*, 43(4):395-406. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672013000400001>.
- Seitz RA (1996) *A Poda de Árvores Urbanas*. Piracicaba: IPEF. 27p.
- Silva RG (2006) - Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. *Engenharia Agrícola*, 26(1):268-281. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000100029>.
- Soares CPB, Oliveira MLR (2002) Equações para estimar a quantidade de carbono na parte aérea de árvores de eucalipto em Viçosa, Minas Gerais. *Revista Árvore*, 26(5):534-539. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622002000500002>.
- Souza FX, Costa JTA, Lima RN (2006) Características morfológicas e fenológicas de clones

de cajazeira cultivados na chapada do Apodi, Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, 37(2):208-215.

Stahl PW, Pearsall MD (2012) Late pre-Columbian agroforestry in the tropical lowlands of western Ecuador. *Quaternary International*, 249:43-52. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2011.04.034>.

Stone LF, Didonet AD, Alcantra F, Ferreira EPB (2015) Qualidade física de um Latossolo Vermelho ácrico sob sistemas silviagrícolas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, 19(10):953-960. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n10p953-960>.

Tumwebaze SB, Bevilacqua E, Briggs R, Volk T (2013) Allometric biomass equations for tree species used in agroforestry systems in Uganda. *Agroforestry Systems*, 87(4):781-795. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-013-9596-y>.

Uribe C, Inclan R, Hernando L, Roman M, Clavero MA, Roig S, Van Miegroe H (2015) Grazing, tilling and canopy effects on carbon dioxide fluxes in a Spanish dehesa. *Agroforestry Systems*, 89(2):305-318. <http://dx.doi.org/10.1007/s10457-014-9767-5>.

Van Noordwijk M, Lawson G, Soumaré A, Groot JJR, Hairiah K (1996) Root Distribution of Trees and Crops: Competition and/or Complementarity. In: Ong CK, Black CR, Wilson J. (ed) *Tree-crop interactions*, 1st Edition: agroforestry in a changing climate. Wallingford: CAB International. p.319-331. <http://dx.doi.org/10.1079/9781780645117.0221>.

Wood PJ, Burley J (1991) *A Tree for All Reasons: the introduction and evaluation of multipurpose trees for agroforestry*. 5th Edition. Nairobi: International Council for Research in Agroforestry. 158p.