



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALEIAS: PRODUTIVIDADE
AGROSSILVICULTURAL E INFLUÊNCIAS SOBRE O AGROECOSSISTEMA**

VIRGÍLIO DE ALMEIDA PEREIRA

**Araras
2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL**

**O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALEIAS: PRODUTIVIDADE
AGROSSILVICULTURAL E INFLUÊNCIAS SOBRE O AGROECOSSISTEMA**

VIRGÍLIO DE ALMEIDA PEREIRA

ORIENTADOR: PROF Dr. LUIZ ANTÔNIO CORREIA MARGARIDO

Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Agroecologia e
Desenvolvimento Rural como requisito
parcial à obtenção do título de
**MESTRE EM AGROECOLOGIA E
DESENVOLVIMENTO RURAL**

Araras

2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

P436cc

Pereira, Virgílio de Almeida.

O cultivo da cana-de-açúcar em aleias : produtividade agrossilvicultural e influências sobre o agroecossistema / Virgílio de Almeida Pereira. -- São Carlos : UFSCar, 2014. 158 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2013.

1. Cana-de-açúcar. 2. Sistema agroflorestal. 3. Aleias. I. Título.

CDD: 633.61 (20ª)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

DE

VIRGILIO DE ALMEIDA PEREIRA

APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO RURAL, DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS, **EM 04 DE DEZEMBRO 2013.**

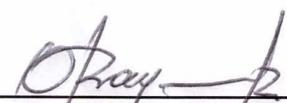
BANCA EXAMINADORA:



PROF. DR. LUIZ ANTONIO CORREIRA MARGARIDO
ORIENTADOR
(UFSCar/CCA)



PROF. DR. FERNANDO SILVEIRA FRANCO
(UFSCar/Sorocaba)



PROF. DR. OLAVO RAYMUNDO JUNIOR
(UNIARARAS)

Dedico aos meus pais, **Galeno Antônio Rabelo Pereira** e **Maria Elizabete de Almeida**, com os quais aprendi que mudando a minha forma de pensar poderia ampliar as fronteiras do possível; e aos meus irmãos, **Henrique de Almeida Pereira** e **Nayara de Almeida Pereira**, que partilham comigo os valores do campo.

Por conhecer as árvores, compreendo o sentido da paciência. Por conhecer a grama, dou valor à persistência

(Harold Glen Borland)

Agradeço e ofereço a/ao/aos:

A minha família, pela compreensão que tiveram quando precisei me ausentar, porém, sem deixar, um só segundo de tê-los em meu coração, por tudo o que pra mim representam. Por muitas vezes sacrificarem ou adiarem seus sonhos para a realização dos meus, serei eternamente grato. A meu pai pelo apoio incondicional e toda a sua força; aos meus irmãos por serem pra mim um espelho e exemplo de amor; e em especial a minha mãe, pelo seu amor e dedicação incomparáveis além do seu dom supremo de ser mulher e mãe. Esta dissertação é nossa.

Presto meus agradecimentos a Deus, meu pai maior; e a natureza minha grande mãe em todas as suas formas de vida. São as energias motivadoras, razão da minha existência repleta de bênçãos.

A Paula Beatriz, pela sincronicidade e sintonia; sua presença, seu companheirismo e sua parceria que me proporcionam sentimento único, quem me faz enxergar a frente com clareza e me possibilita ser o melhor de mim, compreendendo os motivos da minha ausência e me proporcionando suporte incondicional.

Aos professores Luiz Antônio Correia Margarido e Hélio José Castilho, pela amizade e paciência, pelos ensinamentos repletos de sensatez, pela confiança, respeito, incentivo e atenção, sem dúvidas meus grandes mestres nesse período. Obrigado pela oportunidade, pelas sugestões, enfim, por possibilitarem a realização deste trabalho. Também aos professores Fernando Grossi pelas sugestões, Fernando Silveira Franco e Olavo Raymundo Junior, que dispuseram a compor a banca de defesa, por possibilitarem a melhoria deste trabalho, participando do seu arremate.

Aos parceiros Ricardo Coelho, João Paulo Apolari e Marco Rogério pela grande amizade, cumplicidade, compromisso, determinismo, pelos ensinamentos, pelo auxílio em todas as atividades trocas de experiência e belo exemplo de paixão pelo trabalho, sem eles esse trabalho não seria concretizado, tenho orgulho desse grupo. Aos amigos e irmãos Flávio Costa e Victor Matos, pela paciência e companheirismo com os quais me sinto honrado de ter compartilhado um lar.

Presto meus agradecimentos também à Universidade Federal de São Carlos - Centro de Ciências Agrárias, instituição à qual pertencço e local onde o experimento foi conduzido; ao Departamento de Tecnologia Agroindustrial e Socioeconomia Rural (DTAiSER) pelo apoio e infraestrutura; à equipe do Departamento de Biologia Vegetal (DBV) pela parceria ao longo da execução das atividades de campo e ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia e Desenvolvimento Rural (PPGADR) pelo

desempenho das atividades e pela oportunidade de desenvolvimento da dissertação. Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado e principalmente ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agência que investiu recursos para que o projeto se tornasse possível.

Ao Fausto, Pedro, Thiago e Gisele pela amizade, pela partilha de experiências e participação nos trabalhos de campo. Aos técnicos Sandro e Fernandinho e a turma de campo do DBV, pela colaboração, auxílio, disponibilidade e paciência, que contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos membros do PPGADR pela acolhida e por este local se tornar meu espaço de trabalho e reflexão. Aos professores pelos ensinamentos em classe e extraclasse e pelo exemplo profissional, bem como os colegas de turma, sem exceção, agradeço pela oportunidade de aprendizado e convivência saudável. A Claudinha pelo cuidado, disponibilidade e amizade.

Aos amigos e irmãos das repúblicas e todos os agregados, principalmente da Comuna, Rêfa, Cangaço e Manga Rosa com os quais e onde muito aprendi sobre o coletivo. As meninas da Maria Baderna que sempre me receberam com carinho e de braços abertos, dividindo momentos de muita integração e troca de energias. Aos irmãos e amigos Cris, Augusto, Fábio, Marcelo, Zé, Leo, Felipe, Pitt, Paulo, Celso, Euriko, Túlio, João, Daniel, Macu, Biscoito e Alejandro; e as amigas e irmãs Ana Paula Apolari, Danúbia, Marcela, Nádia, Gabi, Paola, Claudiane, Joana, Michele, Carol, Luiza, Priscila, Elisa, Elaine, Dani, Ariane e Magali pelo incentivo nos desafios e parceria em tantos momentos de construção conjunta de conhecimento, pelas trocas de experiência, aprendizado, respeito, convivência, momentos felizes e discussões.

Aos demais aqui não nomeados diretamente. Com certeza há muitas pessoas ou estruturas que não estão sendo lembradas, apesar de terem apoiado e direta ou indiretamente contribuído para a realização deste estudo. A esses, também o meu reconhecimento.

A todos, muito obrigado.

SUMÁRIO

	Página
ÍNDICE DE TABELAS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo geral.....	5
1.2 Objetivos específicos.....	5
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	6
2.1 Contextualização.....	6
2.2 Indicadores ecológicos.....	8
2.3 A cultura da cana-de-açúcar.....	12
2.3.1 Impactos ambientais.....	14
2.3.2 Zoneamento agroambiental no Estado de São Paulo.....	17
2.4 Plantio em aleias.....	19
2.5 Árvores nativas.....	24
2.5.1 Ipê amarelo.....	26
2.5.2 Cedro.....	29
2.5.3 Guapuruvu.....	32
2.5.4 Autorização de manejo florestal.....	35
2.6 Fixação de carbono.....	39
2.6.1 Inventário de carbono no Estado de São Paulo.....	41
2.7 Avifauna como bioindicador.....	43
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	46
3.1 Área experimental.....	46
3.2 Análise química do solo.....	51
3.3 Implantação e monitoramento das aleias.....	52
3.3.1 Dendrometria.....	53
3.3.2 Avaliação qualitativa.....	58
3.4 Monitoramento da cana-de-açúcar.....	62
3.5 Volume comercial de madeira.....	63
3.6 Estoque e incremento de carbono.....	64
3.7 Avaliação da avifauna.....	65
3.8 Distribuição espacial através da análise geoestatística.....	70

3.9 Análise de dados da produtividade de cana-de-açúcar.....	72
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
4.1 Desenvolvimento das árvores plantadas em aleias.....	73
4.2 Produtividade agrossilvicultural	99
4.2.1 Produtividade agrícola da cana-de açúcar.....	99
4.2.2 Volume de madeira produzido	113
4.2.3 Quantificação de carbono fixado.....	115
4.3 Avifauna como bioindicador.....	122
4.4 Avaliação funcional do agroecossistema.....	135
5 CONCLUSÕES	139
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
7 REFERÊNCIAS.....	146

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Densidade de essências florestais	53
Tabela 2. Descrição de indicadores ecológicos para avaliação das árvores	59
Tabela 3. Descrição de atributos para avaliação do agrossistema.....	60
Tabela 4. Atributos químicos das amostras de solo	62
Tabela 5. Relação da mortalidade de indivíduos nas aleias.....	75
Tabela 6. Áreas médias das copas das essências florestais.....	96
Tabela 7. Parâmetros do semivariograma do índice de sombreamento arbóreo.....	97
Tabela 8. Produtividade média de cana por faixa de plantio e espécie arbórea	100
Tabela 9. Parâmetros dos semivariogramas para produtividade da cana	103
Tabela 10. Parâmetros dos semivariogramas para V% do solo	105
Tabela 11. Produtividade média de cana analisadas conjuntamente	112
Tabela 12. Volume médio de madeira por planta.....	114
Tabela 13. Volume médio de madeira por faixa de plantio.....	114
Tabela 14. Carbono fixado na biomassa acima do solo nas aleias	116
Tabela 15. Carbono fixado na biomassa acima do solo nas faixas de plantio.....	117
Tabela 16. Estimativa de estoques e dinâmica do carbono no agrossistema.....	118
Tabela 17. Lista de espécies de aves	124
Tabela 18. Frequência de ocorrência de aves	129
Tabela 19. Detalhamento da comunidade de aves	130

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de zoneamento de aptidões agrícolas do Estado de São Paulo	17
Figura 2. Croqui do CCA - UFSCar	47
Figura 3. Termopluviograma.....	48
Figura 4. Croqui da área experimental.....	49
Figura 5. Disposição do canal entre as aleias de espécies arbóreas	50
Figura 6. Fotos do agrossistema	50
Figura 7. Croqui dos pontos de amostragem para coleta de solo	51
Figura 8. Fotos demonstrativas da metodologia	55
Figura 9. Imagens da metodologia da área de sombreamento arbóreo	57
Figura 10. Croqui da área experimental para observação da avifauna	66
Figura 11. Fotos da metodologia de avifauna	68
Figura 12. Modelo de semivariograma experimental	71
Figura 13. Avaliação qualitativa das essências florestais.....	74
Figura 14. Fotos de ipês amarelos no agrossistema.....	83
Figura 15. Fotos de cedros no agrossistema	85
Figura 16. Fotos de guapuruvus no agrossistema	87
Figura 17. Desenvolvimento médio da altura por espécie na aleia A.....	90
Figura 18. Desenvolvimento médio da altura por espécie na aleia B.....	90
Figura 19. Desenvolvimento médio da altura por espécie na aleia C.....	91
Figura 20. Desenvolvimento médio da altura por espécie na aleia D.....	91
Figura 21. Desenvolvimento médio do diâmetro por espécie na aleia A	93
Figura 22. Desenvolvimento médio do diâmetro por espécie na aleia B	93
Figura 23. Desenvolvimento médio do diâmetro por espécie na aleia C.....	94
Figura 24. Desenvolvimento médio do diâmetro por espécie na aleia D.....	94
Figura 25. Fotografia da copa de um ipê	95
Figura 26. Fotografia da copa de um cedro	95
Figura 27. Fotografia da copa de um guapuruvu	96
Figura 28. Mapa de superfície 3D dos índices de sombreamento arbóreo	97
Figura 29. Semivariograma para índice de sombreamento arbóreo	97

Figura 30. Mapa de isolinhas para a produtividade da cana em 2010	101
Figura 31. Mapa de isolinhas para a produtividade da cana em 2011	102
Figura 32. Mapa de isolinhas para a produtividade da cana em 2012	102
Figura 33. Semivariogramas para a produtividade da cana	103
Figura 34. Mapa de isolinhas para V% do solo em 2010	104
Figura 35. Mapa de isolinhas para V% do solo em 2011	104
Figura 36. Mapa de isolinhas para V% do solo em 2012	104
Figura 37. Semivariogramas para o parâmetro V% do solo	105
Figura 38. Correlação da produtividade e o V% do solo	106
Figura 39. Produtividade por linha de cana - Faixa de 29 m - Safra 09/10.....	108
Figura 40. Produtividade por linha de cana - Faixa de 43,5 m - Safra 09/10.....	108
Figura 41. Produtividade por linha de cana - Faixa de 58 m - Safra 09/10.....	109
Figura 42. Produtividade por linha de cana - Faixa de 29 m - Safra 10/11.....	109
Figura 43. Produtividade por linha de cana - Faixa de 43,5 m - Safra 10/11.....	110
Figura 44. Produtividade por linha de cana - Faixa de 58 m - Safra 10/11.....	110
Figura 45. Produtividade por linha de cana - Faixa de 29 m - Safra 11/12.....	111
Figura 46. Produtividade por linha de cana - Faixa de 43,5 m - Safra 11/12.....	111
Figura 47. Produtividade por linha de cana - Faixa de 58 m - Safra 11/12.....	112
Figura 48. Fotos da metodologia e operacionalização para a cana	120
Figura 49. Curva do coletor para avifauna.....	127
Figura 50. Variação da abundância e da riqueza da comunidade de aves	133
Figura 51. Fotos dos resultados da observação de avifauna.....	134
Figura 52. Gráfico para comparação de cenários	136

O CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALEIAS: PRODUTIVIDADE AGROSSILVICULTURAL E INFLUÊNCIAS SOBRE O AGROECOSSISTEMA

Autor: Virgílio de Almeida Pereira

Orientador: Prof Dr. Luiz Antônio Correia Margarido

RESUMO

O plantio de cana-de-açúcar está em franca expansão no Brasil motivado pela demanda do setor sucroenergético. Os canaviais em matrizes monoculturais simplificam a paisagem e desconectam ecossistemas naturais. A inserção de aleias com árvores nativas em canavial é uma nova proposta que contempla o ambiente além da produção. Com o objetivo de avaliar os efeitos ambientais e a produtividade agrossilvicultural nesse sistema agroflorestal, foram levantados em uma área experimental de 1,957 hectares, o rendimento da cana-de-açúcar e o desenvolvimento das árvores constituintes das aleias em 3 safras (2009/10, 2010/11 e 2011/12); bem como o volume de madeira produzido e a fixação de carbono pelo sistema ao final do ano de 2012; e a dinâmica da avifauna durante os anos de 2011 e 2012. Constatou-se um desenvolvimento regular das espécies arbóreas, observando grande taxa de mortalidade do guapuruvu (60%). Foi possível constatar a maior produção de madeira pelo guapuruvu, conseqüentemente chegando aos mesmos resultados em relação à fixação de carbono, sendo estes 3 vezes superiores aos do ipê e 2 vezes ao cedro. A produtividade da cana não esteve relacionada com a distância entre a linha de plantio e a aleia, apresentando queda apenas na faixa de cultivo de 58 m. A avifauna foi considerada um bioindicador consistente; o guapuruvu foi a espécie florestal com maior importância para o aumento da diversidade de aves e o espaçamento entre aleias com a maior riqueza foi o de 29 m. Conclui-se que é tecnicamente possível a implantação

do agrossistema proposto, sem prejuízo agronômico da produção da cana-de-açúcar, sendo as 2 menores faixas de cultivo (29 e 43,5 m) as mais propícias e o guapuruvu a espécie arbórea com melhores resultados em curto prazo, desde que a questão da mortalidade seja sanada com replantio ou manejo adequado.

Palavras-chave: sistema agroflorestal, aleias, cana-de-açúcar.

SUGARCANE FARMING IN ALLEY CROPPING SYSTEM: AGROFORESTRY PRODUCTIVITY AND INFLUENCES IN THE AGROECOSYSTEM

Author: Virgílio de Almeida Pereira

Adviser: Prof Dr. Luiz Antônio Correia Margarido

ABSTRACT

Sugarcane plantations are increasing in Brazil motivated by the demand of the sugar industry and the energetic sector. Sugarcane monocultures simplify the landscape and disconnect natural ecosystems. The inclusion of native trees in the canebrake, changing the matrices into an alley cropping system, is a new proposal that consider the environment beyond production. In order to assess the environmental effects in agroforestry was raised sugarcane productivity and development of trees in three crops (2009/10, 2010/11 and 2011/12), as well as the timber volume and carbon sequestration produced by the system at the end of the year 2012 and a bird survey during 2011 and 2012 in an experimental area of 1,957 hectares. Was found orderly development of tree species. *Schizolobium parahyba* present a significant mortality, but had the largest wood production thus coming to the same conclusion in relation to carbon sequestration, which are 3 times those of the *Handroanthus* spp. and 2 times the *Cedrela fissilis*. There was no change in the sugarcane productivity related to the distance line planting was the alley, with only a drop productivity in the range of 58 m cultivation. Birds are important bioindicators; trees contributed to the increased diversity of birds, being *Schizolobium parahyba* the arboreal species of most relevant importance. The spacing between alleys with the greatest diversity of birds was to 29 m. It is concluded that it is technically possible deployment agroecosystem proposed, without agronomic production damage of cane sugar; the 2 smaller bands

cultivation (29 m and 43.5 m) are the most suitable; among tree species *Schizolobium parahyba* was the one with the best results in the short term, since the issue of mortality could be remedied with proper management or replanting.

Key-words: agroforestry, alley cropping systems, canebrake.

1 INTRODUÇÃO

Apesar de a relevância de se produzir biocombustíveis, muitas críticas são feitas ao cultivo convencional da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). Críticas que englobam distintas áreas de interesse social, econômico e ambiental, sendo que um dos posicionamentos mais relevantes se deve à interferência direta deste modelo sobre a biodiversidade.

O agroecossistema canavieiro, baseado na monocultura extensiva, ocupa vastas áreas territoriais contínuas que monotonizam a paisagem. Nesse formato ele simplifica, fragmenta e desconecta ecossistemas naturais complexos, o que traz inúmeras dúvidas sobre a sua sustentabilidade. Apresenta-se como um problema para a conservação, tendo em vista que a estabilidade e resiliência dos ecossistemas naturais são fragilizadas neste processo. Torna-se desfavorável à presença de alta biodiversidade, pela consequente perda de habitat e pelos efeitos do isolamento.

É preciso considerar os motivos pelos quais essa atividade esta consolidada e em contínua ascensão. A cana-de-açúcar tem relevante importância socioeconômica, pois é uma matéria prima versátil e originar uma

vasta gama de produtos de interesse comercial como o açúcar, o melado, a rapadura, o etanol, a cachaça, além de poder ser utilizada como forragem para o gado. Ainda, os subprodutos dos processos produtivos podem ser reintegrados na agroindústria, o bagaço como fonte de energia e celulose, e a vinhaça como fertilizante rico em potássio. Essa atividade responde por considerável geração de emprego e renda, interiorização do desenvolvimento, aumento de divisas decorrentes das exportações e possibilidade de complementar a crescente demanda energética do país. No âmbito ambiental a cana-de-açúcar não deixa de ser considerada como um bioconversor de energia solar em matéria orgânica altamente eficiente. Analisando-a de forma isolada como planta ela também atende bem aos quesitos desejáveis para se produzir de uma maneira sustentável por se adaptar e responder bem às características ambientais brasileiras (MARGARIDO; MACHADO; ALVES, 2008).

Em contrapartida, a expansão da produção nos moldes atuais é aconselhável para o crescimento econômico, mas não necessariamente para o desenvolvimento. A boa cotação de preço na saca de açúcar e também a cogeração de energia fez as lavouras de cana avançarem sobre novas fronteiras agrícolas, transformando-se em um imenso tapete verde de monocultura (SILVA et al., 2012). É sabido que esta atividade está ligada a impactos ambientais negativos (ROSSETO, 2008). Com o objetivo de limitar essa expansão desenfreada, em 2009 foi estabelecido o zoneamento agroambiental da cultura. As áreas não indicadas ao seu cultivo alcançam 92,7% do território nacional. Mesmo assim, os restantes 7,5% equivalem a 64 milhões de hectares, elevando consideravelmente o estoque de terras aptas para a cana-de-açúcar (AGUIAR et al., 2011).

Pelos grandes avanços desta cultura nas últimas quatro décadas, atualmente o país é uma referência mundial em tecnologias de produção de cana e seus derivados (UNICA, 2012). As pesquisas e tecnologias nacionais têm permitido o aumento da competitividade e sustentabilidade do sistema o que vem a motivar o desenvolvimento deste trabalho no qual uma nova tecnologia mais sustentável é proposta. É certo que a expansão dos canaviais

vai continuar e com ela o aumento dos impactos ambientais. A questão é como equacionar esses conflitos de interesses onde nem a produção nem as questões ambientais sejam comprometidas e sejam preservadas as demandas econômicas e as do bem estar social.

Os sistemas agroflorestais (SAFs) podem contribuir para a solução de problemas no uso dos recursos naturais, por causa do incremento de funções biológicas, ambientais, socioeconômicas e culturais (YOUNG et al., 1994). Portanto, uma forma inicial de ecologização desta atividade seria por meio do cultivo da cana-de-açúcar em um sistema agroflorestal a fim de compensar os efeitos da monotonização de grandes áreas.

Entre os modelos agroflorestais conhecidos, existe um que devido suas características pode ser compatível com o sistema de cultivo tradicional da cana-de-açúcar sem trazer prejuízos à produção, além de agregar valores ambientais e financeiros ao processo. Esse seria o sistema agroflorestal em aleias onde as árvores são plantadas em linhas e os canaviais em faixas ao lado dessas linhas (DUBOIS, 1996). Esse modelo pode ser responsável por permeabilizar a matriz monocultural canavieira, diversificando assim o agroecossistema em questão. Optar pela utilização de essências florestais nativas na constituição das aleias favoreceria os ativos ambientais regionais, o estabelecimento e as interações do sistema proposto.

Com a inclusão do componente florestal, produtos do extrativismo madeireiro e não madeireiro poderiam ser utilizados pelo produtor e uma opção complementar de renda. Bem como permitiriam novas alternativas, como o pagamento por serviços ambientais e a comercialização de créditos de carbono pela redução de emissões de gases do efeito estufa (GEEs), duas propostas reais e ascendentes da economia ambiental, que entrariam como fonte de renda e agregariam valor aos produtos oriundos desse agroecossistema.

As atividades de manejo das árvores agregariam tarefas de trabalho também diversificadas que demandariam maior mão de obra, possibilitando geração de emprego. Exerceriam também o papel de uma nova fonte interna ao sistema incrementando o aporte de biomassa e possibilitaria a existência de novos nichos ecológicos, pelas características intrínsecas das árvores,

participando do incremento da biodiversidade. As aleias são quebra vento, portanto, protegeriam a cana e beneficiariam o microclima local. Procederiam como trampolins ecológicos, estruturas que favorecem o deslocamento de organismos pela paisagem fragmentada como observado para cercas vivas (UEZU; METZGER; VIELLIARD, 2005). Esses elementos resgatam a conectividade da paisagem, anteriormente formada por uma matriz agrícola hostil (HADDAD et al., 2003). As aleias podem auxiliar na preservação da diversidade biológica em áreas degradadas promovendo o fluxo de sementes, como observado por Pizo e Gabriel (2005).

Acredita-se que o modelo proposto aumenta a probabilidade de proporcionar melhores condições ecológicas para o incremento da diversidade e da população de aves frequentando as árvores desse sistema, mesmo àqueles grupos que normalmente não frequentam o ambiente dos canaviais. Esta expectativa poderia ser empregada como estratégia para dimensionar ganhos ambientais, em uma área experimental controlada, empregando a dinâmica da avifauna como um bioindicador. Estudos que têm sido aprimorados no sentido de investigar a paisagem e desenvolver ações voltadas ao estabelecimento da conectividade entre fragmentos florestais também vieram a motivar este trabalho.

1.1 Objetivo geral

Avaliar os efeitos ambientais de essências florestais brasileiras plantadas em sistema de aleias na cultura da cana-de-açúcar e as influências do redesenho da matriz agroecossistêmica sobre a produtividade agrossilvicultural, a fim de se saber se o sistema de cultivo proposto é viável.

1.2 Objetivos específicos

- i) Verificar o desenvolvimento dos ipês, cedros e guapuruvus, essências florestais brasileiras constituintes das aleias, por meio de avaliações quantitativa e qualitativa;
- ii) Avaliar a produtividade agrícola em três ciclos (safras: 2009/10, 2010/11 e 2011/12) por meio dos rendimentos de cada linha de cultivo de cana nas diferentes distâncias para as aleias;
- iii) Examinar a produtividade silvicultural de forma cumulativa em outubro de 2012, levantando o volume de madeira produzido e estimar a fixação de carbono do sistema;
- iv) Investigar os efeitos ambientais de árvores plantadas em canavial utilizando a avifauna como um bioindicador.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Contextualização

A cultura canavieira está presente no Brasil desde sua colonização, quando as primeiras mudas foram trazidas pelos portugueses. Inicialmente foi introduzida no litoral, se expandindo posteriormente por várias regiões do território nacional. Estima-se que o território brasileiro à época do descobrimento era composto de 82% de florestas e 18% de campos e alagadiços. A eliminação de florestas na ocupação territorial resultou num conjunto de problemas ambientais, como extinções de espécies da fauna e da flora, além de mudanças climáticas locais, erosão dos solos e o assoreamento dos cursos d'água (MARTINS, 2001).

O modelo agrícola e urbanístico do Brasil provocou intenso desmatamento. Esse desmatamento, durante o século XX estendeu-se a todas as regiões com potencial agrícola, que passaram a ser utilizadas intensamente gerando um grande rastro de degradação ambiental. A influência antrópica no meio ambiente tem sido devastadora através dos tempos, onde cada indivíduo

consome tanta energia e tantos recursos influenciando virtualmente em tudo na natureza.

A partir da década de 1960, a agricultura adota em larga escala, o uso de fertilizantes químicos, sementes melhoradas, agrotóxicos e prática da monocultura (GLIESSMAN, 2005). O contínuo aumento das fronteiras agrícolas sempre esteve presente em nossa história. Em nosso território são notáveis as expansões das áreas de pastagens e das chamadas grandes culturas como o café, algodão, milho, soja e cana-de-açúcar.

Atualmente observa-se uma mudança de paradigma da indústria sucroalcooleira. Esta deixa de ser uma mera processadora de um produto agrícola para a obtenção de açúcar e álcool e se transforma em unidades cogeneradoras de energia pela também produção de eletricidade gerada nas caldeiras com a queima do bagaço da cana, passando a ser denominada indústria sucroenergética. Muitas dessas empresas, mesmo algumas tradicionais, deixaram de serem empresas familiares e passaram ter seu controle acionário por capitais internacionais. Assim, a expansão das áreas de cultivo prossegue em nossos dias e a manutenção de uma boa produtividade agrícola é ponto fundamental.

A monocultura, seja da cana ou de outra cultura qualquer, tem como objetivo o aumento na produtividade agrícola e o aumento do rendimento operacional, mas tem como inconveniente, a redução drástica da biodiversidade, tornando a paisagem homogênea e monótona. Isso acarreta a perda das interações intrínsecas aos ecossistemas naturais, pois vários serviços ambientais deixam de ocorrer, como por exemplo, a interação biótica entre as diferentes espécies, que pode proporcionar, entre diversos benefícios, o fornecimento de nutrientes e a proteção contra predadores. Vale lembrar que um das funções do ambiente agrícola, em uma nova proposta multifuncional da agricultura sustentável, é proporcionar e reservar tais serviços ambientais.

Uma das medidas mais controversas na preservação de comunidades biológicas é o estabelecimento das áreas legalmente protegidas. A legislação e a aquisição de terras por si só não garantem a preservação do habitat, embora representem um ponto de partida (PRIMACK; RODRIGUES, 2001). Os

sistemas agroflorestais podem contribuir para a solução de problemas no uso dos recursos naturais, por causa do incremento de funções biológicas, ambientais, socioeconômicas e culturais. A presença de árvores no sistema traz benefícios diretos e indiretos.

A implantação de um sistema como esse numa atividade tão organizada como é o setor sucroalcooleiro é bastante complexa. As primeiras questões são de ordem prática que exigem estudos de viabilidade técnica. Outro aspecto é a viabilidade econômica, afinal é uma atividade que demanda altos volumes de capital monetário, e não pode haver perda de produção, produtividade ou incremento de custos e ainda, se possível, resultar em dividendos econômicos (FAVETTA, 2013). Portanto, a implantação de florestas sistematizadas em canaviais apresenta-se como uma proposta ousada e inédita.

2.2 Indicadores ecológicos

Os agroecossistemas são sistemas ecológicos modificados pelo ser humano para produzir alimentos, fibras e outros produtos agrícolas. Apresentam uma complexa estrutura dinâmica, mas sua complexidade surge, primeiramente, da interação entre os processos socioeconômicos e ecológicos (CONWAY, 1987). Difere-se de ecossistemas naturais pelo aporte de energias externas (trabalho, irrigação, combustível, maquinaria e agroquímicos), pela interferência humana direta na redução da biodiversidade e seleção artificial de plantas e animais convenientes ao processo antrópico produtivo. Assim, os agroecossistemas são projetados e gerenciados para se obter uma máxima conversão de energia, solar e outras, em produtos (ODUM, 1998). Em termos de sistemas, o agroecossistema se posiciona na interface entre os sistemas naturais e sociais, e que não somente agem como fonte de inputs (insumos), mas também como dreno de “outputs” (produção) (HOLANDA, 2003).

O monitoramento da qualidade ambiental é fundamental para a avaliação da efetividade dos esforços aplicados em sua conservação. Os métodos de avaliação e monitoramento de processos ambientais têm se

pautado pela utilização de indicadores que são parâmetros que permitem avaliar atributos de áreas ou processos, possibilitando monitorar tendências de mudanças ambientais ou diagnosticar causas de um problema ambiental (DALE; BEYELER, 2001). Mesmo sendo tratados para estudo e avaliação de florestas pode-se extrapolar para uma agroflorestal como aborda este estudo.

O desenvolvimento de indicadores é uma área crítica da pesquisa em ecologia florestal, pois, ainda que a fundamentação para a sua seleção esteja razoavelmente bem estabelecida, a maior tarefa remanescente é testá-los e validá-los (NOSS, 1999). Para Eiswert e Haney (2001), a confiabilidade dos indicadores depende de atributos como sensibilidade, especificidade e capacidade de predição.

A seleção de indicadores deve, segundo Manoliadis (2002):

- i) Estar intimamente ligada aos objetivos do projeto;
- ii) Propiciar a abordagem efetiva do processo;
- iii) Ser definida claramente, de forma a evitar confusões na aplicação ou interpretação;
- iv) Ser realista e considerar os custos para sua coleta;
- v) Ter alta qualidade e confiabilidade;
- vi) Considerar escalas temporal e espacial adequadas.

No Brasil, a partir da década de 1980 o desenvolvimento de técnicas de restauração florestal tornou-se mais intenso, bem como a edição de normas legais sobre o assunto e a aplicação de recursos públicos e privados em projetos executivos. Apesar disso, só recentemente o monitoramento de áreas reflorestadas tem sido objeto de pesquisas. A seleção de indicadores foi discutida, dentre outros, por Rodrigues e Gandolfi (2000).

Dentre os parâmetros estruturais dos reflorestamentos merece especial destaque a altura, o diâmetro e a cobertura de copas, esta última definida por Greig-Smith (1983) como a proporção do solo ocupada pela projeção

perpendicular da parte aérea dos indivíduos da população ou comunidade em análise.

A cobertura promovida pelo dossel controla a quantidade, qualidade e distribuição temporal e espacial da luz, determinando níveis diferenciados de umidade do ar, temperatura e condições de umidade do solo (JENNINGS; BROWN; SHEIL, 1999), além de promover a interceptação das chuvas, reduzindo o impacto direto sobre o solo. Dessa forma, a cobertura é o maior determinante do micro-habitat interno da floresta, afetando o crescimento e sobrevivência de plântulas, determinando a composição florística da comunidade, afetando processos de oxidação da matéria orgânica e controlando processos erosivos.

Várias são as técnicas para estimativa da cobertura por copa, e índices de sombreamento que acabam se dividindo em três categorias, baseadas em diferentes unidades geométricas: plano, ponto e linhas (FLOYD; ANDERSON, 1987). Os métodos para estimativa da cobertura de copas são influenciados pela deciduidade, sendo necessária, para uma boa caracterização da comunidade, a realização de pelo menos duas medidas anuais. Jennings; Brown e Sheil (1999), estudando diferentes métodos para estimar cobertura, concluíram que não é possível recomendar o melhor método, posto que a decisão por um deles dependa da natureza do estudo. Esses autores ressaltaram que limitações logísticas e operacionais seriam muito importantes na decisão sobre qual método utilizar. Influenciado por esses questionamentos uma metodologia alternativa conservadora foi associada à metodologia padrão da área da elipse, a fim de considerar a característica decidual das espécies.

Os métodos indiretos (não destrutivos) são bastante utilizados por serem mais práticos. Neste trabalho a área sombreada foi obtida e corrigida pela área foliar em porcentagem. A correção pela área foliar considera a densidade de folhas dessa copa e não somente as dimensões longitudinais e transversais, uma vez que são espécies caducifólias com arquiteturas de copas e folíolos distintos. Assim objetivou-se obter uma metodologia conservadora que não superestime e sim pondere a área real de sombreamento.

No início da década de 1990, a comunidade científica, consciente da importância do solo para a qualidade ambiental e para a sustentabilidade agrícola, iniciou a abordagem sobre qualidade do solo (QS). A qualidade do solo, estudada por Vezzani e Mielniczuk (2009) como a capacidade em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida vegetal e animal saudável na face da Terra. Um dos desafios atuais da pesquisa é como avaliar a qualidade de um solo de maneira simples e confiável. Ela pode ser medida por meio da quantificação de alguns atributos, ou seja, de propriedades físicas, químicas e biológicas, que possibilitem o monitoramento de mudanças, a médio e longo prazo, no estado de qualidade desse solo. Pode ser monitorada, por exemplo, através dos valores de V%, que é a porcentagem de saturação por bases. O conhecimento da porcentagem de saturação por bases é muito importante para conhecer o nível de fertilidade do solo. Atributos como a sensibilidade ao manejo e por se relacionar às funções básicas do solo, conferem ao parâmetro químico V% características de um indicador com grande potencial.

O V% refere-se à saturação de bases do solo, um parâmetro muito importante para conhecer a fertilidade. O V% é estimado pela relação entre a soma de bases (S) e a capacidade de troca de cátions (T) a pH 7,0, ou seja: $V = (S/T) \times 100$. A capacidade de troca de cátions (T) evidencia a habilidade do solo de reter e trocar íons positivamente carregados na superfície coloidal. Os valores da soma de bases (S) são obtidos pela soma dos valores dos cátions trocáveis Ca, Mg, K e Na.

Um solo que apresenta baixo V% significa que existe uma maior adsorção de Al^{3+} e H^{+} e quantidades menores dos cátions básicos Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , adsorvidos nos coloides do solo. O Al^{3+} tóxico poderá aparecer nos solos ácidos comprometendo o desenvolvimento radicular das plantas e menor absorção de água e nutrientes. O V% indica quanto por cento dos pontos de troca de cátions, nos coloides, estão ocupados por bases, ou, em outras palavras, quanto por cento das cargas negativas estão ocupadas por Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+} , em relação aos pontos de troca dos cátions ácidos H^{+} e Al^{3+} . Assim sendo, conhecendo-se o valor do V%, pode-se determinar a

percentagem de saturação por ácidos (M %). Se um solo tem um valor $V = 35\%$, significa que 65% está ocupado por H^+ e Al^{3+} . Costuma-se dizer que o solo que apresentar a percentagem de saturação por bases (V%) maior que 50% é considerado um solo fértil (eutrófico). Solos com V menor que 50% seriam chamados de solos não férteis ou de baixa fertilidade (distrófico).

Na avaliação de aspectos ambientais podemos lançar mão de análises químicas, físicas e biológicas. Quanto à dinâmica desse ambiente essas avaliações serão sempre indiretas. Neste caso, o uso do rendimento anual da cana bem como o incremento de volume de madeira e fixação de carbono pelas árvores pode ser uma saída pertinente para se conhecer a produtividade e a evolução desse sistema como proposto.

2.3 A cultura da cana-de-açúcar

Desde o início da nossa colonização até os dias atuais, a cana-de-açúcar vem se firmando como um dos principais pilares da nossa economia. Num primeiro momento, utilizando-se trabalho escravo e com pouca mecanização, produzia-se açúcar, rapadura e aguardente, objetivando atender às demandas da colônia e dos mercados europeus. A partir do início da introdução da cultura da cana-de-açúcar no Brasil até o início do século XX ela ficou limitada a uma área muito abaixo do que temos atualmente; tendo oscilado seu crescimento, passando por momentos de glória e apogeu devido a vários fatores, mas sempre cultivada na faixa litorânea do país (FIGUEIREDO, 2008).

Atualmente, utilizando-se mão de obra assalariada e alta tecnologia, a produção de açúcar, álcool, derivados, mais a energia elétrica, procuram atender tanto ao consumo interno quanto à exportação. Este novo momento das atividades canavieiras está voltado às demandas da sociedade no geral, sendo com a venda de energia elétrica às concessionárias onde as usinas estão instaladas, com a produção de etanol como combustível e açúcar para indústrias alimentícias. Ao contrário do que sempre ocorreu até o século

passado, hoje o controle das unidades processadoras é conduzido por grandes empresários nacionais e também de grupos de investidores estrangeiros.

No Brasil, a cana-de-açúcar pode ser considerada uma das culturas mais intensas em tecnologia há pelo menos 30 anos. Os altos custos do controle químico de insetos e doenças, muito foi investido no desenvolvimento de controles alternativos, como o melhoramento genético, o controle biológico e o cultural, que tem o potencial de transformar a cana-de-açúcar em uma das atividades agrícola com mais baixos índices mundiais de uso de defensivos e insumos químicos por hectare (SZMRECSÁNYI, 1994).

A cana-de-açúcar ocupa hoje pouco mais de 2% de toda a terra agricultável do país, sendo atualmente, o Brasil o maior produtor mundial, com um terço da produção mundial, seguido por Índia, Tailândia e Austrália. As regiões de cultivo são Sudeste, Centro-Oeste, Sul e Nordeste, permitindo duas safras por ano, privilegiando que durante todo o ano o Brasil produza açúcar, etanol, energia e outros subprodutos, para os mercados interno e externo (ANUÁRIO DA CANA, 2009). O país produz mais de 490 milhões de toneladas de cana-de-açúcar por ano (safra 2011/2012) atingindo o primeiro lugar na produção mundial de açúcar e o segundo na produção mundial de etanol, responsável por 20% da oferta. O Brasil é reconhecido e elogiado mundialmente pelo forte componente renovável de sua matriz energética com 47% da energia originária de fontes renováveis. O setor sucroenergético tem papel-chave nesse quadro: a cana-de-açúcar, matéria-prima para a produção de etanol e bioeletricidade, é a segunda maior fonte de energia do país, respondendo por 18% de toda a energia consumida pelo Brasil. Esta atividade responde por US\$ 48 bilhões do PIB setorial e US\$ 15 bilhões em exportações, gerando 1,2 milhão de empregos diretos.

Estima-se atualmente que 39% (330 milhões de hectares) do território brasileiro estejam ocupados por atividades agropecuárias. Mais de 9 milhões de hectares dessa área, concentradas nas regiões Centro-Sul e Nordeste, com plantios de cana-de-açúcar. O Estado de São Paulo é o maior produtor e participa com cerca de 5 milhões de hectares de área plantada com cana, sendo responsável por mais de 50% da área total e da produção. Os dados de

produção do Estado de São Paulo na última safra são de 305 milhões de toneladas de cana, 22 milhões de toneladas de açúcar e 12 milhões de m³ de etanol (UNICA, 2012).

Hoje a cana-de-açúcar brasileira conta com os menores custos de produção de açúcar e de álcool por tonelada de cana do mundo, o que tem contribuído muito para a sua competitividade no mercado. Essa competitividade é fruto da evolução da mecanização no campo, o domínio tecnológico de processamento e principalmente os investimentos em pesquisas. A tecnologia dos motores bicomustíveis contribuiu para um crescimento na produção de cana-de-açúcar. A ampliação da capacidade de moagem e o surgimento de novas usinas provocaram um aumento na área colhida provocando a valorização das terras em várias regiões do país. Nos últimos anos, a colheita mecanizada vem crescendo e, em 2008, 13,6% da área foi colhida desta forma. A cultura da cana-de-açúcar no Brasil teve grandes avanços nas últimas quatro décadas e, atualmente, o país é uma referência mundial em tecnologias de produção de cana e seus derivados. Essas pesquisas e tecnologias nacionais têm permitido o aumento da competitividade e sustentabilidade do sistema.

Baseado nessas premissas, a tendência do setor é de uma contínua expansão dos infundáveis e monótonos canaviais com seus ambientes artificialmente simplificados. A atual preocupação dos meios acadêmicos com a preservação dos recursos como premissa de sustentabilidade da vida sobre o planeta, bem como o surgimento de legislação específica de proteção ambiental, resulta em ações práticas no sentido de recuperar áreas consideradas de fundamental importância para manutenção dos mananciais existentes.

2.3.1 Impactos ambientais causados pela cultura da cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar em sistema convencional é considerada uma das atividades responsáveis por desequilíbrios ecológicos no ambiente agrícola, principalmente nestes últimos 50 anos em nosso país. Até o início dos

anos de 1980 a agricultura era praticamente desvinculada das questões ambientais. Assim, as mudanças na agricultura e na estrutura fundiária impulsionada pelo Proálcool e pela abertura de novas fronteiras agrícolas, trouxeram consequências ao ambiente, advindas do monocultivo e da exploração não sustentável dos recursos naturais, como água e solo. A situação de monocultura, aliada à ocupação de extensas áreas, gerou preocupações quanto à sustentabilidade desta atividade agrícola, sob o aspecto ambiental (SZMRECSÁNYI, 1994).

O zoneamento agroambiental da cana-de-açúcar anunciado em 17 de setembro de 2009 pelo governo federal, Decreto nº 6961, proíbe o plantio de canaviais em determinadas áreas do país. O objetivo do decreto é limitar a expansão desenfreada de monoculturas em determinados espaços territoriais. Os biomas Amazônia e Pantanal estão incluídos nessa proibição. De acordo com o zoneamento agroambiental, as áreas proibitivas somadas a aquelas não indicadas para o plantio de cana-de-açúcar alcançam 92,5% do território brasileiro, restando 7,5% do território nacional, o que eleva de 8 milhões para 64 milhões de hectares o estoque de terras aptas para o plantio de cana-de-açúcar (UNICA, 2012).

Pode ser obtido de um único plantio de cana-de-açúcar de 5 a 7 colheitas, sendo que após cada ciclo deve se fazer altos investimentos para que a renovação do canavial proporcione boa produtividade da colheita seguinte. Dentre esses investimentos, encontra-se o custo com agrotóxicos para o controle de insetos e plantas espontâneas, os quais provocam sérios prejuízos à cultura. Para o controle desses organismos, nos dias de hoje, emprega-se o uso de inseticidas e de herbicidas. Esses produtos, além de elevar o custo da cultura, apresentam persistência prolongada no ambiente, podendo eliminar partes significativas de populações de organismos benéficos, e ainda serem levados pelas águas das chuvas, pelo processo de lixiviação, para mananciais aquáticos, podendo contaminar peixes e outras espécies de seres vivos.

O agroecossistema canavieiro, baseado na monocultura extensiva, apresenta-se como um problema para a conservação, tendo em vista que a

estabilidade e resiliência dos ecossistemas naturais são fragilizadas neste processo (VIEIRA, 2007; SILVEIRA, 2012). Assim, torna desfavorável à presença de alta biodiversidade, pela conseqüente perda de habitat e pelos efeitos do isolamento, sendo as aves um dos grupos faunísticos prejudicados (KAGEYAMA, 2003).

Na atualidade, tanto a comunidade científica quanto à sociedade civil têm se preocupado com as questões ambientais e a preservação da vida no planeta. Assim, surge a perspectiva do cultivo orgânico da cultura da cana-de-açúcar. Isso tem levado os produtores a adequar a atividade agrícola a uma ação que seja ambientalmente correta e economicamente viável, crescendo a procura por métodos alternativos ao controle químico, abrindo, desta forma, grande oportunidade para a implementação de pesquisas com agentes de controle biológico.

A colheita mecanizada também é uma realidade no Estado de São Paulo, pelo menos há uma década, sistema este implantado para suprir a redução da mão de obra braçal, atender as legislações ambientais e trabalhistas, além de melhorar a competitividade do setor. Apesar do decreto lei estadual do Estado de São Paulo ter prorrogado o prazo para a paralisação total da queima até o ano de 2030, as usinas e destilarias vêm diminuindo as áreas queimadas, paulatinamente, a cada ano. A colheita mecanizada proporciona a extinção do uso do fogo na cultura canavieira, método este utilizado para reduzir a palha, material indesejável para o transporte e processamento da cana-de-açúcar. Com a palha residual deixada em campo de cultivo, há uma melhora significativa na matéria orgânica incorporada em solo, redução na perda de água por evapotranspiração e lixiviação de nutrientes. Por outro lado é uma forma de colheita que exerce maior compactação do solo e decaimento da colheita por sacrificar algumas soqueiras que são arrancadas pelo processo mecanizado mais agressivo para a planta.

2.3.2 Zoneamento agroambiental da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo

O Estado de São Paulo tinha 82% de suas terras cobertas com florestas tropicais e 14% de cerrado antes do desenfreado desmatamento; hoje, esse percentual é reduzido a pouco mais de 10% de florestas tropicais e 1% de cerrado – fragmentos localizados em reservas oficiais (CRESTANA et al., 2004).

Utilizando bases de dados sobre condições climáticas, qualidade do ar, relevo, solo, disponibilidade e qualidade de águas superficiais e subterrâneas, unidades de conservação existentes e indicadas, incluindo áreas de proteção ambiental e fragmentos florestais para incremento da conectividade, foi criado um mapa único. Ele indica áreas adequadas e inadequadas para o cultivo de cana, e regula a ocupação das terras, a instalação e ampliação de unidades agroindustriais (Figura 1).

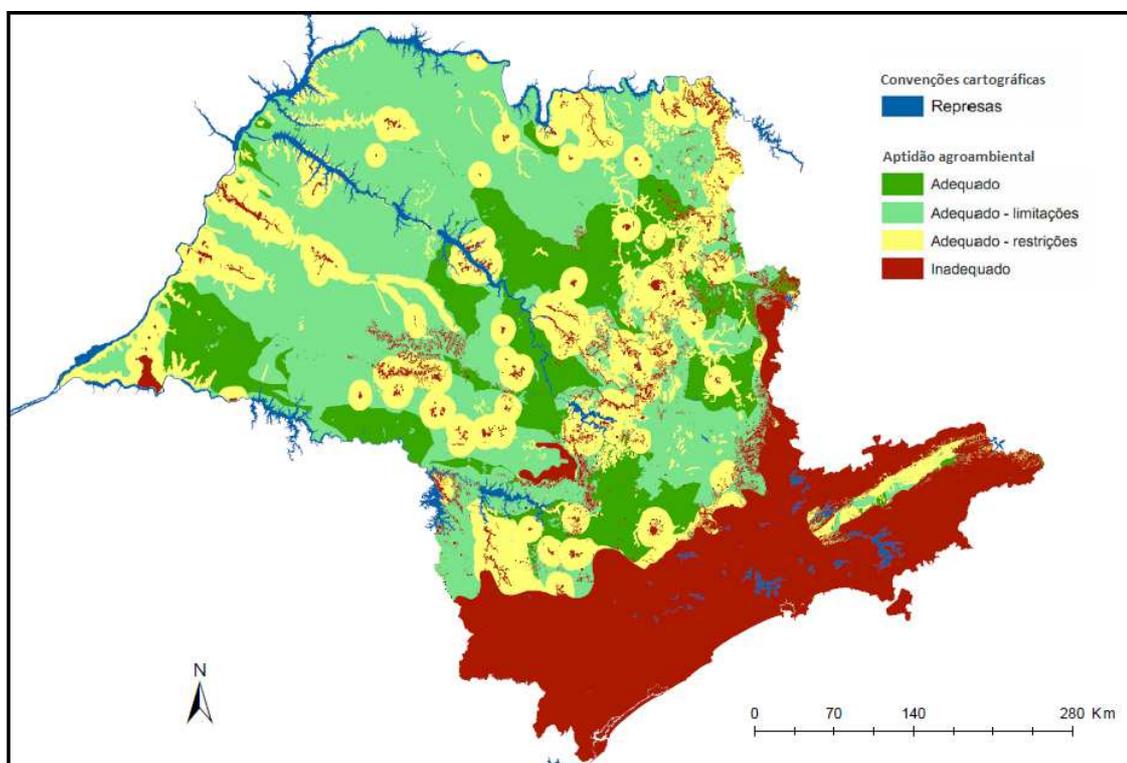


Figura 1. Mapa de zoneamento de aptidões agrícolas do Estado de São Paulo (Adaptado).

Fonte: http://www.ambiente.sp.gov.br/etanolverde/files/2011/10/mapazoneamentoagroambiental_120911.pdf (2013)

O zoneamento agroambiental da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (ZAA) foi estabelecido em 18 de setembro de 2008, por meio de uma parceria entre as Secretarias do Meio Ambiente e da Agricultura e Abastecimento do Estado. Tem como principal objetivo de disciplinar e organizar a expansão e ocupação do solo pelo setor sucroenergético, além de subsidiar a elaboração de políticas públicas voltadas para as questões relacionadas ao setor. O zoneamento possibilita o efetivo planejamento do setor canavieiro, levando em conta a sustentabilidade da atividade (SILVA et al., 2012).

O mapa do zoneamento identifica as áreas pelas cores verde, amarelo e vermelho, determinando, com menor ou maior grau, as restrições para a instalação de novas unidades industriais. As áreas marcadas em verde e em amarelo são consideradas adequadas para a atividade, com gradação que varia de verde-escuro, verde-claro e amarelo. O verde-escuro representa as áreas adequadas para a cana, que devem seguir as regras em vigor. O verde-claro indica limitações ambientais para o licenciamento de novas unidades, enquanto o amarelo significa restrições ambientais, com um maior grau de exigências. As áreas em vermelho são consideradas inadequadas e estão concentradas na faixa litorânea onde, além das grandes unidades de conservação do Estado, registram-se as maiores declividades de terreno.

A resolução determina que, nas áreas verdes ou amarelas, qualquer empreendimento que pleitear licenciamento para nova unidade ou expansão da existente deverá demonstrar adequação no manejo de defensivos agrícolas nas áreas de drenagem a montante dos pontos de captação de águas para abastecimento público. Nas demais áreas adequadas, as exigências serão maiores ou menores, dependendo da classificação do local. A cor com menor nível de exigência é a relativa às áreas verde-escuras, nas quais os estudos deverão contemplar a minimização da utilização de recursos hídricos, além de proteger e recuperar as espécies nativas no entorno de nascentes e nas Áreas de Preservação Permanente (APP).

Nas áreas adequadas com limitações ou restrições ambientais – verde-claro ou amarelo, no mapa – as exigências são maiores, tais como análises de

águas subterrâneas e monitoramento contínuo de emissões de poluentes como material particulado e óxidos de nitrogênio, nas chaminés das caldeiras a bagaço.

Para licenciamento nas áreas amarelas – adequadas com restrições ambientais – será exigida demonstração de viabilidade, por meio de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), independente do seu porte. Nas áreas classificadas como inadequadas, não serão aceitos pedidos de licenciamento ambiental para instalação ou ampliação de empreendimentos existentes do setor sucroalcooleiro.

2.4 Plantio em aleias

Na oposição ao modelo dominante na agricultura atualmente, as experiências dos sistemas agroflorestais (SAFs) buscam implantar práticas adequadas de uso e recuperação do solo e de outros recursos naturais em diferentes biomas e ecossistemas, e ajudar a mudar realidades de desigualdades sociais, econômicas, político culturais, e de degradação ambiental em diferentes regiões do país. Tais experiências visam construir novos tipos de relações nas dimensões ambientais, socioeconômicas e culturais, transformando-as na direção da construção de uma sociedade socialmente justa, eticamente responsável e ambientalmente sustentável. São perspectivas de desenvolvimento rural que atendam ao objetivo de melhoria de qualidade de vida das populações rurais, e bem estar da sociedade de países como o Brasil e de outros do mundo em desenvolvimento.

Desde a Convenção do Clima e a assinatura do Protocolo de Kyoto, o interesse pelo estudo de fluxos e captação de gás carbônico (CO₂) entre ecossistemas terrestres e a atmosfera cresceu substancialmente, principalmente em sistemas florestais das áreas tropicais e subtropicais do globo. Nessas áreas o crescimento das árvores é mais acelerado, resultando em maiores taxas de fixação de carbono e conseqüente remoção de CO₂ da atmosfera.

Devido às dimensões dos canaviais, um sistema agroflorestral qualquer seria incompatível com as técnicas de cultivo devido à sistematização e os tratamentos culturais empregados desde o plantio até a colheita. Uma boa solução seria a implantação de um sistema de cultivo com árvores nativas caducifólias, com valores ambientais e econômicos, que interferissem minimamente na produtividade e no manejo do canavial.

Os sistemas agroflorestrais (SAFs) podem contribuir para a solução de problemas no uso dos recursos naturais, por causa das funções biológicas e socioeconômicas que podem desenvolver. A presença de árvores no sistema traz benefícios diretos e indiretos, tais como o controle da erosão e manutenção da fertilidade do solo, o aumento da biodiversidade e a diversificação da produção. Segundo Young (1994), a inclusão de componentes arbóreos aparece como uma estratégia para incrementar a entrada de matéria orgânica no solo. Esse aporte promove a ciclagem de nutrientes, aumenta a capacidade de troca de cátions e de retenção de água no solo, e estimula a atividade da comunidade microbiológica e da fauna edáfica, que atuam como agentes de controle biológico e condicionadores do solo.

Esses sistemas visam uma produção contínua e diversificada, apresenta caráter conservacionista, aumentando a produção e a renda do agricultor, além de reduzir o risco de prejuízo na perda de uma cultura (MACDICKEN; VERGARA, 1990).

Existem vários tipos de SAFs: quintais agroflorestrais, cultivo de faixas em culturas perenes, aleias, multistratos, capoeira melhorada, cerca viva, árvores em pasto, pastagens em plantações florestais entre outras. As árvores utilizadas em SAFs podem ter diversas funções: arborização de pastos e culturas, barreiras vivas, cercas vivas, quebra-ventos, revegetação de áreas degradadas, fonte de proteína para animais, adubação verde, bosque de proteção, fornecimento de matriz energética para obtenção de biocombustíveis, apicultura, forragem, alimentação e celulose (SANTOS, 2000).

O cultivo em aleias baseia-se no princípio de que é possível obter um uso produtivo e sustentável da terra, com diversificação de fontes de renda

para o produtor, quando os métodos de conservação e reabilitação são introduzidos antes que ocorra degradação séria dos recursos (KAYA; NAIR, 2001). Esse sistema é uma prática agroflorestal na qual árvores ou arbustos são estabelecidos em fileiras também chamadas de renques e as culturas anuais são cultivadas nas linhas entre as fileiras, ou seja, em faixas. De acordo com Nair (1993), o parâmetro usado que mais avalia a finalidade do sistema em aleias é o rendimento nas culturas. Neste estudo a cultura utilizada foi a cana-de-açúcar e as espécies arbóreas, o ipê amarelo, o cedro e guapuruvu.

Para Kang e colaboradores (1997), o cultivo em aleias é um modelo de sistema agroflorestal em que culturas agrícolas são intercaladas com espécies arbóreas plantadas em linhas. Essas plantas podem ser periodicamente podadas durante o cultivo, servindo o material da poda de adubo verde ou no caso deste estudo utilizar espécies caducifólias, que perdem suas folhas ao longo de seus ciclos facilitando a ciclagem de nutrientes e entrada de luz.

Estudos controlados comprovam essas afirmações. Conforme Mafra e colaboradores (1998), a produção de fitomassa em sistema agroflorestal com aleias de leucena (*Leucaena diversifolia*) resultou no aporte de 11,036 Kg.ha⁻¹ de massa seca. Além disso, promoveu a elevação dos teores de matéria orgânica (MO), nitrogênio (N) e fósforo (P) nos solos de cerrado cultivados em sistema de aleias quando comparado com solos em sistema convencional.

Resultados similares foram obtidos em experimento empregando aleias de leucena entre faixas com cultivo de milho, tomate, cebola, batata doce, onde foi observado uma elevação nos teores de fósforo (P), potássio (K), soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC), além da elevação do pH (potencial hidrogeniônico), nas áreas cultivadas no sistema agroflorestal em relação às áreas em cultivo convencional (BERTALOT et al., 2006).

O aumento da atividade microbiológica no solo também é observado experimentalmente em sistemas agroflorestais com aleias. Amostras de solo coletadas do sistema em aleias no campus experimental da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) - São Luís: as coletas foram realizadas em duas épocas do ano (Julho/2006 e Abril/2007), a duas distâncias (0 m e 0,5 m) do tronco de três leguminosas (*Leucaena leucocephala*, *Clitoria fairchildiana* e

Acacia mangium) e em área testemunha (sem leguminosas) na profundidade de 0 – 20 cm. O solo coletado foi utilizado para avaliar a capacidade infectiva dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) nativos, densidade e identificação de glomerosporos. Determinou-se que o sistema em aleias aumenta o potencial de infectividade dos FMAs nativos dependendo da espécie de leguminosa arbórea associada, estação de coleta e proximidades das árvores. Dezesesseis espécies de FMAs foram encontradas na área distribuídas em cinco gêneros, sendo o *Scutellospora* o mais representativo (NOBRE et al., 2010).

A escolha da espécie florestal e o manejo do cultivo em sistema de aleias são cruciais para os bons resultados agronômicos e ambientais. Marin, Menezes e Salcedo (2007) testando a produtividade do milho solteiro e em sistema de aleias com gliricídia (*Gliricidia sepium*) observaram que a incorporação de esterco e de ramas da planta ao solo aumentou a produtividade de milho no sistema de cultivo em aleias. O sistema de cultivo em aleias produziu maior quantidade de biomassa do que o sistema sem aleias.

Para Abdo, Valeri e Martins (2008) a adoção dos SAFs exige um conhecimento técnico mais complexo, um custo de implantação mais elevado e uma maior dificuldade de mecanização que pode encontrar no pouco conhecimento técnico, aliado a falta de tradição dos agricultores, uma barreira à alta produtividade esperada, desestimulando a adoção e difusão desses novos modelos. A produtividade por área de cada cultura deve ser avaliada, levando-se em conta a nova situação. A diminuição da produção por componente do consórcio não pode ser avaliada isoladamente, pois na mesma área poderemos obter um rendimento maior ao longo do tempo quando incorporamos novas culturas no local e os ganhos ecológicos ambientais devem ser contabilizados mesmo que de difícil mensuração. A exploração de espécies florestais também deve ser feita de forma a causar o menor dano possível às culturas agrícolas implantadas nos SAFs.

Pinto (2002) com auxílio de mapas de solo, cobertura vegetal e programas de computador avaliou o cultivo de cana-de-açúcar em sistema agroflorestais em Piracicaba - SP e concluiu que SAFs em aleias são

alternativas viáveis para o cultivo da cana-de-açúcar especialmente em solos susceptíveis a altas taxas de erosão, sugerindo diversas espécies arbóreas exóticas e nativas, destacando entre elas a seringueira e o eucalipto.

Em solos em declive, as fileiras podem ser plantadas ao longo das curvas de nível, sem ocupar a área de cultivo agrícola. O cultivo em aleias também pode oferecer alguma proteção durante chuvas irregulares, pois as fileiras de árvores ajudam a reduzir o escoamento superficial e aumentar a infiltração da água no solo além de exercerem função como quebra-vento. Uma questão a ser observada seria o impedimento da queima da palha, prática ainda realizada em algumas regiões, mas cuja proibição total já está prevista para os próximos anos no Estado de São Paulo.

As distâncias das aleias devem ser suficientemente grandes para não causar sombreamento na cultura da cana, (é conhecido que um excesso de sombra pode ser prejudicial), por isso deve ser corretamente determinada através de experimentos controlados. Para Read (1964) e Leal (1986) distâncias entre as linhas de árvore e cultura de grãos a partir de 1,5 a 2 H, sendo H a altura das árvores, a produção agrícola é normal ou acima da média. Nesta mesma abordagem Durigan e Simões (1987) comentam que a presença das árvores provoca perdas nas linhas de cultivo próximos as aleias até 1 H e os efeitos benéficos se fazem sentir a partir de 2 H até 30 H.

O conhecimento das características qualitativas e quantitativas de um povoamento florestal é de fundamental importância para avaliar a produção e obter informações que permitam a melhor utilização das florestas. Uma árvore, sob o ponto de vista dendrométrico, apresenta diversas características ou variáveis que a identifica e que têm, portanto, um interesse particular. A altura, tal como o diâmetro, são características importantes da árvore e/ou povoamento, necessárias quando se deseja conhecer o comportamento de uma espécie em um determinado local, ao longo do tempo. Para o manejo florestal, é importante o conhecimento destas variáveis, pois traduzem as respostas em crescimento das árvores segundo os fatores do meio em que vegetam.

2.5 Árvores nativas

Considerando que os canaviais ocuparam na maioria das vezes, áreas originalmente desflorestadas, as espécies arbóreas empregadas na formação de aleias em um sistema árvore-cana, idealmente deveriam ser compostas de árvores nativas da região em questão. Assim, antes de tudo deve-se definir o que é árvore nativa.

Importantes elementos da natureza, as árvores são vitais para o funcionamento dos ecossistemas onde estão inseridas. Cada espécie de árvore nativa possui características próprias e, por isso, deve ser valorizada pelos diversos benefícios que pode proporcionar. Esses organismos podem ser usados de diversas maneiras: para recreação, pesquisa e aprendizado. A floresta também nos proporciona serviços: assegura o abastecimento de água por meio da preservação de bacias hídricas e lençóis freáticos; fornece meios de subsistência aos povos que residem em suas proximidades; insumos para a produção de medicamentos e cosméticos; madeira para a produção de móveis, carvão, papel, construção de edifícios e outros; regula o clima global mediante o sequestro de carbono; conserva a biodiversidade; e protege o solo contra erosões, conservando sua fertilidade.

Embora para muitos técnicos o conceito de “nativas brasileiras” representasse o caminho a ser seguido, deve-se destacar que, para as plantas, a delimitação geográfica de um país, estado ou cidade não tem significado algum. O que de fato determina a ocorrência e a distribuição espacial das espécies são as características bióticas e abióticas locais, o que é expresso pela classificação da formação vegetacional ou fitofisionomia e se reflete muitas vezes no grau de endemismo (espécies únicas de uma determinada região) (SANTOS et al., 2007).

Para Silva (2012), árvores nativas são aquelas cuja presença é natural em uma região, ou seja, árvores que a natureza gerou e fez evoluir em um determinado ambiente. O fato de as espécies nativas serem naturalmente adaptadas às regiões onde ocorrem é muito importante para o equilíbrio

ambiental, pois existem complexas relações dos demais organismos com essas árvores.

Mesmo para as espécies de ocorrência em uma determinada região, as variações locais de solo e relevo podem condicionar a distribuição espacial das mesmas, formando um mosaico de diferentes comunidades vegetais na mesma paisagem. Mesmo que essas espécies não regionais (nativas brasileiras que não pertencem à formação vegetacional onde será realizada a restauração florestal) venham a ter um bom desenvolvimento inicial, essas espécies podem apresentar problemas futuros de sobrevivência e de perpetuação no local em função de fatores ambientais característicos daquele sistema, como geadas, períodos de forte déficit hídrico, ventos e inundação, para os quais as espécies regionais desenvolveram adaptações ao longo de sua evolução. Em se tratando de ambientes profundamente alterados pelo homem, os quais possuem características bem diferentes das originalmente presentes naquele local, existe ainda a possibilidade de que espécies nativas brasileiras, mas não regionais, venham a se tornarem invasoras e entrem em desequilíbrio (BRANCALION et al., 2007).

Dentre as características já conhecidas e levantadas das espécies vegetais para utilização nos plantios, não podemos esquecer a importância de informações, sob os aspectos da história natural das espécies, como: (1) sistema sexual; (2) estratégia de polinização; (3) estratégia de dispersão; (4) estratégia de regeneração, entre outros. Este tipo de informação é fundamental para se inferir sobre demandas e exigências ecológicas de cada espécie e, desta forma, identificar o potencial de utilização das mesmas em modelos de reflorestamento, podendo planejar a melhor maneira de disposição das espécies em um plantio, conforme já descrito anteriormente em relação aos grupos funcionais (BELLOTTO; RODRIGUES; NAVE, 2007).

Algumas árvores nativas podem ser plantadas em conjunto com pastagens e agricultura, gerando benefícios a essas atividades. Exemplos: fornecimento de alimento e sombra para gado, proteção contra geadas, abrigo para animais predadores de pragas, auxiliar na recuperação e adubação do solo e controle de erosão (SILVA, 2012).

Dessa forma, a escolha da espécie arbórea para a formação de aleias para um sistema agroflorestal com interação árvore-cana, deve ser uma decisão muito bem avaliada, abrindo grande espaço para pesquisas nessa área visto as dimensões dos canaviais brasileiros, bem como a imensidão da sua flora nativa e suas possibilidades de utilização na silvicultura e pelas funções ambientais exercidas.

2.5.1 Ipê amarelo (*Handroanthus* spp.)

A posição taxonômica do ipê amarelo obedece à seguinte hierarquia: Divisão Magnoliophyta (Angiospermae); Classe Magnoliopsida (Dicotyledonae); Ordem Lamiales; Família Bignoniaceae; Gênero *Handroanthus*; Espécies *Handroanthus serratifolia* (Vahl) Nichols e *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex A. DC.) Mattos (SOUZA; LORENZI, 2005).

As sinonímias botânicas são *Bignonia araliacea* Cham., *B. conspicua* Rich. Ex DC., *B. flavescens* Vell., *B. serratifolia* Vahl, *Gelsemium araliaceum* (Cham.) Kunt., *G. speciosum* (DC.) Kunt., *Handroanthus araliaceus* (Cham.) Mattos, *H. attractocarpus* (Bur. & Schum.) Mattos, *H. flavescens* (Vell.) Mattos, *Handroanthus araliacea* (Cham.) Mor. & Britt., *H. monticola* Pitt., *Tecoma araliacea* (Cham.) DC., *H. attractocarpa* Bur. & Schum., *H. conspicua* DC., *H. flavescens* (Vell.) Mart. ex DC., *H. nigricans* Klotz., *H. patrisiana* DC., *H. serratifolia* (Vahl) G. Don, *H. speciosa* DC. e *Vitex moronensis* Mold. Essa espécie vegetal é conhecida por diferentes nomes populares como: ipê, ipê-amarelo, ipê-do-cerrado, ipê ovo-de-macuco, ipê-pardo, ipê-tabaco, ipê-uva, paud'arco, pau-d'arco-amarelo, piúva-amarela, opa e tamurá-tuíra (FERREIRA; CHALUB; MUXFELD, 2004).

Outras espécies do gênero *Handroanthus* também apresentam flores amarelas, porém podem ser distinguidas de *H. serratifolia* por meio das seguintes características: *H. vellosi* possui corola de 8-10 cm de comprimento; as flores coexistem com as folhas adultas; sua distribuição é restrita (Bahia, Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Mato Grosso

do Sul). *H. alba* apresenta folíolos adultos glabros na face superior e denso tomentosos na face inferior; os frutos são revestidos por tomento aveludado; sua distribuição é restrita (Rio de Janeiro e Minas Gerais até o Rio Grande do Sul). *H. chrysotrichus* é uma árvore de 4-10 m de altura, que possui folíolos pubescentes em ambas as faces; os ramos novos e os pecíolos são cobertos por densa pubescência ferruginosa; as flores apresentam riscos avermelhados internamente no gargalo da corola; ocorre do Espírito Santo até Santa Catarina. *H. ochraceae* é uma árvore de 6-14 m de altura com tronco tortuoso; os folíolos são muito rígidos e densamente pilosos, principalmente na face inferior; os frutos são pilosos. *H. umbellata* apresenta folíolos pubescentes em ambas as faces; os frutos são vagens deiscentes cilíndricas e compridas; ocorre em Minas Gerais, Rio de Janeiro até o Rio Grande do Sul. *H. aurea* apresenta tronco tortuoso e ocorre na Região Amazônica e Nordeste até São Paulo e Mato Grosso do Sul. *H. caraiba* é uma árvore de 12-20 m de altura com tronco tortuoso, que ocorre na Região Amazônica e Nordeste até São Paulo e Mato Grosso do Sul (FERREIRA; CHALUB; MUXFELD, 2004).

A madeira do ipê amarelo possui densidade básica de $0,92 \text{ g.cm}^{-3}$ (ZANNE et al., 2009). Trata-se de uma madeira pesada, muito dura e resistente ao apodrecimento e ao ataque de fungos e cupins. Possui superfície pouco brilhante, lisa, oleosa e de coloração pardo-clara até pardo-acastanhado-escuro, com reflexos esverdeados. É moderadamente difícil de ser processada, porém apresenta secagem fácil e rápida. São empregadas em marcenaria, construções pesadas e estruturas externas, tanto civis quanto navais. A árvore é utilizada em paisagismo e arborização urbana, devido as suas atrativas flores amarelas; entretanto, não deve ser plantada próxima a residências ou em calçadas públicas, pois seu sistema radicular pode danificar o calçamento e a rede de esgoto e, ainda, causar o entupimento de calhas no período em que perde suas folhas. A madeira é muito resistente a apodrecimento quando em contato com o solo; é também classificada como sendo muito resistente a cupins subterrâneos e apresenta igual resistência a cupins que atacam a madeira seca, segundo IBAMA (2013). O preço médio do metro cúbico de

pranchas de ipê no Estado do Pará cotado em janeiro e fevereiro de 2012 foi R\$1.800,00 e na região de Sorocaba - SP foi de R\$3.100,00 (CEPEA, 2012).

Originária do Brasil o ipê amarelo, considerada árvore-símbolo do Brasil é a espécie de ipê mais utilizada em paisagismo. Durante o inverno, ocorre a caducifolia. No início da primavera, entretanto, ela cobre-se inteiramente com sua floração amarela, dando origem ao famoso espetáculo do ipê-amarelo florido. Quanto mais frio e seco for o inverno, maior será a intensidade da florada (SILVA, 2012). Ocorre no Brasil, Guiana Francesa, Guiana, Suriname, Venezuela, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia. No Brasil, estende-se da Amazônia e Nordeste até São Paulo. É uma planta decídua, heliófila, característica da floresta pluvial densa, sendo também largamente dispersa nas formações secundárias, como capoeiras e capoeirões; porém, tanto na floresta como na capoeira, prefere solos bem drenados situados nas encostas. Sua dispersão é geralmente uniforme e sempre muito esparsa sendo que hoje se estende por todo o território nacional devido a sua adaptabilidade (FERREIRA; CHALUB; MUXFELD, 2004).

Seu tronco tem característica de crescimento retilíneo, porém pode apresentar curvaturas onde se ramificam por entre 5 e 8 m de altura, possuindo coloração acinzentada. Suas folhas são compostas tomentosas (pilosas), filotaxia oposta, com face superior verde e a inferior de coloração prateada, dispostas de 5 a 7 folíolos, com ápice pontiagudo, base arredondada e margem serreada. Forma uma copa larga e alongada na base (LORENZI, 1992).

Além da espécie *H. serratifolia*, que é o ipê amarelo, possuem outras espécies como *H. chrysotricha* (ipê mulato), *H. odontodiscus* (ipê branco) e *H. impetiginosa* (ipê roxo) possuem florada de rara beleza e, por isso, são muito usadas como árvores ornamentais, econômicas e ecológicas em território brasileiro.

A floração é sincronizada, rápida e anual. No Pará, a floração ocorre entre julho e outubro e a frutificação entre outubro e novembro. No Acre, a floração ocorre entre julho e agosto e a frutificação entre agosto e setembro. A floração acontece durante ou logo após a queda completa das folhas. Os eventos reprodutivos são observados em árvores com 7 anos de idade e 8-10

m de altura, em áreas abertas, e em árvores com 10-15 m de altura, na floresta. Os principais polinizadores são as abelhas. A dispersão das sementes é anemocórica (FERREIRA; CHALUB; MUXFELD, 2004).

2.5.2 Cedro (*Cedrela fissilis* Vell.)

Coforme Carvalho (2005) de acordo com o Sistema de Classificação de Cronquist, a posição taxonômica do cedro obedece à seguinte hierarquia: Divisão Magnoliophyta (Angiospermae); Classe Magnoliopsida (Dicotyledonae); Ordem Sapindales; Família Meliaceae; Sub-Família Swietenioideae; Gênero *Cedrela*; Espécie *Cedrela fissilis* Vellozo (SOUZA; LORENZI, 2005).

As sinonímias botânicas são *Cedrela brasiliensis* Adr. Jussieu; *Cedrela brunellioides* Rusby; *Cedrela huberi* Ducke; *Cedrela macrocarpa* Ducke; *Cedrela regnelli* C. de Candolle; *Cedrela tubiflora* Bertoni. Essa espécie vegetal é conhecida por diferentes nomes populares em diferentes unidades da federação: Acre (cedro); Alagoas (cedro-verdadeiro); Bahia (cedro-amarelo, cedro-batata, cedro-branco-batata, cedro-de-carangola, cedro-fofo, cedro-dorido, cedro-rosado, cedro-verdadeiro, cedro-vermelho); Espírito Santo (cedro-vermelho); Goiás (cedro-branco); Mato Grosso do Sul (cedro-rosa); Minas Gerais (cedro-branco, cedro-rosa); Pará (cedro-roxo); Paraná (cedrinho e cedro-rosa); Estado do Rio de Janeiro (cedro-amarelo e cedro-rosa); Rio Grande do Sul (cedro-branco); Santa Catarina (cedro-batata, cedro-rosa); Estado de São Paulo (cedro, cedro-amarelo, cedro-batata, cedro-branco, cedro-rosa, cedro-da-várzea e cedro-vermelho).

O nome genérico *Cedrela* deriva de *cedrus*, porque a árvore rescende perfume à semelhança do legítimo cedro e o epíteto específico *fissilis* vem do latim *fissilis*, que pode ser fendido (KLEIN, 1984).

É uma árvore decídua, com 8 a 40 m de altura e 20 a 300 cm de diâmetro médio, na idade adulta (RODRIGUES, 2000). O tronco é cilíndrico, reto ou pouco tortuoso, com ausência de sapopemas ou pouco desenvolvido. Fuste com até 15 m de comprimento, com ramificação dicotômica, copa alta,

densifoliada, múltipla, típica. A casca tem espessura de até 40 mm, sendo a casca externa marrom a pardo-acinzentada, com fissuras longitudinais profundas e largas, muito típicas e a casca interna é avermelhada a amarelada, com odor agradável (IVANCHECHEN, 1988).

Apresenta inflorescência densa axilar de 30 cm a 60 cm de comprimento, raque esparsa a densamente pubescente. Com flores dioicas; flores masculinas mais alongadas que as femininas, amadurecendo em tempo diferente destas, com pétalas esverdeado-brancas, às vezes rosadas no ápice, com 12 mm de comprimento. O fruto é do tipo cápsula piriforme deiscente, septado, abrindo-se até mais da metade por cinco valvas longitudinais, lenhosas, espessas, rugosas, marrom-escuras, com lenticelas claras, com 3 a 10 cm de comprimento e 3 a 3,5 cm de largura, pesando cerca de 13 g, com aproximadamente 30 a 100 sementes viáveis por fruto. São aladas numa das extremidades, comprimida lateralmente, bege a castanho-avermelhada, com pequeno núcleo seminal, com até 35 mm de comprimento por 15 mm de largura. Os vetores de polinização são insetos, podendo ser mariposas ou abelhas.

É uma árvore frondosa, produz uma das madeiras mais apreciadas no comércio, tanto brasileiro quanto internacional, por ter coloração semelhante ao mogno e, entre as madeiras leves, é uma das que possibilita o uso mais diversificado, sendo superada apenas pela madeira do pinheiro-do-paraná (IPEF, 2013).

O cedro é adaptado aos tipos climáticos: temperado úmido, subtropical úmido, subtropical de altitude e tropical. Floresce de agosto a setembro e seus frutos amadurecem com a árvore totalmente desfolhada de junho a agosto. Produz anualmente grande quantidade de sementes viáveis. Árvores plantadas iniciam o processo reprodutivo entre 10 a 15 anos de idade e a dispersão se dá pela queda das sementes no solo, dentro do fruto ou pela ação dispersante do vento (BRINA, 1998). Ocorre principalmente em solos profundos e úmidos, mas bem drenados e com textura argilosa a arenoargilosa. Solos rasos ou com camadas de pedras e áreas de lençol freático superficial não são favoráveis ao seu desenvolvimento (CARVALHO, 2005). Essa espécie é também

recomendada para recuperação de ecossistemas degradados e para a restauração das matas ciliares em locais com ausência de inundação, com isso é utilizada para recomposição de vegetação como secundária inicial até secundária tardia, no processo de sucessão ecológica. Esta essência também é promissora para a recuperação de solos contaminados por metais pesados (MARQUES; MOREIRA; SIQUEIRA, 2000).

O cedro é uma essência parcialmente tolerante a sombra no estágio juvenil e heliófila no estágio adulto. Apresenta tolerância bastante variável a baixas temperaturas, de medianamente tolerante a tolerante. Em florestas naturais, árvores adultas toleram temperaturas de até $-10,4^{\circ}\text{C}$. Apresenta hábito irregular e variável, quando atacada pela broca-do-cedro (*Hypsipyla grandella*). Quando livre do ataque, apresenta forma satisfatória e ramificação leve. Apresenta desrama natural deficiente, necessitando de poda de condução, decepa e poda dos galhos, periódica e frequente. Os indivíduos eventualmente atacados pela broca devem sofrer podas corretivas anuais nos primeiros três anos (CARVALHO, 2005).

O plantio puro, a pleno sol, é desaconselhado, pela acentuada vulnerabilidade ao ataque da broca-do-cedro. Os plantios puros feitos em várias regiões do Brasil resultaram sempre em fracasso total ou acentuado. Devido as suas características ecofisiológicas, por apresentar maior produtividade sob condições menos intensas de luz, é adequado para plantios mistos.

Andrade (1957) sugere associá-lo com o jamelão (*Syzygium cumini*) na Região Nordeste, e com cinamomo (*Melia azedarach*), como forma de reduzir a incidência da broca-do-cedro. Não se conhece o efeito da cana-de-açúcar, que apresenta um ciclo vegetativo rápido, como agente de proteção das árvores nos estágios iniciais contra o ataque da praga.

O cedro é uma espécie de crescimento relativamente rápido, podendo se comportar como espécie secundária inicial ou tardia. A madeira do cedro possui densidade básica de $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$. Trata-se, portanto, de uma madeira leve a moderadamente densa (ZANNE et al., 2009).

A madeira serrada ou roliça pode ser usada para construção civil, carpintaria, naval e aeronáutica, movelaria, marcenaria, confecção de instrumentos musicais e esculturas. O cedro é uma espécie com alto potencial para reflorestamento, seja para restauração de ambientes degradados, sequestro de carbono, paisagismo ou plantios com fins econômicos.

2.5.3 Guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake)

Conforme Carvalho (2005) e de acordo com o Sistema de Classificação de Cronquist, a posição taxonômica do guapuruvu obedece à seguinte hierarquia: Divisão Magnoliophyta (Angiospermae); Classe Magnoliopsida (Dicotyledonae); Ordem Fabales; Família Caesalpiniaceae (Leguminosae Caesalpinoideae); Gênero *Schizolobium*; Espécie *Schizolobium parahyba* (Vellozo) (SOUZA; LORENZI, 2005).

As sinonímias botânicas são *Cassia parahyba* Vellozo, *Schizolobium excelsum* Vogel, *Schizolobium parahybum* Blake. Essa espécie vegetal é conhecida por diferentes nomes populares em diferentes unidades da federação: Bahia (bacurubu, fcheira, pau-de-uirgem, pinho e pino); Minas Gerais (birosa, breu, guaperuvu); Pernambuco (guapuruvu); Estado do Rio de Janeiro (bacurubu, bandarrra, fava-divina, guapuruvu); Rio Grande do Sul (guavirovo); Santa Catarina (bucurubu, bacuruvu, gapuruvu, garapuvu, igarapobu); Estado de São Paulo (bageiro, bacuruvu, bacuru, bacurubu, fava-divina, ficha, fcheira, guapiruvu, guapuruvu e pau-de-canoa).

Segundo Rodrigues (1997) o nome genérico *Schizolobium* significa “legume duro”; e o nome específico *parahyba* se refere ao Rio Paraíba, onde a espécie foi vista pela primeira vez por Vellozo.

O guapuruvu é uma árvore de rápido e vigoroso crescimento. Ela é apropriada para jardins extensos, assim como parques e praças, modificando em poucos anos a paisagem. Além do aspecto escultural de seu caule e copa, esta bela árvore ainda nos presenteia com uma floração espetacular. Sua madeira é clara, leve e macia, prestando-se para a caixotaria, artesanato,

construção civil e fabricação de embarcações. Estuda-se também sua utilização como fonte de celulose. É uma espécie pioneira, indicada para recuperação inicial de áreas degradadas. Sua floração é atrativa para as abelhas. Quando plantado em espaçamento adequado, permite consórcio com cultivos permanentes ou de ciclo curto.

O guapuruvu é uma árvore semicaducifólia, quando adulta apresenta entre 10 a 40 metros de altura e 30 a 120 cm de diâmetro médio. Seu tronco é cilíndrico, podendo apresentar sapopemas. Pode apresentar fuste com até 15 metros de comprimento, ramificação cimosa, copa ampla, umbeliforme característica. A casca externa apresenta espessura de até 5 mm, quase lisa, cinzenta quando adulta e verde quando jovem, provida de marcas conspícuas transversais ovaladas, em relevo, deixadas pela queda das folhas e, com presença de lenticelas. A casca interna é esbranquiçada com textura fibrosa. Planta monoica, sendo o vetor de polinização principalmente as abelhas como: *Apis mellifera* (abelha-europeia ou abelha africanizada), *Friesella schrottkyi* (mirim-preguiça), *Plebeia remota* (mirins), *Paratrigona subnuda* (jataí-da-terra), *Tetragonisca angustula* (jataí), *Trigona spinipes* (irapuá), *Bombus morio* e *Bombus atratus* (mamangavas) (MORELLATO, 1991).

A floração ocorre entre os meses de julho a novembro, no Estado de São Paulo; de agosto a novembro, no Estado do Rio de Janeiro; de setembro a outubro, em Minas Gerais; de setembro a dezembro, no Paraná; de outubro a dezembro, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, e de janeiro a fevereiro, em Pernambuco. Os frutos amadurecem entre os meses de março até agosto, no Paraná; de abril a agosto, em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul; de abril a outubro, no Estado de São Paulo, e de julho a agosto, em Minas Gerais e em Pernambuco. O processo reprodutivo inicia a partir de 6 anos de idade, em plantios. A dispersão de frutos e sementes: anemocórica, pelo vento e, autocórica, principalmente barocórica, por gravidade.

No Brasil a ocorrência natural no desta espécie esta distribuída entre as latitudes 12°30' S (Bahia) a 30°15' S (Rio Grande do Sul). A variação altitudinal é de 10 m, na região litorânea, a 900 m de altitude, no Estado de São Paulo.

Quanto aos aspectos ecológicos ou sucessional trata-se de uma espécie pioneira a secundária inicial ou clímax exigente de luz. Quanto a características fitossociológicas o guapuruvu, além de ocorrer na floresta primária, é comum dominando as capoeiras altas e florestas secundárias. Pode formar grupamentos densos em grandes clareiras; é raro na floresta alta e densa. Não é árvore muito longeva (JESUS, 1997).

As regiões fitoecológicas de ocorrência natural da espécie é a Floresta Ombrófila Densa (Floresta Atlântica), onde ocupa o dossel superior da floresta; subespontânea na Floresta Estacional Semidecidual. Em um levantamento fitossociológico realizado no Estado de São Paulo, foram encontrados 45 árvores por hectare (NASTRI et al., 1992).

Em relação às exigências edáficas Carneiro e colaboradores (1998) relatam que *Schizolobium parahyba* apresenta pouca exigência concernente à fertilidade química do solo onde o mesmo ocorre naturalmente em todo o Vale do Paraíba. As terras primam pelo baixo teor em nutrientes, causado em parte pela exaustão consequente às culturas que datam desde os tempos coloniais. Entretanto, em plantios, o guapuruvu cresce melhor em solos de fertilidade química boa, profundos e úmidos, bem drenados e com textura que varia de franca a argilosa. Solos rasos, de baixa fertilidade, de textura arenosa ou demasiadamente secos, são inadequados para a espécie.

Quanto a associação simbiótica, as raízes do guapuruvu apresentam nódulo radicular ou associam-se com *Rhizobium*. Apresenta incidência de micorríza arbuscular. Essa espécie foi pouco responsiva à adição conjunta de superfosfato e de fungos micorrízicos arbusculares *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarita* (CARNEIRO et al., 1998).

Quanto as características silviculturais o guapuruvu é uma espécie essencialmente heliófila. Ele não tolera baixas temperaturas. Contudo, sob condições microclimáticas, é medianamente tolerante ao frio. Apresenta crescimento monopodial, com fuste reto e ramificação só no alto. Apresenta desrama natural intensa, na fase jovem. A poda de condução é necessária somente nas plantas afetadas pelas geadas.

O guapuruvu pode ser plantado a pleno sol, em plantio puro ou misto, principalmente no tutoramento de espécies secundárias a clímax. Por apresentar crescimento rápido e copa ampla, recomenda-se espaçamento mínimo de 16 m² por planta ou densidade não superior a 300 árvores.ha⁻¹. Brota após corte, não só da base como em qualquer altura do tronco, principalmente quando afetado por geadas (CARVALHO, 2005).

A espécie é recomendada para sistema agroflorestais associado com culturas perenes como bananeira, ou de ciclo curto como a mandioca. Nesse sistema, pode ser usado produzindo madeira para desdobro, com rotação provável para corte de dez a quinze anos. Quando em condições ambientais e de cultivo adequadas, o guapuruvu é uma das espécies de mais rápido crescimento nas regiões Sul e Sudeste do Brasil apresentando, também, forma retilínea. A produtividade volumétrica máxima registrada é 45 m³.ha⁻¹.ano⁻¹, aos 10 anos (BAGGIO; CARVALHO, 1990). A madeira do guapuruvu possui densidade básica de 0,32 g.cm⁻³. Trata-se, portanto, de uma madeira leve (ZANNE et al., 2009).

2.5.4 Autorização de manejo florestal

Por se tratar de espécies nativas brasileiras, é necessário que se faça um projeto de manejo florestal para que se possa retirar a madeira desse reflorestamento no futuro. Neste caso o órgão regularizador é a Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais - CBRN. O reflorestamento comercial dessas espécies é perfeitamente legal, mas é imprescindível que se diferencie totalmente das regras de obrigatoriedade de Reserva Legal (RL) e Área de Preservação Permanente (APP) de cada Estado do Brasil. Desde 1993 o Estado de São Paulo (PORTARIA DEPRN 16/1993) considera livre a exploração de florestas plantadas em áreas já antropizadas:

Art 1. É livre a exploração de florestas plantadas (reflorestamento) desde que não tenham sido plantadas com vinculação a qualquer órgão público e não sejam consideradas de preservação permanente.

Também o Ministério do Meio Ambiente considera a atividade livre da apresentação de projeto técnico e de vistoria desde 2001. Esta posição vem sendo apresentada em sucessivas Instruções Normativas, sendo a mais recente e em vigor a IN MMA Nº 03, DE 08 DE SETEMBRO DE 2009 que dispõe sobre a isenção de apresentação de projeto e de vistoria técnica para o plantio e condução de espécies florestais, nativas ou exóticas, com a finalidade de produção e corte em áreas de cultivo agrícola e pecuária alteradas, subutilizadas ou abandonadas, localizadas fora das Áreas de Preservação Permanente e de Reserva Legal.

No entanto as atividades florestais têm obrigações a cumprir. A obrigatoriedade de reserva legal é um fato, porém é passível de manejo florestal. Medidas burocráticas devem ser tomadas para que o projeto se enquadre nos moldes da lei de exploração florestal brasileira, assim o manejo e o corte poderão ser autorizados. O órgão ambiental responsável apresenta as atividades correlacionadas ao licenciamento: averbação de Reserva Legal e das Áreas de Preservação Permanente. Recentemente uma RESOLUÇÃO conjunta da Secretaria do Meio Ambiente e da Secretaria da Agricultura – N. 6 DE 20 DE DEZEMBRO DE 2010 dispõe sobre o licenciamento ambiental para atividades agropecuárias no Estado de São Paulo. O licenciamento deve ser formulado de acordo com esta resolução e o código florestal LEI Nº 12.651, DE 25 DE MAIO DE 2012 que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa, no qual os arts. 21, 22, 23, 24 e 31 são os mais esclarecedores regulamentando com os seguintes dizeres:

Art. 31. A exploração de florestas nativas e formações sucessoras, de domínio público ou privado, ressalvados os casos previstos nos arts. 21, 23 e 24, dependerá de licenciamento pelo órgão competente do Sisnama, mediante aprovação prévia de Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS que contemple técnicas de condução, exploração, reposição florestal e manejo compatíveis com os variados ecossistemas que a cobertura arbórea forme.

Art. 21. É livre a coleta de produtos florestais não madeireiros, tais como frutos, cipós, folhas e sementes, devendo-se observar:

- I - os períodos de coleta e volumes fixados em regulamentos específicos, quando houver;
- II - a época de maturação dos frutos e sementes;
- III - técnicas que não coloquem em risco a sobrevivência de indivíduos e da espécie coletada no caso de coleta de flores, folhas, cascas, óleos, resinas, cipós, bulbos, bambus e raízes.

Art. 22. O manejo florestal sustentável da vegetação da Reserva Legal com propósito comercial depende de autorização do órgão competente e deverá atender as seguintes diretrizes e orientações:

- I - não descaracterizar a cobertura vegetal e não prejudicar a conservação da vegetação nativa da área;
- II - assegurar a manutenção da diversidade das espécies;
- III - conduzir o manejo de espécies exóticas com a adoção de medidas que favoreçam a regeneração de espécies nativas.

Art. 23. O manejo sustentável para exploração florestal eventual sem propósito comercial, para consumo no próprio imóvel, independe de autorização dos órgãos competentes, devendo apenas ser declarados previamente ao órgão ambiental a motivação da exploração e o volume explorado, limitada a exploração anual a 20 (vinte) metros cúbicos.

Art. 24. No manejo florestal nas áreas fora de Reserva Legal, aplica-se igualmente o disposto nos arts. 21, 22 e 23. (BRASIL, 2012)

Bonfim (2009) ao realizar pesquisas com sistemas agroflorestais apontou a legislação e a regularização fundiária com relação às Áreas de Preservação Permanente e as Reservas Legais como as principais limitações. Entretanto, a partir da alteração do código florestal, essas limitações devem ser reavaliadas; uma vez que no contexto advindo com essas alterações às áreas mais sensíveis e também de reservas estão sob novo sistema de manejo.

Qualquer atividade que envolva a supressão de vegetação nativa depende dessa autorização, seja qual for o tipo da vegetação (mata atlântica, cerrado e outras) e o estágio de desenvolvimento (inicial, médio, avançado ou clímax) deve seguir tal procedimento. Mesmo um simples bosqueamento (retirada da vegetação do sub-bosque da floresta) ou a exploração florestal sob o regime de manejo sustentável, para retirada seletiva de exemplares comerciais (palmito, cipós, espécies ornamentais, espécies medicinais, toras

de madeira, etc.) não podem ser realizados sem o amparo da autorização para supressão ou intervenção em área de preservação permanente.

O Estado de São Paulo recebe suporte da RESOLUÇÃO SMA - 44, DE 30 DE JUNHO DE 2008 que define critérios e procedimentos para a implantação de SAFs na qual dispõe:

Art. 1. Esta Resolução define critérios e procedimentos para expedição de autorizações para a implantação e exploração de Sistemas Agroflorestais nas seguintes situações:

I - Áreas de Preservação Permanente localizadas em pequena propriedade ou posse rural familiar desprovida de vegetação nativa ou recoberta por vegetação secundária de Mata Atlântica em estágio inicial de regeneração;

II - Recomposição de Reservas Legais definidas no Código Florestal;

III - Recomposição e manejo de Reservas Legais localizadas em pequena propriedade ou posse rural familiar;

IV - Áreas recobertas por vegetação secundária de Mata Atlântica em estágio médio de regeneração localizada em pequena propriedade ou posse rural familiar;

V - Áreas recobertas por vegetação secundária de Mata Atlântica em estágio inicial de regeneração.

O licenciamento deve partir do desenvolvedor do projeto que necessita acionar o órgão estadual, no caso de São Paulo, a CETESB e solicitar a autorização para supressão de vegetação nativa. O órgão fornecerá todas as informações de documentação e procedimentos para a licença ser obtida, atualmente o processo pode ser iniciado online pelo site: http://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/cetesb/intervencoes_doc_nativa.asp.

A legislação supracitada regulamenta uma diversa gama de possibilidades para implantação de desenhos agroecossistêmicos de paisagens agroflorestais como, por exemplo, a proposta nesta dissertação. Desta forma protege a vegetação nativa e não restringe atividades sociais econômicas extrativistas contribuindo para a sustentabilidade da vida no planeta.

2.6 Fixação de carbono

A fixação de carbono indica processos de absorção e armazenamento de CO₂ atmosférico, com finalidade de mitigar seus impactos no ambiente, já que se trata de um gás de efeito estufa (GEE). O alvo desse processo é frear e reverter o acúmulo de CO₂ atmosférico, visando manter em níveis aceitáveis para o efeito estufa não se predispondo a um sobreaquecimento global (RENNER, 2004).

O conceito de fixação de carbono normalmente se relaciona com a ideia de armazenar reservas de carbonos em solos, florestas e outros tipos de vegetação. Também se promove o incremento nas reservas de carbono pelo estabelecimento de novas plantações florestais, sistemas agroflorestais e pela recuperação de áreas degradadas. Em teoria, o efeito da captura por processos de reflorestamento, pode ser quantificado estimando-se o armazenamento de carbono atmosférico na biomassa e no solo da floresta.

Embora o aquecimento seja global, e, portanto, um problema comum a todos, ele é sentido de forma muito diferenciada entre países e grupos sociais distintos, sobretudo entre os industrializados e os em desenvolvimento, onde alguns perdem mais, outros menos, e talvez alguns até ganhem em curto prazo. A ideia de fixação de carbono normalmente se relaciona com o potencial armazenamento de carbono nas florestas e outros tipos de vegetação. Assim, se levar em conta as perspectivas de incremento das reservas naturais de carbono pelo estabelecimento de novas plantações florestais, sistemas agroflorestais e pela recuperação de áreas degradadas, a conservação de florestas naturais, o reflorestamento e um manejo otimizado das plantações florestais são os principais métodos mediante o qual o carbono atmosférico pode ser fixado (SANQUETTA, BALBINOT; ZILIO, 2004).

Muito se fala a respeito das mudanças climáticas, que segundo Chang (2004), são processos naturais, considerados as escalas de tempo de milhares de anos de eras geológicas. No entanto a velocidade e intensidade com que estão ocorrendo mudanças no sistema climático da Terra, a partir da Revolução Industrial, é que tem sido objeto de preocupação de cientistas e

líderes mundiais, principalmente nas duas últimas décadas. Esses fatos podem ser confirmados através dos relatórios do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas).

O fenômeno do aquecimento global, causado pelo acúmulo de gases do chamado efeito estufa, notadamente o CO₂, CH₄, óxido nítrico (NO₂), e outros, em uma camada ao redor do planeta, que impedem a volta da radiação dos raios infravermelhos ao espaço, aumentando assim o calor retido na atmosfera, já faz sentir seus efeitos.

Destaca-se que a preocupação com a emissão de carbono é mundial, e se o Brasil deseja ser um exportador de combustíveis renováveis, não pode haver dúvidas sobre o resultado no balanço final da emissão de carbono na produção destes combustíveis. Especialistas afirmam que a maneira mais eficiente de se diminuir o efeito estufa ainda é através do plantio de árvores, visto que essas fixam o carbono em sua biomassa por um período de tempo mais longo além de serem importantes fontes de matéria prima e conseqüentemente incremento de renda.

O mecanismo de sequestrar o carbono foi lançado na Convenção do Clima da ONU como um instrumento de flexibilização dos compromissos de redução das emissões de gases efeito estufa (GEE) dos países com metas de redução, no início dos anos 90. É uma das modalidades dentro do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) do Protocolo de Kyoto para compensar os compromissos de redução de emissão para mitigar as mudanças climáticas (SANQUETTA, BALBINOT; ZILLOTTO, 2004). Este mecanismo estabelece, também, que os projetos de MDL devem contribuir para o desenvolvimento sustentável do país hospedeiro ao critério de seu governo. Assim, no que diz respeito à pertinência dos projetos MDL ao país, estes devem passar pela aprovação dos respectivos governos nacionais, segundo as necessidades e prioridades específicas, a depender de sua matriz energética, condições geomorfológicas e inserção político econômica de cada país.

Existe atualmente um Mercado Mundial de Créditos de Carbono em desenvolvimento, pelo qual os países com crédito recebem um Certificado de Emissões Reduzidas (CERs), título financeiro que pode ser negociado como

uma ação da Bolsa de Valores. Nesse sentido existe um forte argumento favorável à cultura da cana-de-açúcar, visto que no processo de obtenção de combustível (etanol) o balanço da emissão de CO₂ é zero, ou seja, a quantidade emitida para a atmosfera é novamente mobilizada pela cultura durante seu processo vegetativo. No entanto, quando nesse balanço, se consideram os insumos utilizados no sistema de produção da cultura, (principalmente insumos derivados ou que para serem fabricados utilizem petróleo) existem controvérsias a respeito desse resultado. Destaca-se que a preocupação com a emissão de carbono já atinge o mercado internacional, e se o Brasil deseja ser um exportador de biocombustível, não pode haver dúvidas sobre o resultado no balanço final da emissão de carbono.

2.6.1 Inventário de carbono no Estado de São Paulo

Desde a revolução industrial, a contínua e crescente emissão de CO₂ provocada pela dependência de fontes de energias fósseis, tornou uma ameaça global, que vem sendo condenada e combatida por diversos governos e entidades sociais. Vários esforços vêm sendo feitos para minimizar essa questão, principalmente em substituição de processos por fontes limpas de energia e de produção de matérias primas. Dentre esses está a aprovação do Protocolo de Kyoto, no qual foi estabelecido que os países se comprometessem reduzir suas emissões de CO₂.

Atualmente o avanço tecnológico, o crescimento demográfico, a industrialização, conflitos entre expansão industrial e agrícola com o meio ambiente são alguns dos fatores que contribuem para interferência no ambiente, de maneira contínua e crescente. Ao longo de sua existência, o homem sempre utilizou os recursos naturais do planeta com pouca ou nenhuma preocupação, já que os recursos eram abundantes e a natureza aceitava passivamente as atividades realizadas. A partir do século XVIII, com o surgimento da revolução industrial, o modelo ou estratégia de desenvolvimento das nações consolidou suas bases técnicas e sociais. O objetivo principal era o

crescimento econômico em curto prazo, mediante a utilização de novos processos produtivos e as explorações intensivas de energia e matérias-primas, cujas fontes eram consideradas inesgotáveis. Os processos de produção tanto agrícola ou industrial utilizados para extrair matérias-primas e para transformá-las numa multiplicidade de produtos para fins de consumo, embora registrem progressos no setor das técnicas de controle de impactos, é preciso reconhecer que há métodos que propiciem um controle absoluto, equilibrando o processo produtivo com o meio ambiente (SILVA, 2012).

O Inventário de Carbono do Estado de São Paulo foi elaborado por uma rede de diversas instituições especializadas nos setores inventariados, por especialistas do assunto e coordenado pela CETESB/SMA. O Inventário Estadual foi resultado de um trabalho inédito no Brasil de elaboração de um amplo e detalhado diagnóstico das emissões de gases de efeito estufa do Estado de São Paulo no período 1990 a 2008.

Instituído pela Política Estadual de Mudanças Climáticas (PEMC - Lei Estadual nº 13.798/2009) e regulamentado pelo Decreto 55.947/2010, o documento adota o mesmo método recomendado pelo IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) para a elaboração de inventários nacionais, com adaptações para adequá-lo às condições objetivas de um governo estadual. Ainda assim, buscou-se seguir fielmente as diretrizes gerais do método, visando à elaboração de um documento cujos resultados sejam comparáveis àqueles obtidos pelos Inventários Brasileiros de Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Seguindo a classificação utilizada pelo IPCC, o Inventário foi classificado em cinco grandes setores, de acordo com a origem das emissões: energia; processos industriais; uso da terra, mudança no uso da terra e florestas; agropecuária e resíduos (CETESB, 2011).

Segundo o inventário, números indicam que o Estado de São Paulo emitiu 145 milhões de toneladas de CO₂ equivalente na atmosfera referente até 2005 e precisará cortar suas emissões em 50% para cumprir a meta estabelecida pela Política Estadual de Mudanças Climáticas. A meta é, até 2020, reduzir as emissões em 20% em relação a 2005. Isso significa chegar a

2020 emitindo 116 milhões de toneladas de CO₂ equivalente. De acordo com os estudos, caso não haja mitigação de impactos ou ações através de políticas públicas para o problema, São Paulo chegará a 2020 com 238 milhões de toneladas de emissões, pouco mais do dobro da meta.

O maior desafio tecnológico é mudar padrões na produção de energia e nos transportes, fatores estes dependentes para o crescimento econômico. Ambos respondem por 57% das emissões em 2005, que pode ser mitigado através de políticas de uso de fontes de origem vegetais renováveis e solar. O segundo setor que mais emite gases de efeito estufa é a agricultura, com 37% do total, sendo que o grande contribuinte vem da produção animal, devido à geração de CH₄. A indústria que por muitos ambientalistas acreditavam em ser o responsável por esta situação a que se encontra, apenas responde por 10%. O tratamento de resíduos contribui com 7%, sendo que poderá se tornar em um futuro breve fonte alternativa na produção de energia limpa. As mudanças no uso da terra e de florestas, devido às reduções nos desmatamentos e queimadas hoje correspondem a 1% (CETESB, 2011).

2.7 Avifauna como bioindicador

Quase um quarto da avifauna paulista ocorre em ambientes profundamente modificados, como as áreas de uso agropecuário, região que abriga aproximadamente 793 espécies de aves, cerca de 40% da avifauna brasileira (SILVA et al., 1998). As florestas estacionais semidecíduais do interior do Estado encontram-se fortemente fragmentadas, reduzindo significativamente o fluxo de dispersores e polinizadores, o que compromete a regeneração natural e o processo de sucessão das florestas (BORGES et al., 2004).

Espécies de aves, predadoras de topo e dispersoras de sementes, que invariavelmente necessitam de milhares de hectares para sobreviverem, rapidamente são afetadas (TERBORGH, 1992). Bandos mistos podem ter sua estabilidade, riqueza e abundância alteradas devido à brusca diferenciação

imposta no ambiente. Já as espécies escaladoras são impossibilitadas de frequentar o agroecossistema canavieiro pela ausência de poleiros. Por outro lado, guildas, como a dos granívoros, podem ser beneficiadas em detrimento de outras, devido ao efeito de borda ou pela própria cultura da cana (PIRATELLI; ANDRADE; LIMA FILHO, 2005). As monoculturas de cana-de-açúcar são ambientes particularmente pobres em espécies de aves, mesmo quando comparados a outros ambientes alterados (PETIT et al., 1999).

A presença de árvores no sistema traz benefícios diretos e indiretos, incluindo o aumento da biodiversidade ao acrescentar ao sistema características que se aproximam dos modelos encontrados na natureza (YOUNG et al, 1994). Apesar dos benefícios ambientais potenciais dos SAFs, existem poucos estudos que quantificam as relações entre os SAFs e a manutenção da diversidade faunística (KOH, 2008). Nesse contexto, a utilização de bioindicadores na avaliação da importância ecológica dos SAFs é de vital importância para o entendimento e manejo desses sistemas.

As aves formam um dos grupos animal mais diverso e bem estudado, podendo ser utilizadas como bioindicadoras de alterações ambientais. O conhecimento das exigências ecológicas de muitas famílias, gêneros e espécies de aves pode ser suficiente, em diversas situações, para indicar condições ambientais às quais são sensíveis (DONATELLI; COSTA; FERREIRA, 2004). Para tanto são adotados comumente dois níveis de organização biológica: o organismo e a população e/ou comunidade. O primeiro nível é utilizado para avaliar os efeitos em curto espaço de tempo e o segundo para as ações mais duradouras (ARIAS et al., 2007). A variável utilizada como indicador deve preencher os seguintes critérios: a) ser fácil de quantificar; b) ser sensível a fatores de estresse e responder de forma previsível a tais fatores; c) integrar a informação proveniente de diferentes níveis; d) apresentar variabilidade reduzida e e) ser relevante em termos de gestão e relativamente fácil de interpretar (DALE; BEYELER, 2001).

As aves apresentam muitas vantagens como bioindicadores: a) são bastante visíveis; b) são fáceis de identificar; c) ocupam níveis tróficos superiores o que lhes permite integrar variações que ocorrem nos níveis

tróficos inferiores e d) apresentam grande longevidade e, portanto, são sensíveis a impactos cumulativos (FURNESS; CAMPHUYSEN, 1997) e o estudo de ocupação de suas guildas permitem avaliar com precisão as condições ambientais tróficas onde vivem e interagem com o ambiente.

Segundo Aebischer, Coulson e Colebrookl (1990), as aves têm sido úteis no estudo das alterações climáticas e ambientais em diversos ecossistemas. Para Piratelli e colaboradores (2008) a identificação de espécies de aves e suas relações especialistas em diversos aspectos (substrato de forrageio, locais de nidificação e status de raridade), instilaram-nas como uma ferramenta útil na detecção de possíveis flutuações ambientais para a Mata Atlântica. A fauna selvagem em áreas agrícolas é um fato ainda pouco estudado. Na busca da conservação de espécies selvagens, a prioridade tem sido dirigida no sentido da preservação de remanescentes de ecossistemas naturais. Pouca atenção tem sido dada ao efetivo papel das propriedades agrícolas na manutenção da biodiversidade (GLIESSMAN, 2005).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área experimental

O experimento foi implantado em 2008 com o objetivo de avaliar a viabilidade técnica de execução, também os impactos econômicos, sociais, ambientais no solo e na paisagem e a biodiversidade no cultivo de cana-de-açúcar em um sistema agroflorestal do tipo aleias constituída por essências florestais de espécies nativas da Floresta Estacional Semidecidual brasileira.

Nesta área estão sendo utilizadas as mesmas técnicas, métodos e maquinarias usualmente empregadas por produtores de cana-de-açúcar convencional simulando uma situação real. Trata-se de uma área de estudo sob a responsabilidade do DTAiSER (Departamento de Tecnologia Industrial e Socioeconomia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos), que foi financiado pelo CNPq. Toda a dissertação está fundamentada apenas em dados parciais e, portanto, é somente parte desse projeto mais abrangente e duradouro.

O canal experimental localiza-se em uma área de 20.250 m² que apresenta altitude média de 611 m, localizada sob as coordenadas geográficas 22°18'00" S e 47°23'03" W, instalada no Centro de Ciências Agrárias (CCA) (Figura 2) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) no município de Araras, Estado de São Paulo. O clima local é do tipo Cwa, conforme o sistema Köppen (1948), ou seja, mesotérmico com verões chuvosos e invernos frios e secos. A temperatura média anual é de 21,4 °C e a precipitação média de 1.422,8 mm.

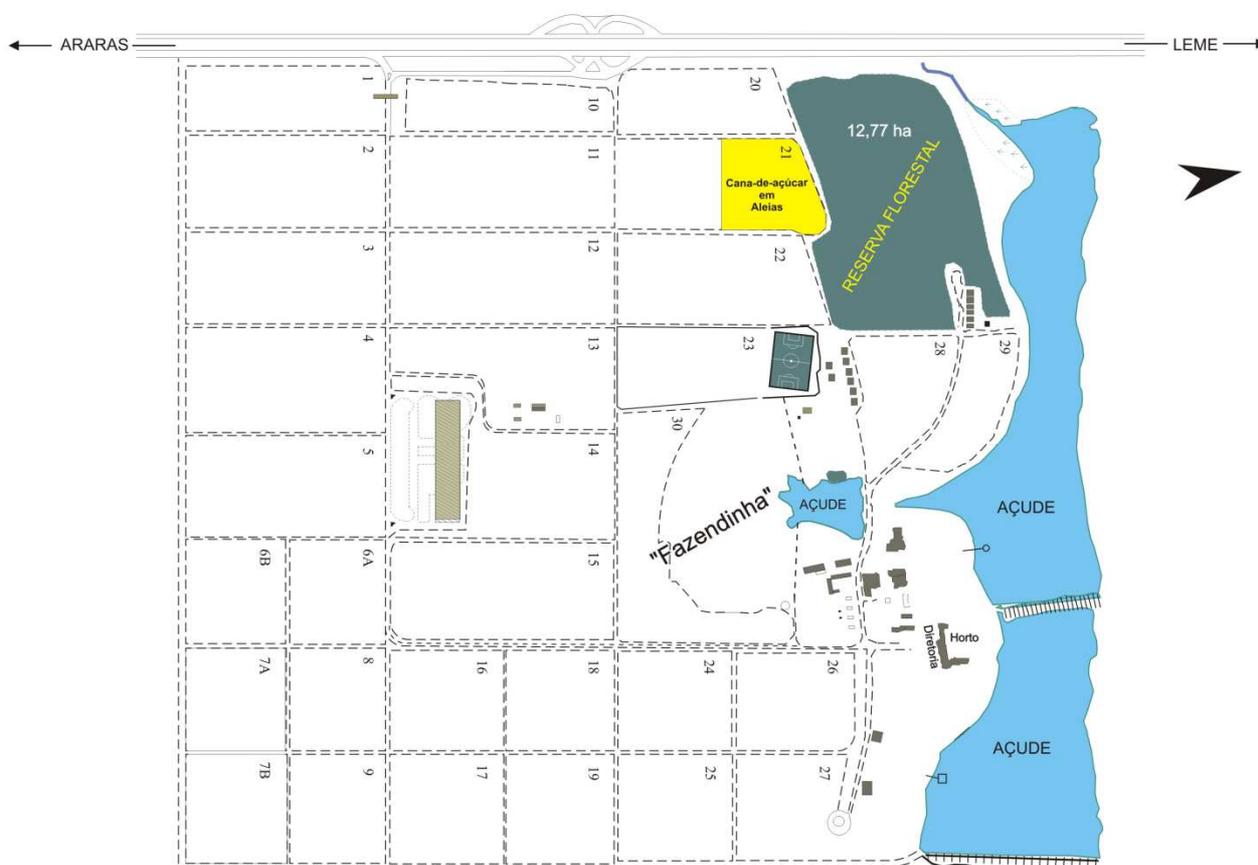


Figura 2. Croqui do Centro de Ciências Agrárias *Campus* da UFSCar em Araras-SP com a localização da área experimental em destaque.

Fonte: PMGCA - UFSCar/CCA 2013

O solo é classificado, predominantemente, como latossolo vermelho-escuro (EMBRAPA, 1999). O entorno dessa área é formado por campos de cultivo de cana-de-açúcar nos limites leste, oeste e sul, e a norte por um remanescente de Floresta Estacional Semidecidual (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991), constituindo um fragmento de 12,7 ha.

Os dados climatológicos obtidos para o local e o período de experimentação foram coletados e fornecidos pelo Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental do CCA/UFSCar e permite relacionar o rendimento da cana e o desenvolvimento das árvores com o balanço hídrico e a temperatura representados pela Figura 3, que demonstra um período de cerca de 9 meses de déficit hídrico em 2010 e de 5 meses nos anos seguintes. Um inverno mais rigoroso foi constatado em 2011 com as temperaturas mais baixas do período estando agrupadas no mês de junho.

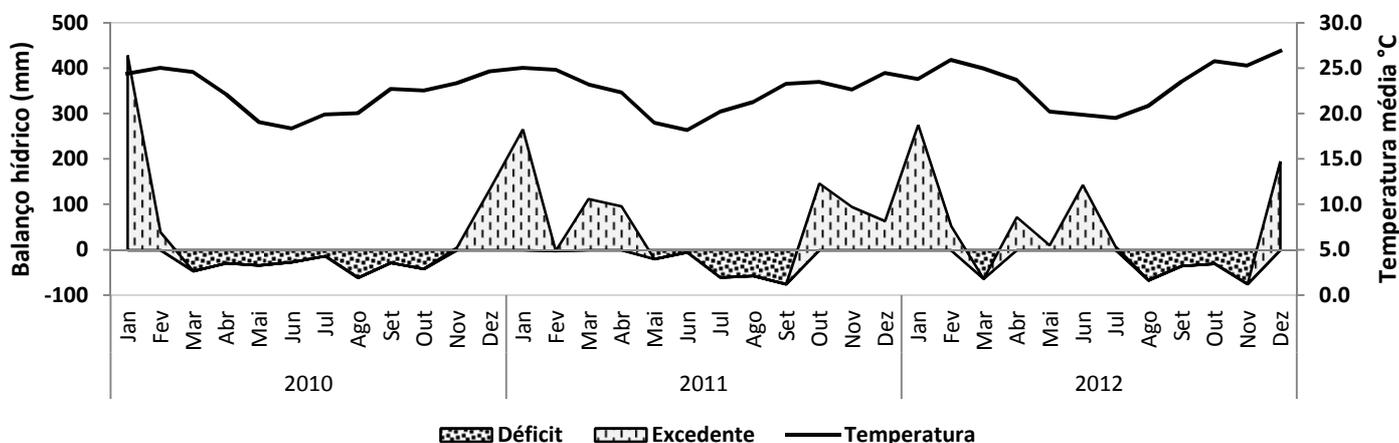


Figura 3. Termopluiogramma com base em dados de precipitação e temperatura obtidos no posto meteorológico localizado no Centro de Ciências Agrárias (CCA/UFSCar) indicando o balanço hídrico (mm) e temperatura média (°C) mensal em cultivo de cana-de-açúcar em aleias para o período de análise de dados do experimento (Jan/2010 – Dez/2012).

Fonte: UFSCar/CCA 2013

Na área experimental foram plantadas 4 aleias com 150 m de extensão, divididas em 3 segmentos de 50 m para cada espécie arbórea. Em cada segmento foram plantadas 10 mudas com espaçamentos de 5 m, totalizando 30 árvores por aleia. A cana foi plantada na distância de 1,45 m entre sulcos. Constituiu-se assim, 600 m lineares de aleias com 120 árvores. Foram estudados 3 espaçamentos entre aleias para a formação das faixas para o cultivo da cana-de-açúcar: a) 29 m (20 linhas de cana e densidade de 66,6 árvores/hectare); b) 43,5 m (30 linhas de cana e densidade de 44,4 árvores/hectare) e c) 58 m (40 linhas de cana e densidade de 33,3 árvores/hectare). Os espaçamentos foram dimensionados visando à avaliação

operacional das diferentes fases do processo e simulando adensamentos distintos de árvores em um sistema agroflorestal (Figura 4).

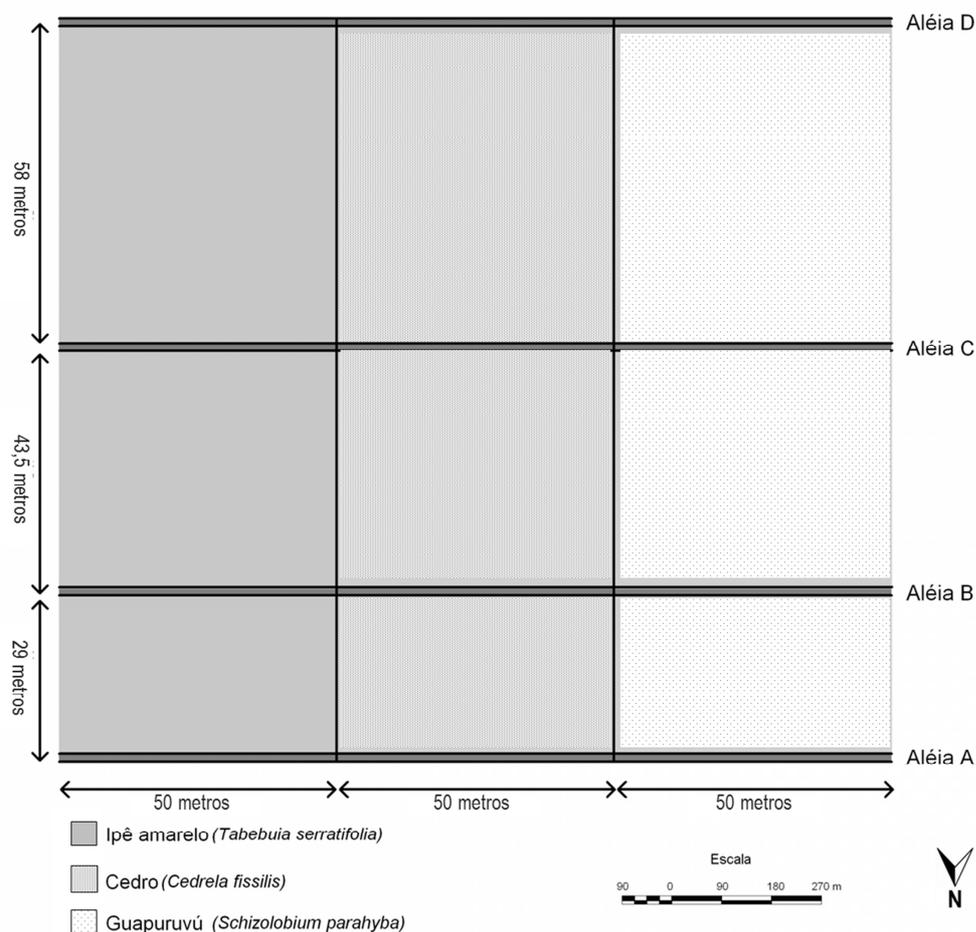


Figura 4. Croqui da área experimental com cultivo de cana-de-açúcar em faixas em um sistema agroflorestal do tipo aleias constituída por essências florestais brasileiras.

As espécies arbóreas utilizadas para constituir as aleias foram: guapuruvu (*Schizolobium parahyba* (Vell.) S.F. Blake), cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e ipê amarelo (*Handroanthus* spp.). A escolha dessas espécies da Floresta Estacional Semidecidual brasileira considerou que são espécies conhecidamente presentes na região do experimento e apresentam uma ou mais das seguintes funções ecológicas: (a) adubadeiras – espécies caducifólias, que incorporam matéria orgânica ao solo; (b) efeito paisagístico;

(c) madeireiras – possibilitam o corte em um sistema de manejo de longo prazo (mais de 15 anos).

O plantio das mudas das essências florestais com aproximadamente 2 anos de idade foi realizado em 25/11/2008 e a cana-de-açúcar da variedade RB 935744 foi plantada entre as aleias em 31/05/2009. O primeiro corte da cana foi realizado após 18 meses (cana-planta) a partir da data de plantio e com 12 meses (cana-soca) para os cortes seguintes como de praxe. A Figura 5 ilustra de forma simulada a área experimental e uma área com o redesenho proposto da matriz ecossistêmica. A Figura 6 são fotos reais da área experimental que complementam a ilustração.

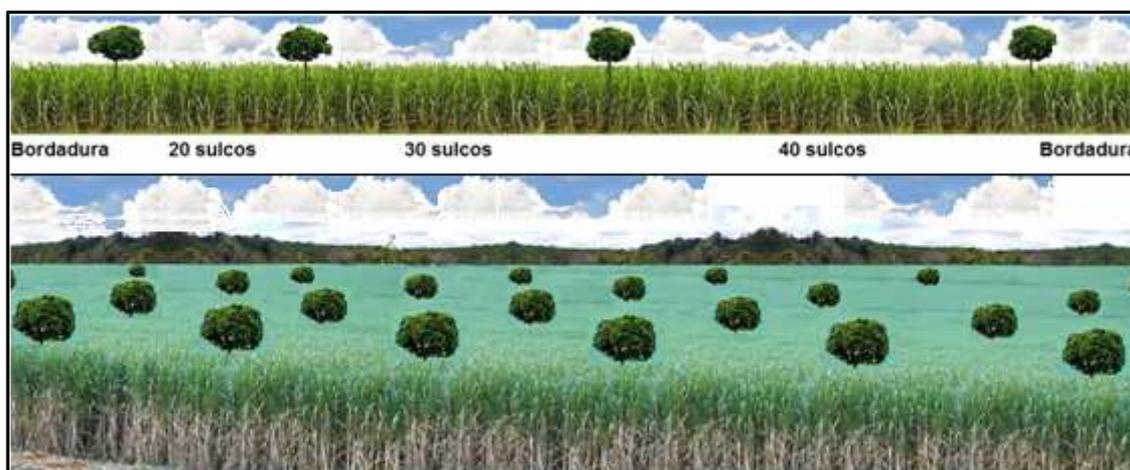


Figura 5. Disposição do canavial entre as aleias de espécies arbóreas. **(Ilustração)**



Figura 6. Fotos do sistema de cultivo de cana-de-açúcar com aleias de essências florestais brasileiras no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras – SP. O sistema: **(A)**. Aleia com espaçamento de 5 m entre árvores disposta entre linhas de cana espaçadas 1,45 m entre si. **(B)**. Aleia preparada para a colheita mecanizada da cana com a primeira linha adjacente colhida manualmente.

3.2 Análise química do solo

A análise química do solo teve como finalidade verificar como a fertilidade do solo está distribuída na área experimental e se há uma possível influência das árvores sobre a fertilidade do solo e mesmo nas condições do solo sobre a produtividade agrossilvicultural. Por isso foram feitas 2 amostragens de solo segundo em 2008 antes do plantio para definir como a área deveria ser adubada e anualmente, em 22 de fevereiro de 2010, 29 de março de 2011 e 12 de dezembro de 2012, na profundidade de 0-20 cm. As amostras foram coletadas no campo com auxílio de sonda para coleta de solo (Figura 8 - A), acondicionadas em sacos plásticos, identificadas de acordo com o ponto de amostragem (Figura 7) e transportadas para o Laboratório de Análise Química de Solo e Planta da UFSCar, logo após a coleta.

	IPÊ		CEDRO		GUAPURUVÚ		
L	1L	2L	3L	4L	5L	6L	Aléia D
K	1K	2K	3K	4K	5K	6K	58 metros
J	1J	2J	3J	4J	5J	6J	
I	1I	2I	3I	4I	5I	6I	
H	1H	2H	3H	4H	5H	6H	43,5 metros
G	1G	2G	3G	4G	5G	6G	
F	1F	2F	3F	4F	5F	6F	
E	1E	2E	3E	4E	5E	6E	29 metros
D	1D	2D	3D	4D	5D	6D	
C	1C	2C	3C	4C	5C	6C	
B	1B	2B	3B	4B	5B	6B	Aléia A
A	1A	2A	3A	4A	5A	6A	
	1	2	3	4	5	6	

50 M	50 M	50 M
------	------	------

Figura 7. Croqui dos pontos de amostragem para coleta de solo para análise química.

3.3 Implantação e monitoramento das aleias

Entre os principais critérios para a seleção de espécies para reflorestamento estão a aptidão em relação ao local e a boa produtividade. A escolha de espécies é um sério problema em países tropicais e subtropicais, onde o uso de uma espécie em local inadequado pode levar a problemas como: produtividade inferior ao potencial da região; elevada suscetibilidade ao ataque de pragas; inadaptação da espécie e produção de madeira com características inadequadas. Neste caso as espécies foram escolhidas de forma aleatória de acordo com a oferta do viveiro de nativas do local, não sendo as mudas geneticamente iguais, respeitando apenas alguns critérios citados abaixo.

O cedro e o guapuruvu foram escolhidos por serem madeireiras e caducifólias. Já o ipê por ser caducifólio e mesmo necessitando de um tempo maior para o seu aproveitamento econômico, foi escolhido em função do alto valor comercial de sua madeira e também pela sua importância na paisagem. Como parâmetro ecológico dos sistemas agroflorestais foi efetuado o monitoramento do crescimento das espécies florestais por medições e as alterações nas condições locais por dados qualitativos.

Conforme Figura 3, a área tem no total 120 árvores inicialmente, já que foram plantadas 4 aleias com 30 indivíduos cada, plantados com 5 m de distância entre árvores nas densidades apontadas pela Tabela 1. As 3 diferentes distâncias entre aleias (29 m, 43,5 m e 58 m) são interessantes para o desenvolvimento da melhor metodologia de espaçamento entre aleias, que considere o espaçamento mais utilizado para a cana que é de 1,45 m entre sulcos e permita a colheita mecanizada. As árvores foram plantadas em berços de 60 cm de diâmetro por 60 de profundidade abertos por perfuradores de solo. A posição de plantio foi exatamente entre duas linhas de cana, portando a 0,725 m de cada linha na região medial da entrelinha, não foi utilizada adubação específica, apenas o tratamento de solo comumente adotado para o plantio da cana. O modelo da forma como foi propositalmente adotado teve a finalidade de simular um canavial comercial em condições

convencionais, de forma que a colheita mecanizada fosse possível e o mínimo de interferências negativas na produtividade da cana e de acréscimos de custos de implantação e manejo ocorresse para o sistema.

Tabela 1. Densidade de essências florestais (plantas.ha⁻¹) por faixa de plantio adotada.

Faixas de plantio de cana		Ipê	Cedro	Guapuruvú
Distância entre aleias	Linhas de cana			
(m)	(Qtd)	(Plantas.ha ⁻¹)		
29	20	66.66	66.66	66.66
43.5	30	44.44	44.44	44.44
58	40	33.33	33.33	33.33

O plantio das mudas das árvores foi realizado com 6 meses de antecedência do plantio da cana-de-açúcar, nesse período, para não deixar o terreno desprotegido e improdutivo, as faixas de solo entre as aleias foram cultivadas com soja (*Glycine max (L) Merrill.*), em cultivo convencional, observando-se uma distância de 2,5 m de afastamento entre as aleias e as faixas de cultivo, para não interferir no pegamento e desenvolvimento das mudas das árvores.

As avaliações se deram trimestralmente como sugerido por Paiva (2000) para espécies florestais jovens, de forma censitária, ou seja, incluindo toda a população arbórea na qual todos os indivíduos foram monitorados. Para cada indivíduo foi avaliado a altura total (H), altura do fuste (H_f) e o diâmetro a altura do solo (DAS₃₀).

3.3.1 Dendrometria

A altura total (H) de uma árvore, na sua expressão mais simples, é definida como a distância linear entre o nível do solo e a gema apical (ápice). No entanto, podem ser definidas outras alturas ao longo do tronco, dependendo do tipo de estudo a ser realizado. No caso deste estudo a altura

do fuste também foi aferida, sendo esta definida como a distância tomada ao longo do eixo da árvore definida entre a superfície do solo e a base da copa (porção superior utilizável do tronco anterior a primeira ramificação). A altura do fuste será utilizada para cálculo da fitomassa e volume de madeira. As medidas de altura foram realizadas empregando-se uma régua altimétrica retrátil de madeira e seções graduadas em centímetros com alcance total de 6 m marca Posenhaim[®] (régua de topografia) (Figura 8 - C e D).

Mediu-se o diâmetro a altura de 30 cm do solo (DAS_{30}) em substituição ao diâmetro a altura do peito (DAP) comumente utilizado. A opção pelo DAS_{30} se deu para padronizar a medida do diâmetro de todo o povoamento florestal além de favorecer a operacionalização das medições conforme metodologia adotada para levantamentos da vegetação arbustivo-arbórea jovens (FELFILI et al., 2005) uma vez que alguns dos indivíduos apresentavam altura total e/ou e várias ramificações localizadas em posições inferiores a 1,30 m. O diâmetro à altura do primeiro galho ($DAS_{1.3g}$) foi aferido em outubro de 2012 para cálculo do volume de fitomassa atingido até aquele momento. O instrumento de medição utilizado foi a fita diamétrica marca Mitutoyo[®] que transforma a medida de circunferência (perímetro) do tronco em diâmetro (Figura 8 - B).

São vários os modelos para estimar os volumes de biomassa arbórea, todos indiretamente, por inferências de suas principais medidas biométricas, geralmente, altura, diâmetro e densidade da madeira ou da espécie arbórea. Os modelos indiretos são utilizados para mensurar e estimar dados de biomassa e volume de árvores em pé, portanto metodologias aplicadas para monitoramento e avaliações em longo prazo. Metodologias diretas tendem a ser mais precisas, mas exigem o sacrifício da árvore o que não seria possível nesse sistema experimental. As metodologias para estimar biomassa, volume de madeira e fixação de carbono serão mais bem detalhadas nos itens 3.5 e 3.6. Vale lembrar que os valores obtidos para os cálculos de biomassa, volume de madeira e fixação de carbono se fundamentaram nos dados dendrométricos aferidos para avaliar o desenvolvimento das árvores.



Figura 8. Fotos demonstrativas de metodologia de monitoramento do ambiente em sistema de cultivo de cana-de-açúcar com aleias de essências florestais brasileiras no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras – SP. **(A).** Coleta de solo para análise química com utilização de sonda. **(B).** Medição dos diâmetros com auxílio de fita diamétrica. **(C)** e **(D).** Medição da altura utilizando régua de topografia.

Além das medidas dendrométricas foram calculados os índices de sombreamento ofertado pela população arbórea no agrossistema. De acordo com Simões e colaboradores (2001) o cálculo do índice de sombreamento arbóreo (ISA) é feito em duas etapas. Primeiro calcula-se a projeção individual de copa (C_i), o mesmo que a área de copa (AC) com Sol em zênite. A determinação da área de copa das árvores foi efetuada utilizando a fórmula de

área da elipse que leva em consideração uma medida longitudinal (L_1) e outra transversal (L_2), sendo uma perpendicular a outra. Através de procedimento visual com uso de trena de 50 metros, tomam-se essas duas medidas ortogonais, orientadas nas direções Norte-Sul e Leste-Oeste das copas gerando resultados em metros quadrado:

$$AC = \pi \times [(L_1 + L_2)/4]^2$$

AC = área de copa em m^2 ;

L_1 = comprimento da linha longitudinal da copa (N-S);

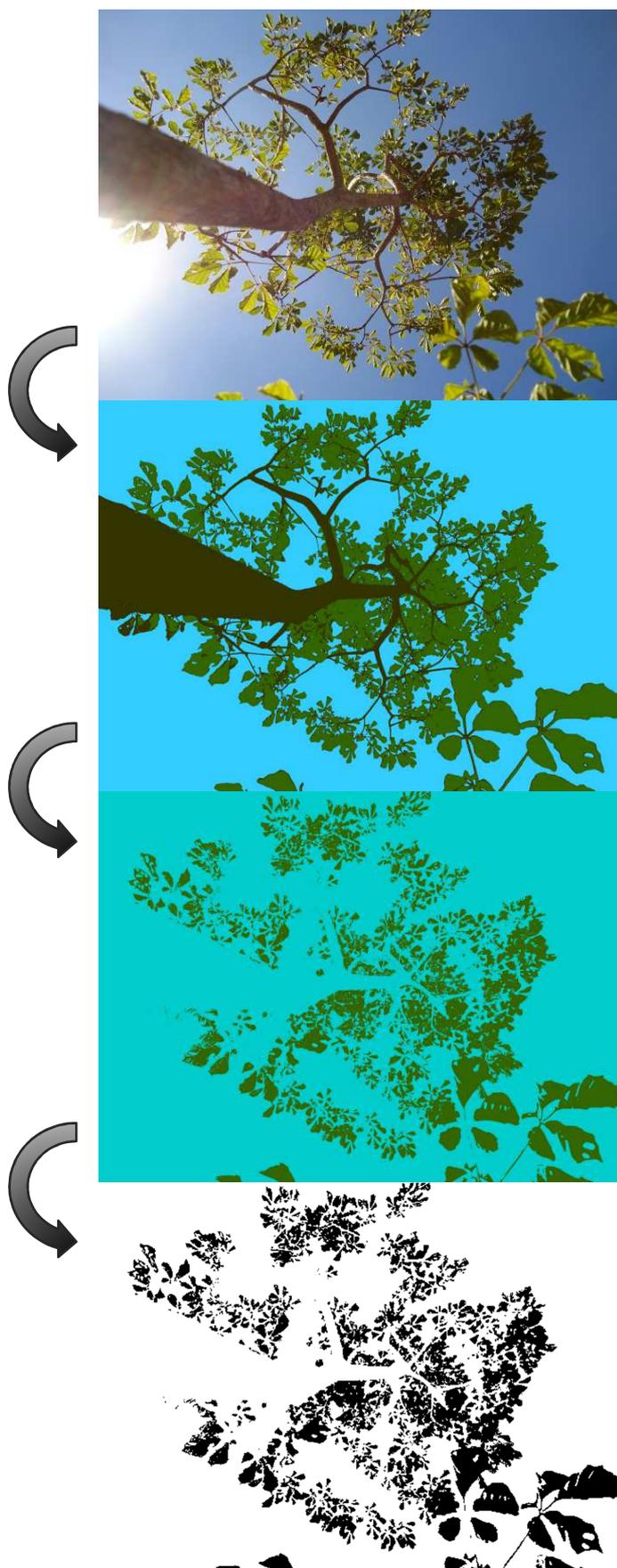
L_2 = comprimento da linha transversal da copa (L-O), perpendicular à longitudinal;

Posteriormente as áreas das copas serviram para obter-se o potencial de sombreamento de cada árvore. A utilização da área de copa das árvores parte da premissa de que em algum momento do dia (Sol em zênite) essa área vai se projetar exatamente sobre o solo. O índice de sombreamento arbóreo (ISA) é o percentual da área sombreada em relação à área total:

$$ISA \text{ m}^2 = \left(\frac{\text{Área}_{\text{sombreada por árvore}} \text{ m}^2}{\text{Área}_{\text{quadrícula}} \text{ m}^2} \right) \times 100$$

A área experimental foi dividida em quadrícula de 5 x 10 m de forma que cada árvore ficasse no centro de sua quadra correspondente. A área sombreada de cada quadrícula foi obtida estimando-se a sombra de cada árvore do experimento, calculando a área de projeção vertical da copa obtida pela área da elipse corrigida pela área foliar em porcentagem. Esta adaptação da fórmula, mais o georeferenciamento das quadras, possibilitaram o emprego de análise geoestatística para estimar a distribuição espacial do sombreamento na área do experimento através de ajuste de semivariograma e construção de mapas através de interpolação por krigagem.

A partir de fotografias e classificação da imagem digital por software, calculou-se as áreas foliares por indivíduo como demonstrado de forma sintética para uma foto de ipê na sequência de passos ilustrada na Figura 9.



1º PASSO

Foto original: Exemplo de uma foto de um dos indivíduos de ipê a partir da direção oeste. A câmera na função manual posicionada para a objetiva sem zoom voltada para a copa e corpo paralelo ao solo na altura de 30 cm a partir do solo e à uma distância de 30 cm perpendicular ao caule na direção oeste. A partir de um teste de escala feito anteriormente utilizando o mesmo posicionamento da câmera e uma trena sabe-se que o diâmetro do caule à 80 cm será a referência na escala e deverá ser medido.

2º PASSO

Imagem gerada e trabalhada no software SisCob 1.0 a partir da foto original com a classificação das áreas de interesse: céu, folhas e caule: a escala no software foi gerada utilizando a referência da porção do caule que tangência o limite da aresta esquerda do enquadramento da foto (como destacado em vermelho na imagem) com a medida do diâmetro à 80 cm aferido.

3º PASSO

Imagem considerando apenas a área foliar a partir do enquadramento: a área do tronco e do céu são excluídas para obter-se melhor apuração no cálculo da área foliar pelo software.

4º PASSO

Imagem final considerando apenas a cobertura foliar a partir do enquadramento: a área foliar é calculada em percentual com base na escala definida que define proporcionalmente a área de enquadramento da copa no plano de aproximadamente 4000cm².

Figura 9. Sequência de imagens que descreve o procedimento metodológico complementar para obtenção da área de sombreamento arbóreo.

Foi utilizada uma câmera fotográfica digital compacta (comum) Sony Cyber-shot (DSC-S40) com lente de 32 mm, fazendo 4 fotografias de copa, considerando os pontos cardeais, norte, sul, leste e oeste, para cada indivíduo de todas as espécies arbóreas que constituem as aleias, durante um período de duas horas entre 11 e 13h. As fotos foram tiradas com a qualidade de 1 megapixel, em nível, com a parte superior da câmera na direção do tronco, a 30 cm do solo (com o auxílio de tripé). As imagens foram processadas de forma a eliminar a região coberta pelo tronco, de acordo com a sugestão segundo Nilson (1999) a qual a influência do tronco na distribuição dos pixels da imagem deve ser eliminada. Foi utilizado o software SisCob 1.0 (EMBRAPA, 2009), com o qual as fotos das copas foram classificadas. O software, pela análise das imagens, fornece tabelas com os resultados em valor de porcentagem de cada variável estudada de acordo com o tipo de amostra, a variável avaliada foi a área foliar,

Os dados apresentaram distribuição normal, portanto verificou-se a variância entre eles através de ANOVA e pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade, avaliando se a diferença de valores é de fato significativa e desta forma pode indicar alguma alteração ou interferência nos resultados.

3.3.2 Avaliação qualitativa

Os dados qualitativos foram levantados e pontuados mensalmente pela utilização de indicadores conforme a Tabela 2, incluindo fenologia, sanidade, interações ecológicas onde também foi computado o número de árvores que morreram em cada aleia. Para a apresentação e visualização dos dados os indicadores foram plotados em gráficos de radar para a comparação de similaridade dos indicadores ecológicos, onde maiores pontuações indicam qualidade ecológica positivas, portando as bordas externas do gráfico servem como área de referência de um modelo positivo e benéfico (PIÑA-RODRIGUES; FONSECA; BRANCO, 2012; MASSERA; LOPEZ-RIDAURA, 1999).

Tabela 2. Descrição de indicadores ecológicos que permitem a representação de cenários para uma análise qualitativa das essências florestais estudadas.

	Cenário	Parâmetros
Indicadores	Sobrevivência	Percentual de indivíduos sobreviventes desde o início do experimento. 0 - 25% = 0 25 - 50% = 1 50 - 75% = 2 75 - 100% = 3
	Vigor	Folhas (presença/ausência). Ausentes = 0 Poucas = 1 Regulares/Presentes = 2 Abundantes = 3
	Qualidade do ponteiro	Percentual de indivíduos com ponteiros (gema apical) danificados. 75 - 100% = 0 50 - 75% = 1 25 - 50% = 2 0 - 25% = 3
	Aspecto Nutricional Sanidade	Percentual de indivíduos com indicativos de deficiência nutricional ou problemas fitosanitários. 75 - 100% = 0 50 - 75% = 1 25 - 50% = 2 0 - 25% = 3
	Danos mecânicos Herbivoria	Percentual de indivíduos com danos mecânicos, presença de herbívoros ou sinais de ataques. 75 - 100% = 0 50 - 75% = 1 25 - 50% = 2 0 - 25% = 3
	Ramificações	Percentual de indivíduos com mais >2 de bifurcações. Indesejável: (> 2 bifurcações/planta) indicar problemas de excesso de luz, atraso no estabelecimento de competição ou outro fator. Desejável: (<2 bifurcações/planta) indica predominância do crescimento monopodial para a maioria das espécies. 75 - 100% = 0 50 - 75% = 1 25 - 50% = 2 0 - 25% = 3
	Fenologia	Identificação clara da fenofase/maturidade do indivíduo e interação sexual. *(As fenofases precoces devido a estresse foram desconsideradas). Senescente = 0 Fase vegetativa = 1 Presença de flores = 2 Presença de fruto e semente = 3
	Ausência de invasoras	Percentual de indivíduos com presença de espécies invasoras na área de entorno. Desejável: baixa densidade de espécies reconhecidamente invasoras é favorável ao desenvolvimento das espécies de interesse. 75 - 100% = 0 50 - 75% = 1 25 - 50% = 2 Ausentes - 25% = 3
	Ausência de Lianas	Avaliação da presença/ausência de lianas ou cipós. Indesejável: dominando a copa das árvores, em especial os terços superiores e médios. Desejável: ausente ou em equilíbrio. Abundantes = 0 Regulares/Presentes = 1 Poucas = 2 Ausentes = 3
	Presença de epífitas	Avaliação da presença/ausência de epífitas. Indesejável: ausente. Desejável: presente, predomínio de posição nos terços superiores e médios dos indivíduos arbóreos. Ausentes = 0 Poucas = 1 Regulares/Presentes = 2 Abundantes = 3

continua...

...**continuação Tabela 2.** Descrição de indicadores ecológicos que permitem a representação de cenários para uma análise qualitativa das essências florestais estudadas.

	Cenário	Parâmetros	
Indicadores	Presença de líquens	Avaliação da presença/ausência de líquens. Indesejável: ausente. Desejável: presente.	Ausente = 0 Pouca = 1 Regular/Presente = 2 Abundante = 3
	Serrapilheira	Serrapilheira reconhecidamente originária do indivíduo avaliado. Reconhecida de forma visual e classificada pelo percentual de recobrimento do solo. Desejável: presença. Indesejável: ausência.	Ausente = 0 Pouca = 1 Regular/Presente = 2 Abundante = 3
	Biodiversidade	Avaliação da presença/ausência de organismos configurando e/ou exercendo aparentemente relações e funções ecológicas benéficas.	Ausente = 0 Pouca = 1 Regular/Presente = 2 Abundante = 3
	Interação	Percepção das interações visualmente distinguíveis entre a cana e o indivíduo arbóreo.	Prejudicial a ambos = 0 Prejudicial a cana ou a árvore = 1 Sem interação = 2 Interação benéfica = 3

O mesmo padrão de apresentação por gráficos de radar, expressando uma pontuação de indicadores (Tabela 3), foi utilizado para o fechamento da discussão, possibilitando a sistematização e a interligação dos parâmetros estudados nos resultados. Essa avaliação funcional permitiu um balanceamento entre os pontos positivos, neutros e negativos dos principais constituintes testados no agrossistema: as três espécies arbóreas e os três espaçamentos de faixas de cultivo, fornecendo uma abordagem mais abrangente.

Tabela 3. Descrição de indicadores ecológicos e atributos de produtividade que permitem a classificação e análise do sistema de produção de cana-de-açúcar em aleias proposto.

	Cenário	Parâmetros	
Indicadores	Produtividade da cana	Influências na produtividade da cana. Desejável: aumento ou a neutralidade da produtividade.	Irrelevante = 0 Diminuição (< média) = 1 Neutralidade (= média) = 2 Aumento (> média) = 3

continua...

...continuação Tabela 3. Descrição de indicadores ecológicos e atributos de produtividade que permitem a classificação e análise do sistema de produção de cana-de-açúcar em aleias proposto.

	Cenário	Parâmetros	
Indicadores	Desenvolvimento das árvores	Indesejável: (< média) reflete crescimento lento dos indivíduos ou replantios constantes. Desejável: valores compatíveis ou acima das médias de altura e diâmetro mensurados.	Irrelevante = 0 Diminuição (< média) = 1 Neutralidade (= média) = 2 Aumento (> média) = 3
	Sobrevivência das árvores	Percentual de indivíduos sobreviventes desde o início do experimento.	0 - 25% = 0 25 - 50% = 1 50 - 75% = 2 75 - 100% = 3
	Interação (cana-árvores)	Percepção das interações visualmente distinguíveis entre a cana e o indivíduo arbóreo.	Prejudicial a ambos = 0 Prejudicial a cana ou a árvore = 1 Sem interação = 2 Interação benéfica = 3
	Produção madeira	Relação entre a produção de madeira, preço da madeira e adensamento das espécies arbóreas. Desejável: maiores quantidades de madeira, maiores preços de mercado e maiores adensamentos.	Irrelevante = 0 Diminuição (< média) = 1 Neutralidade (= média) = 2 Aumento (> média) = 3
	Fixação de carbono	Relação de carbono estocado de acordo com a fitomassa da espécie arbórea e do adensamento.	Irrelevante = 0 Diminuição (< média) = 1 Neutralidade (= média) = 2 Aumento (> média) = 3
	Relações ecológicas Funções ambientais	Diversidade de funções ambientais e relações ecológicas identificadas: quebra vento, microclima, fixação nitrogeno, ciclagem nutrientes, biodiversidade, aporte de biomassa, atração de fauna, etc.	Irrelevante = 0 Pouca = 1 Relevante = 2 Abundante = 3
	Aves	Relação com o estudo de avifauna. Aumento dos índices ecológicos de diversidade, abundância e riqueza de espécies de aves.	Irrelevante = 0 Diminuição (< média) = 1 Neutralidade (= média) = 2 Aumento (> média) = 3
	Viabilidade	Possibilidade de implantação do sistema, operacionalização e mecanização, condições de manejo. Resultados da produtividade da cana aceitos no mercado. Benefícios comerciais: diversificação da atividade comercial e geração de renda, favorecimento para o marketing ambiental, emprego de mão de obra, produtos não madeireiros, economia ambiental.	Prejudicial = 0 Inviável = 1 Viável/Rentável = 2 Muito rentável = 3

3.4 Monitoramento da cana-de-açúcar

A área dentro do CCA/UFSCar destinada ao experimento está localizada na quadra 21, uma área com histórico de rotação de plantio entre soja e cana-de-açúcar. O plantio da cana-de-açúcar foi realizado em abril de 2009 de forma convencional. A colheita mecanizada (Figura 48) é realizada de acordo com a demanda e com máquinas da usina. Algumas ações da colheita mecanizada como o pisoteio de soqueiras pelo transbordo e o arranque de algumas soqueiras pela colheitadeira podem prejudicar a produção do ano seguinte.

As análises químicas das amostras de solo coletadas na área experimental nos períodos analisados anteriores ao plantio podem ser observadas na Tabela 4.

Tabela 4. Atributos químicos das amostras de solo coletadas antes do plantio da cana.

Análises	P Resina	M.O.	pH	K	Ca	Mg	H ⁺ Al	Al	SB	CTC	V
	mg.dm ⁻³	g.dm ⁻³	CaCl ₂				mmol _c .dm ⁻³				%
Amostra 1	7,8	21,8	4,6	1,0	12,6	4,6	42,9	3,2	18,2	61,1	30
Amostra 2	11	27	5,5	1,5	30	10	33	1,9	41,5	74,5	56

Amostra 1. Coleta realizada antes da aplicação de gesso e calcário.

Amostra 2. Coleta realizada após aplicação de gesso e calcário.

Para avaliar a produtividade agrícola baseou-se em duas formas de amostragem para a cana-de-açúcar: o censo amostral, na qual todos os indivíduos são contabilizados e a amostragem sistemática e consecutiva por pontos para pesagem. Portanto, para o censo, todas as canas de todas as 90 linhas de 150 metros do experimento totalizando 13.500 metros foram contadas com o auxílio de contadores manuais mecânico. Após as contagens foram retiradas três amostras de 15 canas consecutivas, em locais distintos a aproximadamente 15 metros entre ponto amostral em cada segmento linear de 50 metros, correspondentes às faixas de cana entre as aleias de cada espécie de árvore, portanto 9 amostras por linha abrangendo todas as linhas com um rol amostral de 810 feixes com 15 canas para pesagem (Figura 48).

Essas amostras foram etiquetadas, retiradas do canavial e pesadas ainda no campo empregando-se uma balança eletrônica portátil marca LIDER® Modelo PR30/500 fixada em um tripé de ferro. A partir do número real de colmos das canas de cada linha mais o peso médio das mesmas obtidas nas amostragens foi estimada a produtividade em toneladas por hectare de cada linha de toda área experimental. A partir desses dados foi possível calcular a produtividade da cana-de-açúcar nas linhas de cultivo em diferentes distâncias das linhas das árvores (SILVA, 2012). A colheita da cana foi realizada mecanicamente de forma convencional nas datas: 26 de outubro de 2010 (18 meses após plantio; cana-planta); 4 de outubro de 2011 (12 meses após a primeira colheita; cana-soca) e 19 de outubro de 2012 (12 meses após a segunda colheita; cana-soca). A única alteração realizada foi o tombamento manual das linhas de cana vizinhas das aleias para evitar possíveis injúrias da colheitadeira às árvores.

3.5 Volume comercial de madeira

As metodologias para medição de altura e diâmetro foram descritas no item 3.2.1. Para o cálculo de volume real de madeira com casca (V), empregou-se a fórmula de Smalian (LOETSCH; ZÖHRER; HALLER, 1973), transformando os correspondentes diâmetros em áreas seccionais (A_1 , A_2), e o respectivo comprimento ou altura (C) do fuste, através da fórmula a seguir:

$$V = [(A_1 + A_2)/2] \times C$$

Onde: V = volume da seção do tronco;
 A_1 = área transversal da seção de maior diâmetro (basal);
 A_2 = área transversal de menor diâmetro (1º galho);
 C = comprimento da seção (altura até o 1º galho).
 A = área transversal de cada seção é dada por:

$$A = \pi \times \left(\frac{d^2}{4}\right) \text{ em que } d = \text{diâmetro da seção.}$$

O volume comercial foi obtido pela cubagem das árvores em pé, com medição de diâmetro basal (DAS_{30}) diâmetro à altura do primeiro galho (DAS_{10g}) e altura do fuste em outubro de 2012. Avaliou-se assim o valor cumulativo de 3 anos e meio na volumetria da madeira comercial das espécies arbóreas que constituíram as aleias.

3.6 Estoque e incremento de carbono

A partir do volume de madeira avaliado pelas medições de outubro de 2012 fizeram-se os cálculos para estoque e incremento de carbono. Para cada espécie foi aplicada a equação alométrica obtendo-se o valor da quantificação do carbono incorporado na biomassa acima e abaixo do solo. Utilizou-se o fator de conversão para estimar o valor de carbono total estimado de 48% na biomassa seca.

Segundo Chave et al. (2005), a equação alométrica utilizada refere-se ao cálculo de massa fresca da árvore sendo que 60% deste valor referem-se a biomassa seca e que restante 40% é água, mesmo valor citado por Araújo et al. (1999).

Neste trabalho foi utilizada a densidade verde de cada espécie madeireira, sendo aplicado o fator $1,3 \text{ g.cm}^{-3}$ para o ipê amarelo, $0,6 \text{ g.cm}^{-3}$ para o cedro e $0,3 \text{ g.cm}^{-3}$ para o guapuruvu, pois sendo um método não destrutivo, utilizou-se o volume verde e a densidade verde para obter a massa fresca (ZANNE et al., 2009).

Para cálculo da biomassa acima do solo (AGB) utiliza-se uma função quadrática com as variáveis da árvore: diâmetro (DAS_{30}), altura total (H) e densidade da madeira (ρ), como demonstrado na fórmula a seguir:

$$AGB = \rho \times DAS_{30}^2 \times H$$

Onde: AGB (kg), DAS_{30} (cm), H (m) e ρ (g.cm^{-3})

O calculo para a obtenção do estoque de carbono foi:

$$CB = [AGB \times 0,6] \times 0,48$$

Onde: CB = carbono na biomassa em Kg

AGB = biomassa vegetal Kg

0,6 = Fator de biomassa seca

0,48 = Fator de % Carbono

A biomassa abaixo do solo (BGB) das árvores foi estimada utilizando uma relação linear entre a biomassa radicular e biomassa da parte aérea informada por Chave et al. (2005). Os autores desenvolveram uma constante para diversos tipos de vegetação e a relatada para floresta tropical úmida, escolhida com base no IPCC (2006) é a constante $K_{BGB} = 0,20$, que deve ser multiplicado ao valor calculado para a biomassa acima do solo.

Para as estimativas de ativo ambiental com sequestro de CO_2 é preciso converter o total de carbono em dióxido de carbono que tem peso molecular (44/12), portanto multiplicam-se os valores de C por 3,67 obtendo-se o valor de CO_2 . Valores por área (ha) e por ano, também foram calculados para padronizar e possibilitar a verificação de incremento médio anual. Considerou-se a área total do experimento (1,957 ha) e o período de 3 anos.

Os valores de estoque em canavial foram buscados na literatura a título comparativo baseado no trabalho de De Paula e colaboradores (2010).

3.7 Avaliação da avifauna

A área experimental foi subdividida para sistematizar o levantamento da avifauna e foram estabelecidas 4 trilhas de observação com 150 m cada, seguindo a mesma orientação das linhas onde se encontram as aleias, totalizando a extensão de 600 m em cada visita, permitindo a observação de todos os pontos demarcados. O caminhamento obedeceu à orientação pré-

determinada, os pontos de amostragem foram numerados de 1 a 21 (Figura 10), representando as áreas onde as árvores exercem a maior influência (aleias) e locais onde a cana-de-açúcar exerce dominância (espaçamentos entre aleias).

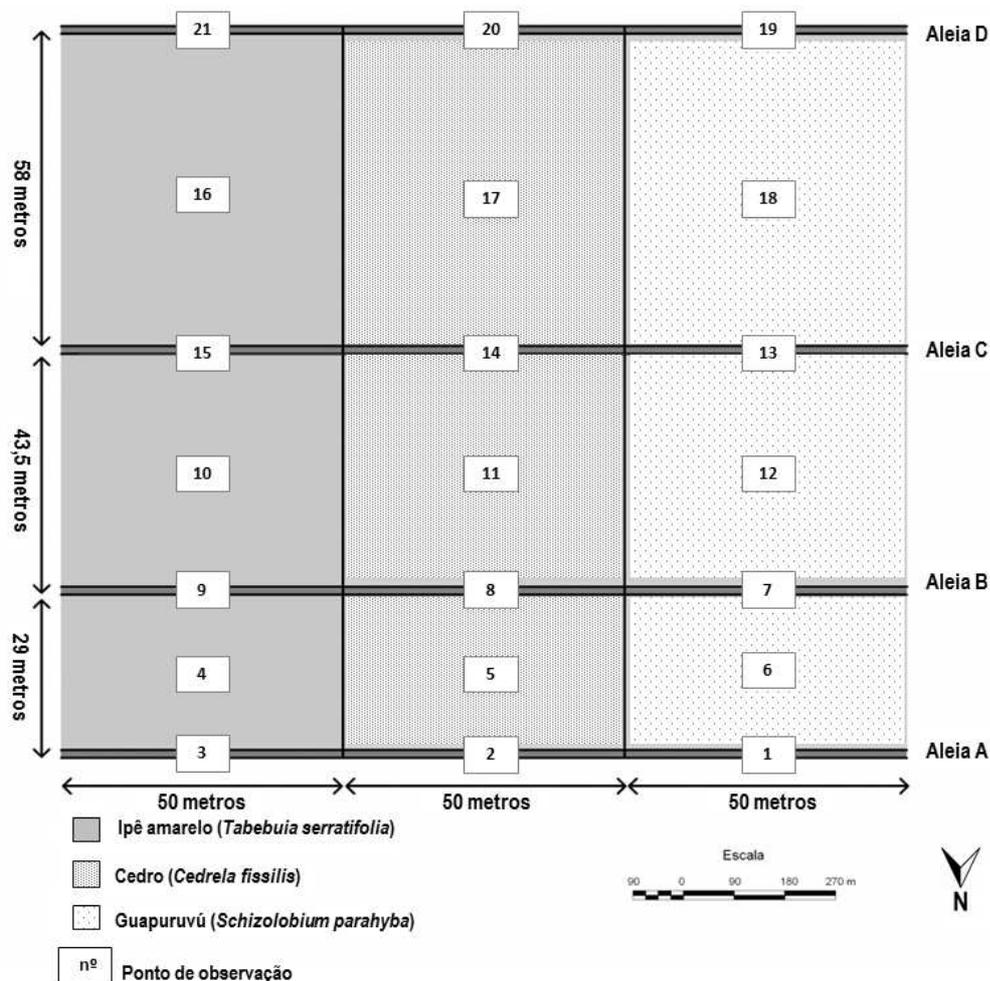


Figura 10. Croqui da área experimental com cultivo de cana-de-açúcar em faixas em um sistema agroflorestal do tipo aleias constituída por essências florestais brasileiras.

A amostragem da avifauna foi realizada por levantamentos qualitativo e quantitativo de forma simultânea (VIELLIARD; SILVA, 1990). Em um período de tempo de observação pré-definido em 10 min para cada ponto de amostragem, foram registrados os contatos visuais e/ou auditivos. A identificação das espécies foi realizada com auxílio do guia de campo de Tomas Sigrist (2009), considerando também as informações gerais sobre

alimentação e estratificação vegetal principal de forrageamento utilizando a definição de guildas ou categorias alimentares de acordo com Jaksić (1981).

O método qualitativo foi do tipo exaustivo que se consiste no registro das espécies até que essas se esgotem na parcela e teve por finalidade estabelecer a lista mais completa possível da avifauna na área de estudo. Foi considerada a presença ou ausência da espécie identificada, relacionada aos locais onde são mais facilmente encontradas. A partir desses dados foi calculado índice frequência de ocorrência da espécie (FO) e o índice de riqueza específica (S), o que possibilita verificar o número de espécies na área.

Para o levantamento quantitativo a amostragem foi realizada por pontos com distância ilimitada para estudo nos neotrópicos, registrando o número de contatos visuais com a espécie por ponto amostral, sem levar em conta o número de indivíduos presentes, uma vez que a captura não foi realizada. Seguindo a metodologia citada foram determinados os seguintes parâmetros populacionais: a) o índice pontual de abundância (IPA); b) índice de diversidade de Shannon Wiener (H'); c) índice de equitabilidade de Pielou (J') e d) índice de similaridade de Jaccard (S_J). Esses parâmetros foram empregados nas comparações posteriores com outras espécies e áreas. As aves contabilizadas na região das aleias estavam obrigatoriamente em pousio e/ou nidificando (Figura 11) nas árvores plantadas ou nos tutores (mourões de eucalipto tratado que suportam e protegem as mudas em seu crescimento inicial). Já as aves consideradas nos espaçamentos entre aleias estavam em pousio e/ou nidificando na cana-de-açúcar ou no solo sob a cana. Aves consideradas presentes nas aleias ou na cana foram registradas por contado visual, já espécies identificadas por vocalização (canto e/ou chamado) tiveram a sua presença registrada como “área do entorno”.

A riqueza de espécies foi estimada utilizando-se o 'Jackknife de primeira-ordem' $S_{jack1} = S_{obs} + Q_1 \times \left(\frac{m-1}{m}\right)$ onde: S_{jack1} é número de espécies estimado; S_{obs} é número total de espécies observado em todas as amostras; Q₁ é número de espécies que ocorrem exatamente na amostra 1 e m é número total de amostras.

O cálculo de frequência de ocorrência foi feito para cada espécie a partir da fórmula $FO = \left(\frac{N_{di}}{N_{td}} \right) \times 100$ Onde: FO: frequência de ocorrência; N_{di} : número de visitas a campo em que a espécie i foi observada; N_{td} : número total de visitas ao campo. Este dado indica a porcentagem de visitas a campo em que a presença de cada uma das espécies foi constatada.

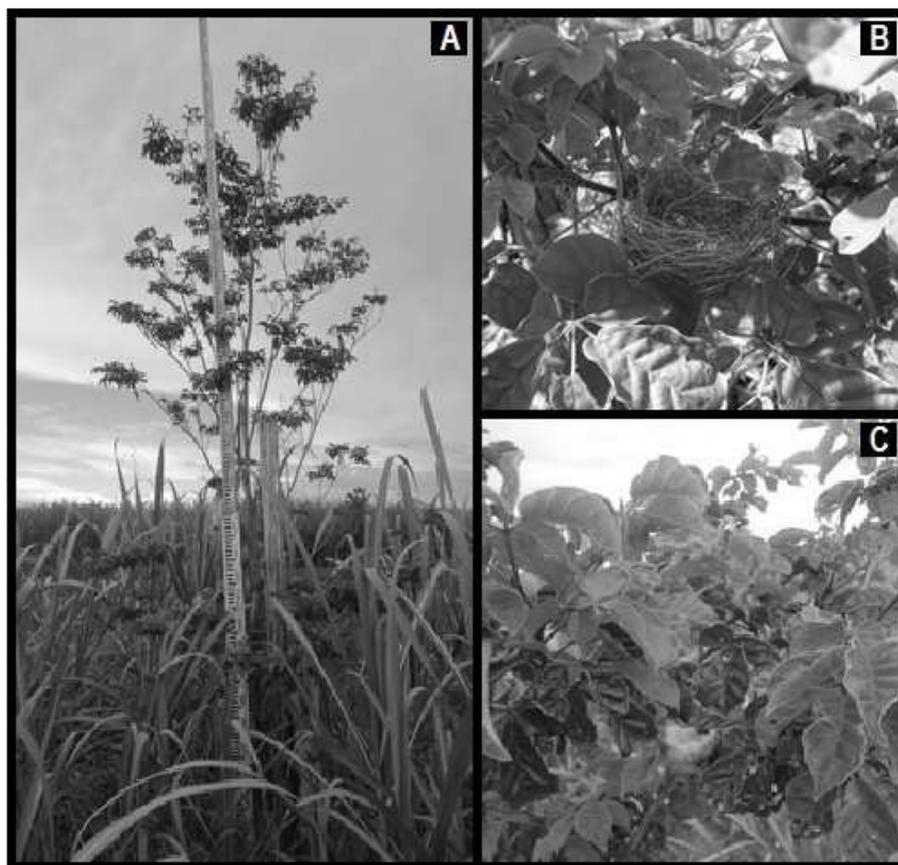


Figura 11. Fotos do sistema agroflorestal de canavial com aleias de árvores brasileiras no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras - SP. **(A).** Foto de ipê amarelo plantado entre linhas de cana (2012). **(B).** Presença de ninho de pomba no ipê amarelo (2012). **(C).** Presença de ninho de beija-flor no ipê amarelo (2012).

Para cada espécie foi designada uma categoria de abundância segundo sua frequência de ocorrência nos censos feitos em um habitat específico segundo Naka et al. (2002) a fim de agrupar e sustentar comparações. Os agrupamentos foram: rara - espécies registradas em menos de 5% das visitas à área, isto é, com frequência de ocorrência abaixo de 5; escassa - frequência de ocorrência de 5 à 24; pouco comum - frequência de ocorrência de 25 à 49;

comum - frequência de ocorrência de 50 à 74 e abundante - frequência de ocorrência de 75 à 100.

O índice pontual de abundância foi calculado possibilitando a comparação da estrutura da comunidade de aves entre áreas distintas com base na abundância relativa de cada espécie. O IPA é obtido através do cálculo do número total de contatos de cada espécie dividido pelo número total de amostras pela fórmula $IPA = \frac{N_i}{N_a}$ onde IPA: índice pontual de abundância; N_i : número de contatos da espécie i ; N_a : número total de amostras (pontos x visitas).

A riqueza dos pontos amostrais foi comparada através do índice de similaridade de Jaccard calculado através de $S_j = \frac{C}{A+B+C} \times 100$ onde: S_j : índice de similaridade de Jaccard; A: número de espécies exclusivas da área A; B: número de espécies exclusivas da área B; C: número de espécies comuns às áreas A e B.

O índice de Shannon-Wiener foi calculado por $H' = -\sum_{i=1}^S (p_i) \times (\log p_i)$, onde S: número de espécies (riqueza) e P_i : número de indivíduos na amostra que pertencem a espécie i , expresso na unidade nats.indivíduo⁻¹. A partir de H' calculou-se o índice de equitabilidade de Pielou através de $J' = \frac{H'}{\log S}$. O software Past[®] foi utilizado como suporte para os cálculos citados acima.

Os levantamentos ocorreram mensalmente entre janeiro de 2011 e dezembro de 2012, totalizando 24 visitas com um esforço amostral de 2 horas de observação/visita. Cada visita foi iniciada às 6 horas e concluída às 8 horas da manhã, perfazendo um total de 48 horas de observação. O trabalho foi realizado por uma equipe de dois observadores (n=2).

Para a classificação da ocupação das espécies foram considerados quatro estratos: 1° solo; 2° intermediário; 3° superior e 4° vertical. A nomenclatura científica adotada foi proposta por Sick (1997), todavia, foram acatadas as resoluções de 2011 do Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (C_{BRO}). Realizou-se a descrição e análise da estrutura trófica da comunidade de aves registrada. A categorização da dieta das espécies seguiu Sick (1997) com alguns acréscimos baseados nas observações de campo relacionando o hábito preferencial.

As classificações de endemismo foram baseadas em Sick (1997) com as modificações sugeridas pelo C_{BRO} (2011), considerando residente (R) com evidências de reprodução no Brasil e espécie endêmica do Brasil (E). Já as classificações de conservação seguiram a “Bird Life International”, IUCN (2012) onde: (LC) segura ou pouco preocupante; (NT) quase ameaçada e (VU) vulnerável.

Para cada espécie foi designada uma categoria de abundância segundo sua frequência de ocorrência nos censos feitos em um habitat específico segundo Naka et al. (2002) a fim de agrupar e sustentar comparações. Os agrupamentos foram: a) rara - espécies registradas em menos de 5% das visitas; b) escassa - frequência de ocorrência de 5 a 24%; c) pouco comum - frequência de ocorrência de 25 à 49%; d) comum - frequência de ocorrência de 50 à 74% e e) abundante - frequência de ocorrência de 75 à 100%.

3.8 Distribuição espacial através da análise geoestatística

As árvores, as análises de solo, como também os pontos de amostra da produtividade da cana ocuparam posições georeferenciadas na área do experimento. A distribuição espacial dos dados: índice de sombreamento arbóreo das árvores, produtividade da cana e parâmetro V% do solo na área experimental foi realizada através da análise geoestatística. Essa metodologia de análise é amplamente utilizada em diversos setores. Especificamente em cana-de-açúcar tem sido empregada para estudar a distribuição espacial de atributos do solo (CHAVES; FARIAS, 2008) e insetos pragas (CASTILHO, 1998; DINARDO-MIRANDA et al., 2007; FAVETTA, 2013).

Os dados originais obtidos pelas amostragens em pontos georeferenciados são ajustados a curvas teóricas chamadas semivariogramas. Essas curvas apresentam parâmetros que servem para indicar se o fenômeno estudado apresenta alguma dependência espacial ou se ocorre ao acaso, também chamado “efeito pepita”. (Figura 12).

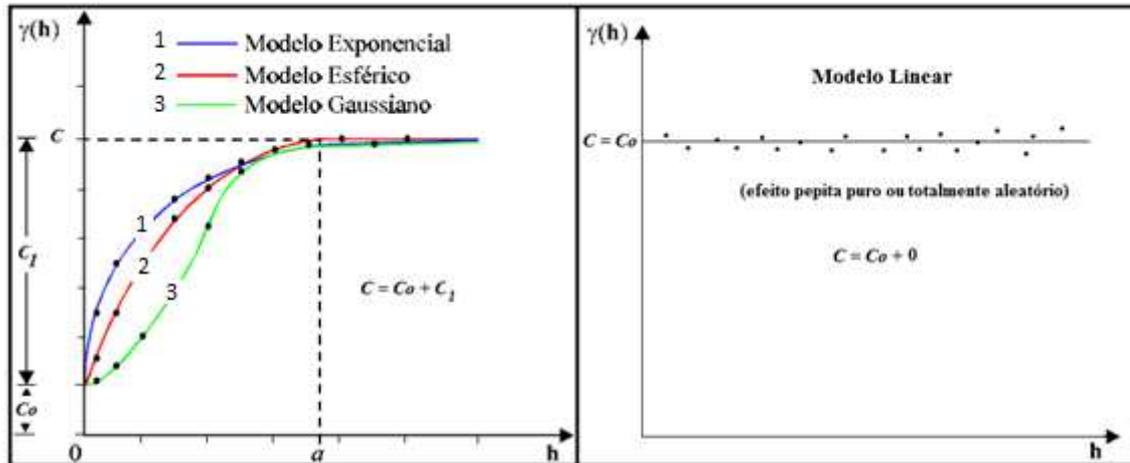


Figura 12. Modelo de semivariograma experimental e parâmetros: Distância (h); Alcance (a) Variância estrutural (C_1); Efeito pepita (C_0); Patamar (C). (Adaptado de FAVETTA, 2013)

O parâmetro (h) indica a distância entre as amostras; (a) indica o alcance no qual o objeto estudado apresenta alguma dependência espacial; (C_0) é efeito do acaso ou efeito pepita; (C_1) é a variância estrutural e (C) é o patamar ou a partir da qual a variância se estabiliza independente das distâncias das amostras.

Para o ajuste das curvas foi empregado o software Variowin[®] 2.1 que além de ser específico para esses ajustes, indica o melhor ajuste. Para a interpretação dos resultados foi adotado as relações entre os parâmetros C_0 e C_1 indicada por $E = C_0/C_0 + C_1$, conforme Clark, 1979, onde:

- i) $E < 0,15$ componente aleatória pequena, indicando variável espacial fortemente dependente, ou seja, pequena variabilidade espacial da propriedade
- ii) $0,15 < E < 0,30$ componente aleatória, indica variável moderadamente dependente
- iii) $E > 0,30$ componente aleatória muito significativa, indicando variável espacial fraca dependente, ou seja, alta variabilidade espacial da variável; nesse caso, não há restrição quanto à aplicação da estatística clássica para qualquer distância

Quando $E = 1.0$ a componente é totalmente aleatória não ocorrendo ajuste a nenhum tipo de modelo teórico, ou seja, estrutura espacial totalmente ao acaso, ajustando-se a uma reta paralela ao eixo (0 - h) determinando o chamado “efeito pepita puro”.

A partir dos parâmetros obtidos nos ajustes dos semivariogramas foram construídos os mapas das distribuições espaciais das variáveis estudadas empregando-se o software Golden Surfer 9.0[®], com interpolação dos dados através da krigagem, oferecida no próprio programa.

Assim foi construído o mapa de superfície em três dimensões (3D) representativo da distribuição espacial do índice de sombreamento (ISA). Da mesma forma foram construídos os mapas de contorno para a variabilidade espacial da produtividade da cana e do parâmetro V% do solo.

3.9 Análise de dados da produtividade de cana-de-açúcar

Os dados de produtividade da cana foram trabalhados de forma a representarem as produtividades referentes a cada linha de plantio com a sua distância relativa à aleia. O intuito foi avaliar se havia influência das árvores sobre a produtividade da cana de acordo com o afastamento ou a proximidade entre a linha de cana e a aleia. Os valores equidistantes entre a linha de cana e a aleia foram utilizados como repetição, a fim de possibilitar análise estatística, mesmo essa não sendo casual. São então relacionadas 10 distâncias em duplicatas entre árvores e linha de cana para a faixa com 20 linhas, 15 distâncias para a faixa de 30 linhas e 20 distâncias para a faixa de 40 linhas.

De posse dos parâmetros estimados os cálculos estatísticos foram realizados utilizando-se o aplicativo do Microsoft Excel denominado XLstat. Os resultados foram reportados e/ou correlacionados em termos de coeficiente de determinação (R^2) e nível de significância ($p > 0,95$). Verificou-se a variância entre os dados através de ANOVA e pelo teste de médias de Tukey a 5% de probabilidade, avaliando se a diferença de valores é de fato significativa e desta forma pode indicar alguma alteração ou interferência nos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desenvolvimento das árvores plantadas em aleias

A avaliação qualitativa permitiu conhecer o processo de adaptação das espécies arbóreas ao agroecossistema, indicando em quais parâmetros cada espécie apresentou pontos positivos e negativos como representado pela Figura 13, um gráfico de radar que demonstra os cenários por meio de uma pontuação graduada de 0 a 3, no qual 0 é a pontuação mais negativa e 3 a mais positiva, para cada indicador ecológico como descrito na metodologia pelo item 3.3.2.

O ipê foi a espécie caracterizada pela avaliação qualitativa com as melhores classificações atingindo cerca de 30% de aspectos positivos, 35% medianos e 35% de aspectos negativos para os 14 parâmetros avaliados, apresentando 21% de similaridade de indicadores ecológicos com o cedro e 36% de similaridade com o guapuruvu. O ipê apresentou susceptibilidade a operacionalização da colheita mecânica (Figura 48), sendo que a mortalidade foi justificada por danos mecânicos causados pela ação das colheitadeiras e manobra de transbordos, caminhões e tratores.

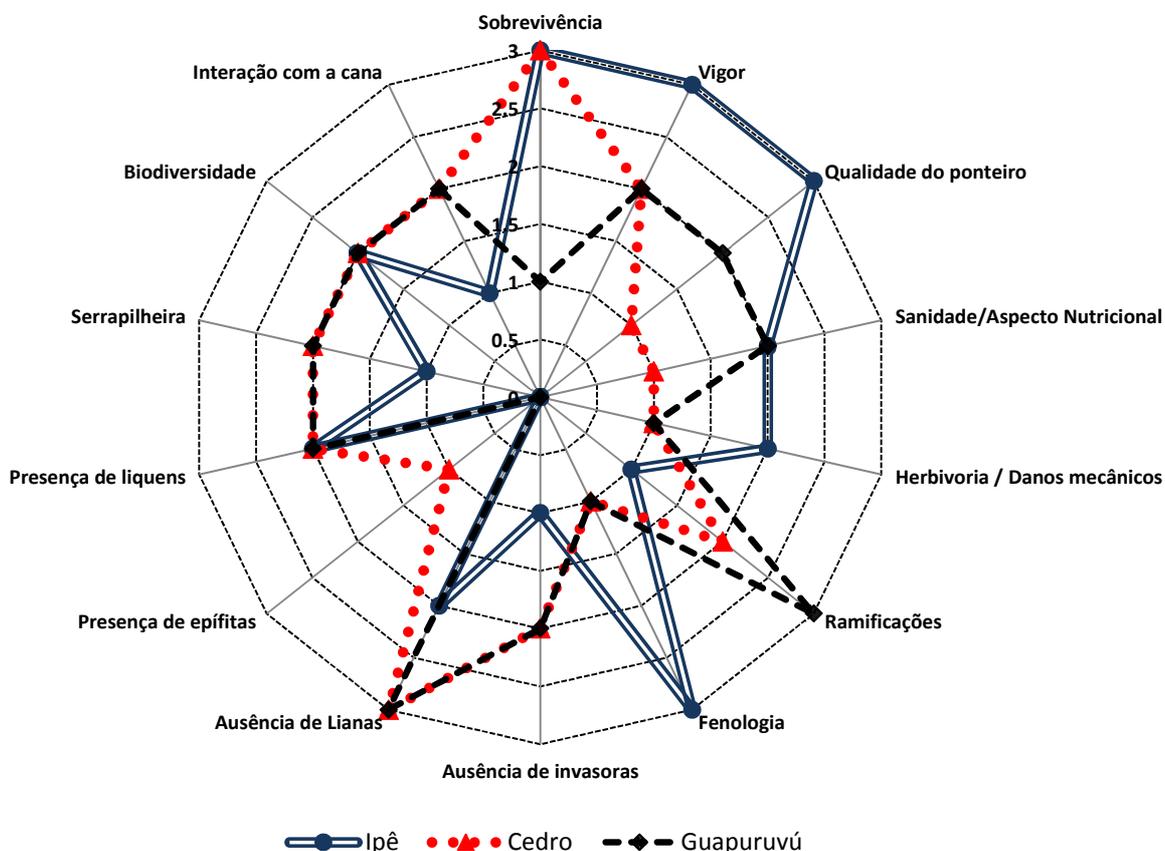


Figura 13. Representação de cenários para as essências florestais estudadas classificados através de indicadores ecológicos, uma avaliação qualitativa.

O guapuruvu e o cedro apresentaram 14% de aspectos positivos e 65% de similaridade entre si na análise qualitativa. Mesmo com um menor percentual de pontos negativos, 29%, contra 36% do cedro, o guapuruvu apresentou a maior mortalidade, um parâmetro com maior peso na avaliação qualitativa colocando-o como a espécie mais suscetível, uma vez que os indivíduos mortos não foram analisados nos monitoramentos subsequentes. Essa mortalidade não pôde ser explicada pela inserção dessa espécie no sistema, pois foi possível observar a mortalidade de vários indivíduos de guapuruvu (Figura 16 - K) nas matas próximas, demonstrando uma susceptibilidade ou alta taxa de mortalidade do guapuruvu intrínseca a essa região, ou mesmo intrínseca à espécie, sendo a espécie arbórea mais afetada

pelo estresse prolongado das condições meteorológicas ocorrida durante o período avaliado. O guapuruvu apresenta alta taxa de mortalidade em reflorestamento como observado por Costa et al. (2006), principalmente pela competição com espécies vegetais pioneiras e colonização do sistema radicular por fungos patogênicos, quando em estágio jovem.

Com base nos dados contidos na Tabela 5, as taxas de mortalidade serão descritas a seguir. A mortalidade dos guapuruvus ocorreu de forma contínua e agrupada: a aleia B apresentou a maior taxa de mortalidade, 8 indivíduos nos anos iniciais de 2010-2011, já na aleia C morreram 6 indivíduos ao longo do ano de 2011. No final de 2011 e durante 2012 constatou-se a mortalidade de 7 indivíduos na aleia D e 3 na aleia A totalizando 24 indivíduos mortos. Desse total, 3 mortes ocorreram aparentemente por ação mecânica devido a colheita e manobra de maquinário agrícola e o restante, 21 mortes, devido a fatores fitossanitários e ambientais, com grande chance do fator primário ser devido o ataque de brocas de raiz e fungos do solo. O único indivíduo de cedro morreu foi aparentemente por dano mecânico na aleia B e os dois ipês se quebraram durante as colheitas de 2011 e 2012 respectivamente nas aleias C e D e não resistiram. Apesar da constatação do ataque ao cedro pela broca dos ponteiros, nenhuma morte foi confirmada tendo este como o principal fator causal. Finaliza-se as avaliações com 39 indivíduos de cedro em campo, 38 de ipê e 16 de guapuruvu.

Tabela 5. Relação da mortalidade de indivíduos nas aleias.

Mudas	Altura média no plantio (m)	Transplantadas	Mortalidade												Total	Taxa de mortalidade (%)
			2010				2011				2012					
			jan	abr	jul	out*	jan	abr	jul	out*	jan	abr	jul	out*		
(Qtd)																
Ipê	1.23	40							1					1	2	5
Cedro	1.43	40				1									1	2.5
Guapuruvú	1.13	40	1	1	5		2	2	4	1		4	2	2	24	60

*Colheita da cana-de-açúcar

Em outro ensaio foi avaliado o efeito fitotóxico de herbicidas registrados para a cana-de-açúcar, sobre as três espécies florestais escolhidas. Os produtos utilizados foram: maturador etil-trinexapac (300 g i.a ha⁻¹); diuron + hexazinone (1170 + 330 g i.a ha⁻¹); diuron + hexazinone (1330 + 160 g i.a ha⁻¹);

clomazone + ametrina (1500 + 1000 g ha⁻¹); ametrina (3000 g i.a ha⁻¹); metribuzin (1920 g i.a ha⁻¹). A seletividade dos herbicidas às plantas de interesse foi avaliada visualmente aos 15, 30 e 60 dias após aplicação. As três espécies mostraram-se tolerantes aos herbicidas utilizados na cana-de-açúcar nas doses recomendadas para a cultura não apresentando sinais de injúria fitotóxica. Os resultados demonstraram que estas espécies de árvores nativas podem ser indicadas para o plantio, em sistema de aleias, nas entrelinhas da cana-de-açúcar (MARGARIDO, 2009).

A herbivoria, a fitossanidade e o aspecto nutricional das espécies arbóreas não estavam em estágio preocupante, uma vez que os indivíduos ficaram praticamente isentos de manejo, como parte programada do experimento, sendo apenas a prática da capina manual adotada na entrelinha de cana onde estava presente a aleia. Das árvores vivas, o cedro foi a que teve mais indivíduos acometidos por problemas fitossanitários (Figura 15). Observou-se presença de fumagina – doença que tem como causa o desenvolvimento de fungos de coloração escura – em suas folhas e de cochonilha nas folhas e em seu caule. Injúrias nas folhas e caules por ataque de lagartas, formigas e coleobrocas também foram constatadas. Em 20 % dos indivíduos de guapuruvu constatou-se a presença de tripes – insetos da ordem Thysanoptera – no tronco, podendo ser considerando um dos agentes para acometimento secundário de doenças nesta espécie florestal. Alguns indivíduos apresentaram sinais de clorose, murcha e enegrecimento das folhas. Injúrias e aspectos de deficiência nutricional também foram identificados para o ipê e o guapuruvu, mas ocorreram de formas isoladas e pontuais sendo que os indicativos mais recorrentes foram: maior frequência de coleobrocas, lagartas e cochonilhas nos guapuruvus e de deficiência nutricional indicada por manchas cloróticas e início de necrose e ataque por formigas em algumas folhas de ipê (Figura 14).

A avaliação qualitativa não discriminou de forma percentual cada uma das variáveis, apenas contabilizou a ausência e presença de injúrias ou sinais de deficiência nutricional, herbivoria ou patologia por indivíduos calculando a porcentagem pelo total de indivíduos acometidos. O monitoramento foi

suficiente para pontuar o nível de cada parâmetro e fazer breve descrição dos principais agentes causais.

A herbivoria em ecossistemas terrestres pode ser elevada, reduzindo o crescimento, a reprodução e a capacidade de competição das plantas. Os danos causados por herbívoros podem ser observados em todos os tipos de tecido vegetal e, embora eles removam em média cerca de 10% da vegetação, durante erupções ou processos sazonais de alguma população, a perda da folhagem pode chegar a 100%, influenciando a diversidade vegetal e modificando a estrutura da comunidade (LEAL; VICENTE; TABARELLI, 2003).

Os insetos são os principais consumidores da produção primária terrestre. Apresentam hábito herbívoro, ao menos em uma fase do seu ciclo de vida, desempenhando um importante papel ecológico, atuando como predadores, parasitas, polinizadores, fitófagos, entre outros. São indicadores de impacto ambiental e influenciam os efeitos da fragmentação da vegetação, por responderem rapidamente às alterações da qualidade e quantidade dos recursos disponíveis, e alterar as relações com os inimigos naturais. De acordo com Correa (2008) a perda de área foliar normalmente tem efeitos negativos sobre as plantas, afetando direta ou indiretamente a sua adaptabilidade. Altas taxas de consumo de tecidos vegetais por insetos, bem como por outros herbívoros, podem alterar o crescimento vegetal, reprodução e sobrevivência. Consequentemente, a herbivoria tem sido considerada como uma importante força seletiva sobre a determinação da manutenção de um vasto leque de defesas no reino vegetal.

O monitoramento da herbivoria pode funcionar como um indicador de funcionalidade do sistema. Assim sendo, a presença excessiva de um grupo de insetos pode ser um indicativo de falta de equitabilidade no agrossistema que pode ser modificado com intervenção apropriada no manejo. Como exemplo de intervenção tem-se o incremento da diversidade vegetal dentro do agrossistema que deve ser manejada a fim de favorecer a dinâmica natural, na qual a oferta de biomassa não seja demasiadamente flutuante.

O ataque por brocas afetou ponteiros principalmente do cedro. O guapuruvu também apresentou danos no ponteiro alterando a arquitetura de algumas plantas. O ipê não apresentou problemas quanto aos ponteiros. A

ramificação observada pela inativação da gema apical, quando o ponteiro foi afetado, para o cedro e o guapuruvu; afeta o crescimento em altura, o volume de madeira comercial, a operacionalização e o manejo do sistema. O ipê pela sua arquitetura própria, mais ramificada (SAMPAIO, 1998), ou pela intensificação das ramificações devido ao estresse exercido pelo ambiente hostil também tem o crescimento em altura afetado, desencadeando todos os prejuízos relatados acima.

Indivíduos mais ramificados tem maior probabilidade de serem atingidos e quebrados durante a colheita além de competirem por mais espaço com a cana no seu crescimento primário inicial. Ramificações em excesso indicam estresse por luminosidade ou ambiente não propício. Em longo prazo, indivíduos muito ramificados, possivelmente apresentarão maior área de sombreamento sendo prejudicial ao desenvolvimento da cana. Ramificações no indivíduo jovem indicam um fuste menor e conseqüentemente um menor volume de madeira comercial. O ipê apresentou bom vigor vegetativo avaliado pela qualidade e presença de suas folhas (CALLADO, 2010), já o cedro e o guapuruvu apresentaram vigores medianos uma vez que o enfolhamento foi observado fraco e pouco denso com certa frequência. Vale lembrar que a densidade de folhas é uma comparação feita entre indivíduos da própria espécie, pois cada espécie apresenta características específicas de densidade de acordo com o seu tipo de folha.

A serapilheira possui benefícios para manter os processos ecológicos de conservação, água e fertilidade do solo. O cedro e o guapuruvu apresentaram considerável produção de serapilheira, suficiente para cobrir o solo abaixo de suas copas com espessura de cerca de 1 cm, o que se mostra um fato positivo para conservação do solo e ciclagem de nutrientes, apesar da alta dinâmica de decomposição que se deve as práticas pós-colheita da cana que adota o revolvimento do solo. Em um fragmento preservado de mata atlântica a média da espessura da serapilheira varia de 3,0 cm na borda a 3,5 cm no interior (PORTELA; SANTOS, 2007). A produção de serapilheira encontrada no sistema foi em sua maioria localizada próximo as árvores, sendo o restante da área coberto pela palhada da cana, pois, como sabido, essa gramínea tem grande potencial para a produção de fitomassa e a sua colheita deixa esse

material recobrando o solo. O ipê também produziu serapilheira, mas devido a sua menor arquitetura e menor densidade de folhas, apesar de vigorosas, essa quantia não foi representativa, não sendo suficiente para cobrir o solo abaixo da copa.

A maior presença de serapilheira ou mesmo a diversificação da composição desta, indica conseqüentemente uma possível maior presença de microrganismos e macrovertebrados em relação à área que apresenta somente cana. O comportamento decidual dessas espécies favorece a ciclagem de nutrientes e proteção do solo além de diminuir o sombreamento sobre a cana em certa parte do ano. Além disso, o microclima encontrado na área pela presença de árvores pode criar melhores condições para a presença de fauna edáfica decompositora.

Um parâmetro difícil de ser avaliado pela idade do sistema é a característica fenológica das essências florestais. As espécies estão em estado jovem, portanto apresentariam apenas a fase vegetativa. Isso foi observado para o cedro e o guapuruvu, mas diferente para o ipê. Esta última espécie apresentou florescimento e produção de sementes indicando o alcance da maturidade sexual (Figura 14).

Como sabido o ipê apresenta floração com cerca de 7 anos de idade. Essa floração precoce, com a idade aproximada entre 5 e 6 anos reflete a características estressantes as quais a planta foi submetida, provavelmente pelo adensamento do sistema provocado pela cultura da cana (OLIVEIRA, 1999). A maturidade sexual, apesar de precoce, tem reflexo positivo para a biodiversidade do agroecossistema atraindo aves e dispersores de semente.

Espécies invasoras foram encontradas, principalmente nas aleias de ipê (Figura 14). Por não haver manejo regular nas aleias, com capinas localizadas frequentes e no momento do cultivo para a próxima safra, o maquinário não passar por essa entrelinha de cana, a colonização dessa área por outras espécies, que não a cana e as árvores do sistema integrado, acaba ocorrendo. Gramíneas como a braquiária (*Brachiaria* spp.) e o capim napier (*Pennisetum* spp.) estão presentes nas áreas próximas sendo dispersos por anemocoria atingindo a área experimental. Pela rusticidade e característica C4 do metabolismo dessas espécies, elas apresentam crescimento rápido e vigorosas

sendo boas competidoras, abafando as espécies arbóreas mais baixas. O ipê, por ser a espécie que menos sombreou foi mais acometido pela ação dessas gramíneas exóticas que invadiram o sistema integrado.

A presença de líquens é benéfica ao agroecossistema. Segundo Costa (2002) e Lombardi e colaboradores (2007) os líquens são extremamente sensíveis à poluição, portanto, excelentes bioindicadores, podendo indicar a qualidade do ar e até quantidade de metais pesados em regiões contaminadas. Algumas espécies são comestíveis, servindo de alimento para muitos animais.

A presença de lianas pode ser benéfica por aumentarem a diversidade vegetal e serem atrativas para o aumento da biodiversidade faunística. Acontece que para a produtividade agrossilvicultural é prejudicial ao inibir o desenvolvimento da cultura agrícola e das árvores, pois competem reduzindo recursos, algumas estrangulam o sistema vascular da planta que serve de suporte e abafam a parte aérea.

Além disso, podem servir de fonte para dispersão de sementes, invadindo e alastrando pelo agrossistema. Ao contrário das lianas, as epífitas, desde que não parasitas, seriam benéficas aumentando a diversidade florística da área. São plantas atrativas de polinizadores e fauna de uma forma geral, abrindo possibilidade para novos nichos serem explorados e comunidades biológicas se agregarem.

Segundo Thomaz e Antoneli (2008) a técnica empregada de avaliação de raízes expostas (evidência botânica) representa níveis de perda de solo devido a diversos efeitos erosivos. A evidência botânica (raízes expostas) mostrou-se importante para o diagnóstico da degradação do solo e estimativa de perda de solo no agroecossistema de forma simples e prática. Este método foi aplicado por pesquisadores para avaliação de erosão no leste da África (SCHNABEL, 1994).

Tal procedimento envolve erros e incertezas quanto à precisão, pois a própria morfologia da planta pode facilitar a exposição das raízes, a declividade do terreno também influência o desenvolvimento das plantas, entre outros. Contudo, com certo controle e comparações pode-se pelo menos estimar a remoção do solo em presente ou ausente.

Em medições da altura de árvores em pé, não é possível obter resultados exatos, quer pela natureza do aparelho, quer pela condição do povoamento, onde, muitas vezes, não é possível visualizar o ápice e a base da árvore com nitidez a partir de um mesmo ponto. Muitas vezes povoamentos jovens ou que apresentam árvores não muito altas têm as alturas mais facilmente medidas com o emprego de uma régua graduada como no caso deste estudo.

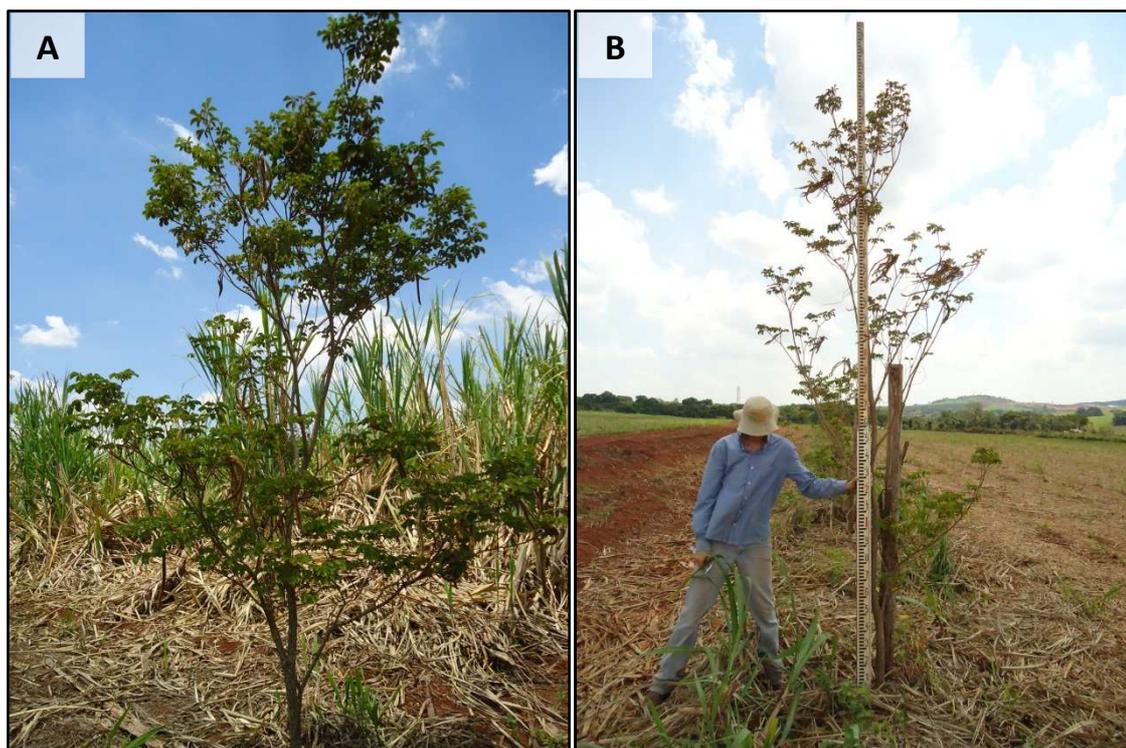


Figura 14.

continua...

...continuação

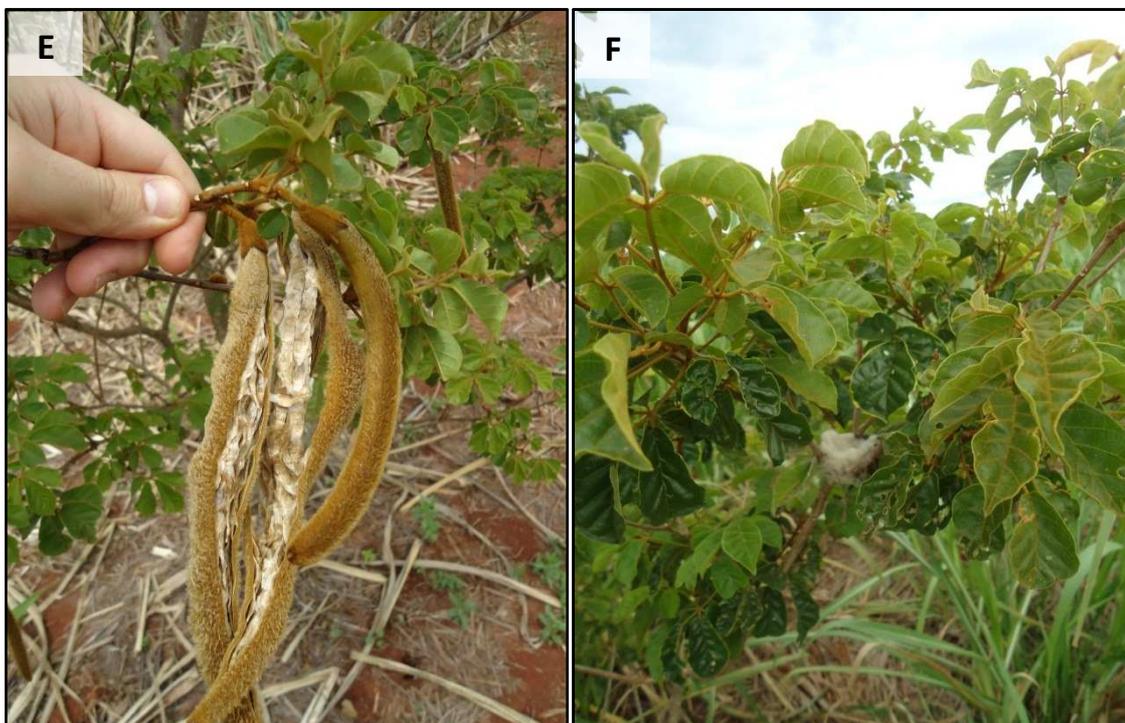
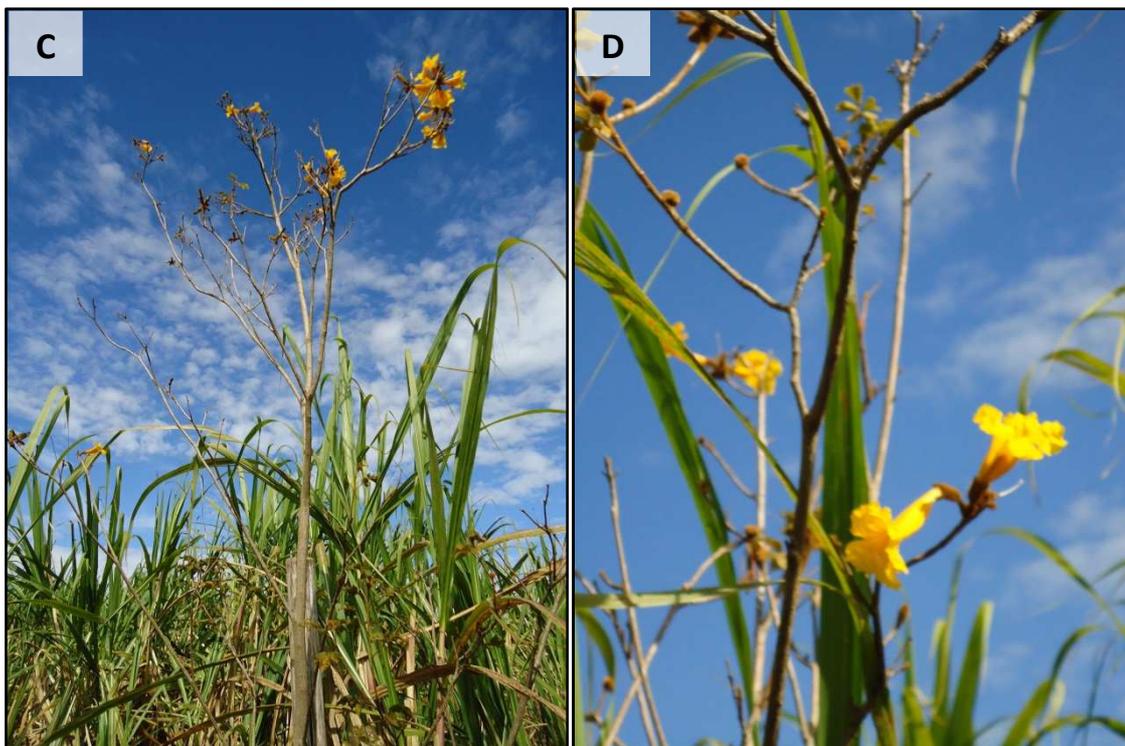


Figura 14.

continua...

...continuação



Figura 14. Fotos de **ipês amarelos** no sistema agroflorestal de canavial com aleias de árvores brasileiras no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras - SP. Exemplares: (A). Ipê amarelo plantado entre linhas de cana. (B). Medição de altura. Fenologia: (C). Ipê em fase reprodutiva: flor. (D). Detalhe na flor. (E). Fruto maduro. Interações ecológicas com o sistema: Positivas (F). Ninho de beija-flor. (G). Líquens. Negativas (H). Indicativo de deficiência nutricional. (I). Herbivoria. (J). Competição com espécie espontânea: capim.

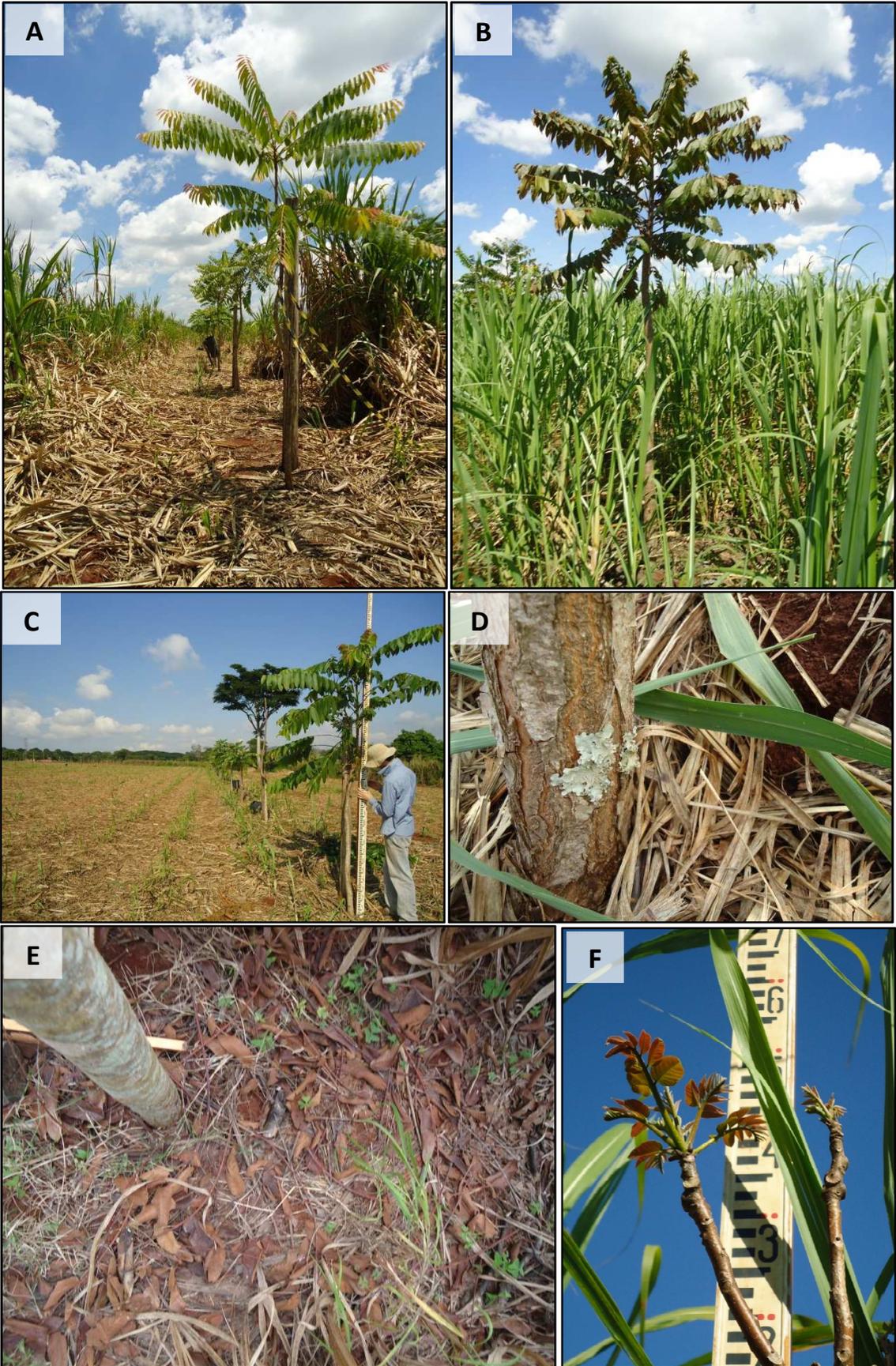


Figura 15.

continua...

...continuação



Figura 15. Fotos de **cedros** no sistema de cultivo de cana-de-açúcar com aleias de essências florestais brasileiras no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras - SP. Exemplares: (A). Cedros em aleias no momento da colheita da cana. (B). Cedro entre linhas de cana. (C). Medição de altura. Interações ecológicas com o sistema: Positivas – (D). Líquens. (E). Aporte de matéria orgânica - Serapilheira. Fenologia: (F). Rebrotas sazonais de folhas (espécie caducifólia). Interações ecológicas com o sistema: Negativas – (G). Liana apoiada no cedro. (H). Cochonilha na face abaxial da folha de cedro. (I). Cochonilha no tronco de indivíduo de cedro. (J). Indicativo de herbivoria por lagartas na copa do cedro.

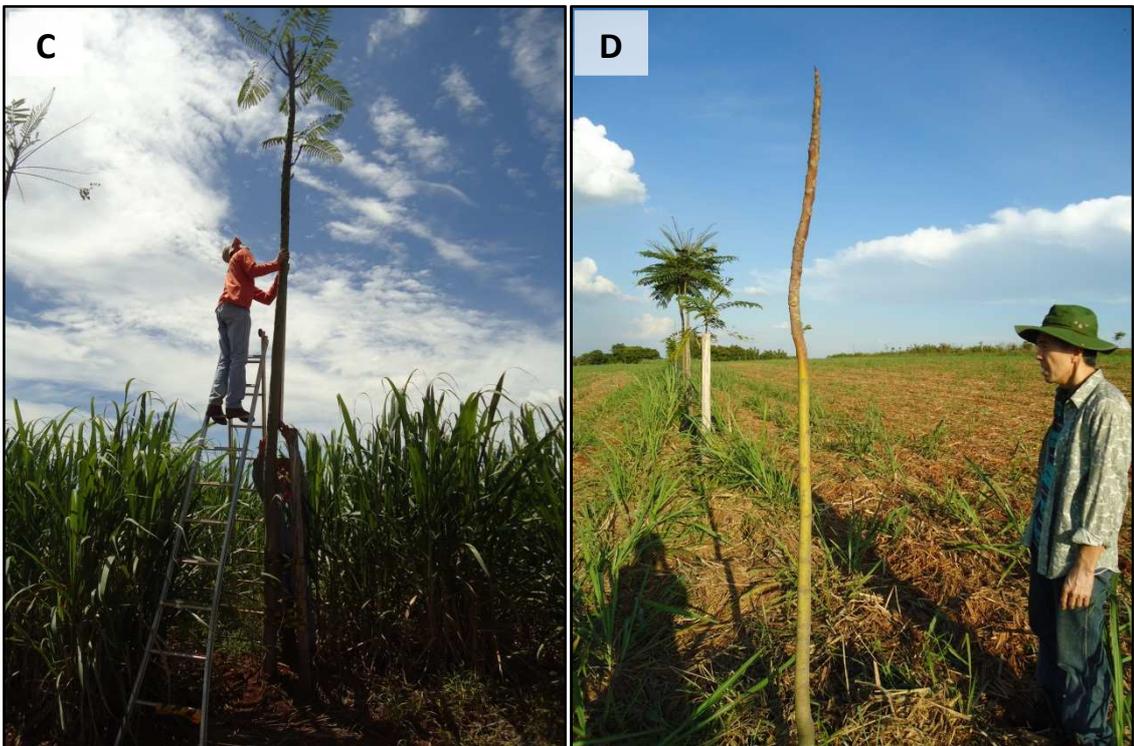


Figura 16.

continua...

...continuação

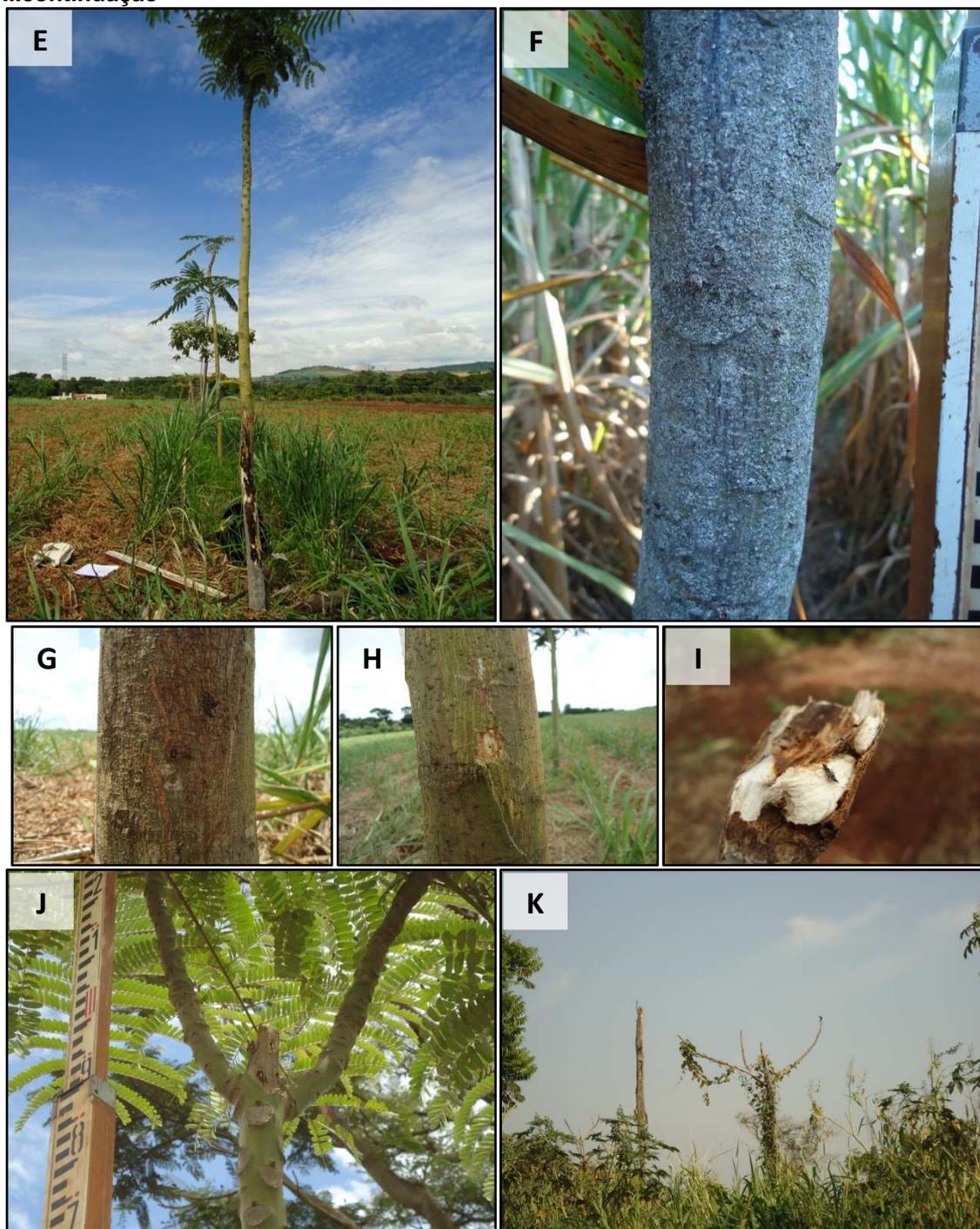


Figura 16. Fotos de **guapuruvus** no sistema de cultivo de cana-de-açúcar com aleias de essências florestais brasileiras no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras - SP. **Exemplares:** (A). Guapuruvus em aleias entre linhas de cana. (B). Medição de altura de indivíduo de guapuruvu logo após a colheita da cana. (C). Medição de altura e diâmetro. **Fitossanidade: Problemas primários** – (D). Reação “top down” provavelmente por acometimento grave do ponteiro. (E). Necrose a partir colo provavelmente devido à ação de fungos patogênicos presentes no solo. **Problemas secundários** – (F). Infestação por cochonilha. (G). Indicativo da presença de coleobroca no caule. (H). Galeria de coleobrocas no caule frequentemente encontrada nos guapuruvus. (I). Coleobroca do guapuruvu. (J). Danos no ponteiro do guapuruvu favorecendo o crescimento simpodial indesejado. (K). Guapuruvus mortos presente na mata vizinha indicando que é um problema regional e não específico para o experimento.

Com base nos resultados de ganho de altura (Figuras 17, 18, 19 e 20) pode-se observar que as árvores desenvolveram-se normalmente não havendo interferências relacionadas ao sistema de cultivo aos quais foram submetidas.

O guapuruvu atingiu a maior altura média entre as espécies estudadas com 4,36 m que se diferiu estatisticamente das alturas médias do ipê de 2,96 m, estatisticamente igual ao cedro com 2,78 m de altura média. Houve em alguns momentos um pequeno retorno no ganho de altura explicado principalmente por erros de medição em períodos muito aproximados (3 meses) para se observar alguma diferença relevante e verificável no desenvolvimento para espécies nativas, que normalmente são monitoradas anualmente.

As alturas foram medidas tendo como o limite superior a gema apical. No caso do ipê a sua grande quantidade de ramos dificultava a definição da maior altura, bem como a sazonalidade influente sobre a presença de folhas. A altura e o desenvolvimento da cana, também influenciaram na acuidade metodológica.

Um fator comum a esse retorno de altura entre todas as espécies foi um solapamento do solo ao redor das mudas ao longo do tempo, definidos pela menor compactação do solo no local onde foram plantadas. Fato esse que pode justificar a alteração em alguns centímetros na média da altura ao longo de 3 meses. Por se tratar de um valor médio, a morte de indivíduos de guapuruvu com altura considerável, influenciou também favorecendo esse retorno da altura.

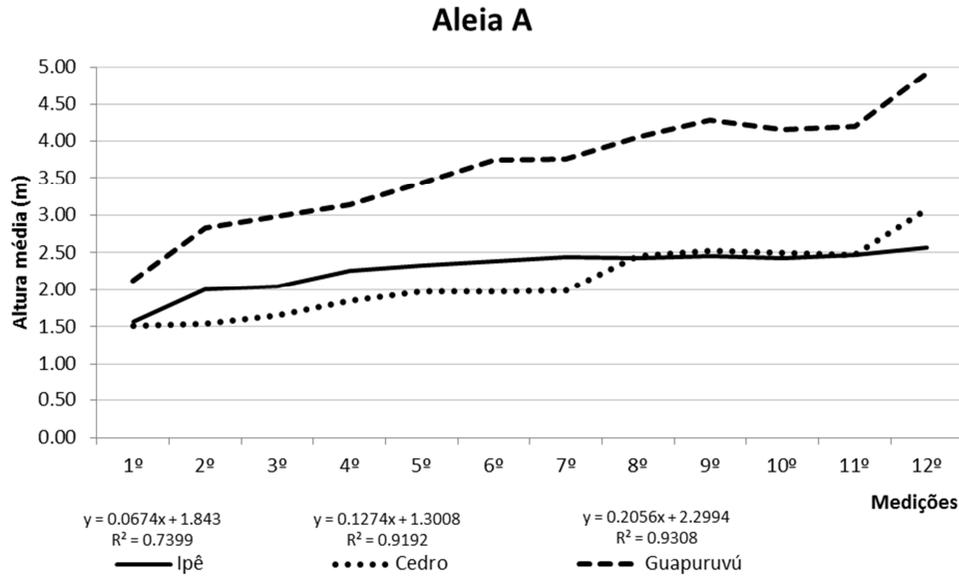
As interferências negativas observadas quanto ao ganho de altura nas aleias de cedro e do guapuruvu podem ser justificadas pelo dano no ponteiro, onde algumas árvores de cedro sofreram o ataque da broca do ponteiro, o lepidóptero *Hypsipyra grandella* (Lepidoptera: Pyralidae) que interferiu no crescimento primário monopodial das plantas, interação verificada nos 5 primeiros meses de 2010. Essas ocorrências eram de certa forma esperadas, pois segundo Dourojeami (1973), a família Meliaceae é bastante conhecida na literatura quanto à susceptibilidade de algumas de suas espécies, tais como: mogno, cedro, andiroba à insetos lepidópteros da família Pyralidae (*Hypsipyra grandella*, *Hypsipyra ferrealis*, *Sematoneura grippinai*, *Humiphila paleolivacea*)

das quais segundo Conde (2006) a *H. grandella* é a única encontrada em todas as regiões geográficas das Meliáceas citadas, sendo considerada uma praga bastante cosmopolita.

Como o sistema aleias-cana pode ser caracterizado como um policultivo esperava-se que o ataque dessa praga fosse amenizado pela redução da visibilidade e da não preferência pelos outros componentes do sistema conforme preconizado por Altieri (2004). De certa forma parece que esse fenômeno pode ter ocorrido, pois a partir de 05/2010 o canavial sobrepujava em altura as árvores ocultando-as e o ataque da praga deixou de ocorrer, embora as condições climáticas e o ciclo biológico do inseto também possam explicar isso. Foi a partir dessa época que as árvores de cedro retomaram o desenvolvimento, embora numa curva de crescimento mais lento.

Uma vez que a cana-de-açúcar foi removida pela colheita, as árvores voltaram a ser totalmente visíveis por um determinado período e o fenômeno se repetiu. Conforme Paiva e Poggiani (2000) a luminosidade em céu aberto e sob dossel, além da luminosidade relativa em diferentes épocas do ano, mais a umidade do solo, influenciam o desenvolvimento de mudas de cedro. Esses quatro fatores estiveram presentes neste experimento além do inseto agente, tanto que o cedro e o guapuruvu apresentaram o ataque e a alteração nas curvas de crescimento.

Os guapuruvus apresentaram maior desenvolvimento em altura nas aleias A e D localizada nas bordas, já os ipês se desenvolveram melhor nas aleias B e C do interior do experimento. Para o guapuruvu, uma espécie que pode ser considerada pioneira neste caso, por estar colonizando uma matriz com baixa diversidade se beneficiou ainda mais com as clareiras presentes com mais frequência próximas à borda do experimento limitado por carreadores. Os ipês apresentaram certo estiolamento, atingindo maiores alturas onde a maior densidade de cana estava presente, no interior do experimento. Os cedros apresentaram uma regularidade aparente de desenvolvimento de altura em toda área do experimento.

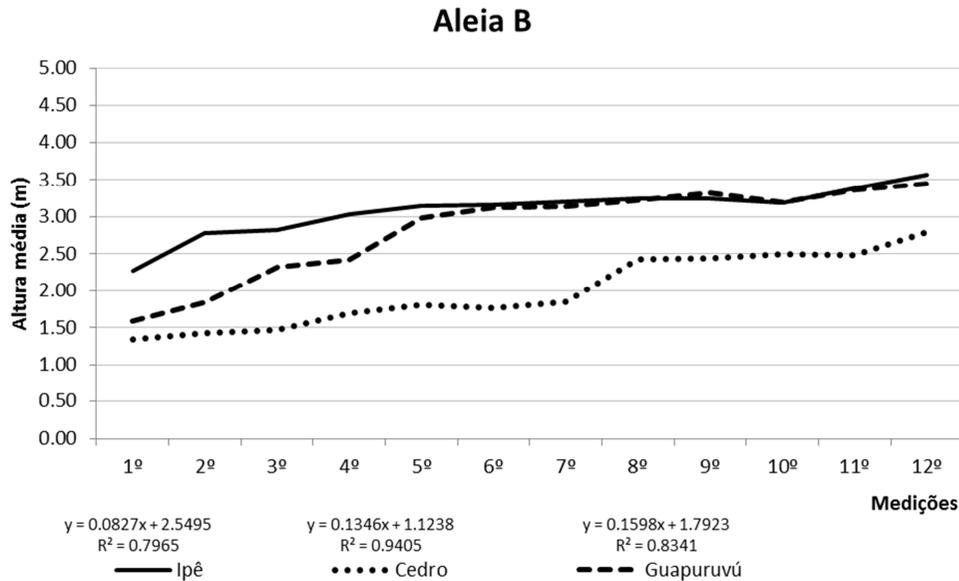


Aleia A

Data	Censo	Ipê	Cedro	Guapuruvú	
2010	jan	1º	1.56 b	1.51 c	2.12 c
	abr	2º	2.00 ab	1.54 c	2.83 bc
	jul	3º	2.05 ab	1.65 c	2.98 bc
	out*	4º	2.26 a	1.85 c	3.14 bc
2011	jan	5º	2.32 a	1.98 bc	3.44 b
	abr	6º	2.38 a	1.98 bc	3.75 b
	jul	7º	2.43 a	1.99 bc	3.76 b
	out*	8º	2.43 a	2.46 b	4.05 ab
2012	jan	9º	2.45 a	2.53 ab	4.28 ab
	abr	10º	2.43 a	2.50 b	4.16 ab
	jul	11º	2.47 a	2.48 b	4.19 ab
	out*	12º	2.57 a	3.08 a	4.92 a

*Colheita da cana-de-açúcar

Figura 17. Desenvolvimento médio da altura (m) por espécie arbórea em ordem cronológica de medição na aleia A. R²: coeficiente de determinação.

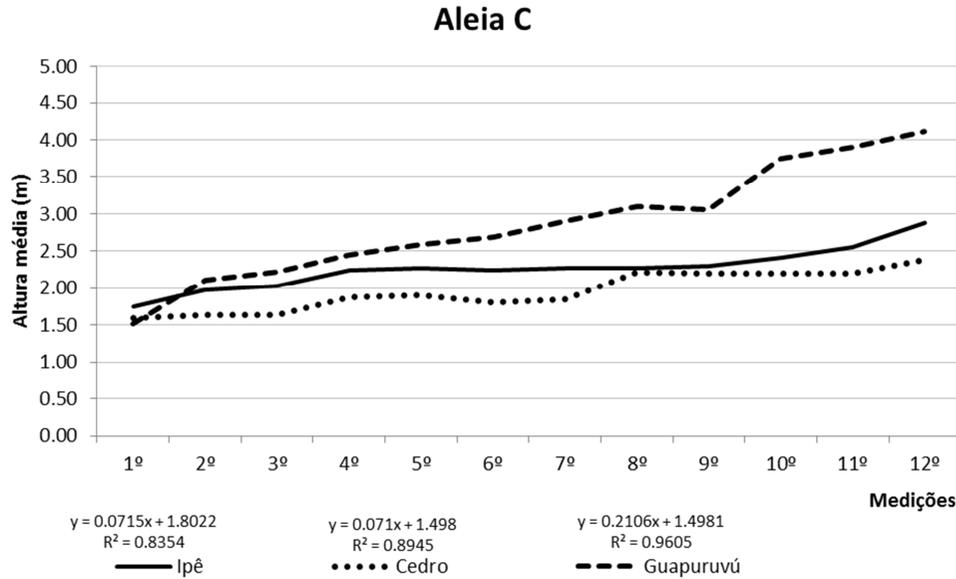


Aleia B

Data	Censo	Ipê	Cedro	Guapuruvú	
2010	jan	1º	2.27 b	1.34 d	1.59 b
	abr	2º	2.77 ab	1.42 cd	1.84 ab
	jul	3º	2.82 ab	1.46 cd	2.32 ab
	out*	4º	3.04 ab	1.69 c	2.42 ab
2011	jan	5º	3.14 a	1.80 bc	2.99 ab
	abr	6º	3.16 a	1.77 bc	3.12 a
	jul	7º	3.21 a	1.85 b	3.14 a
	out*	8º	3.24 a	2.43 a	3.22 a
2012	jan	9º	3.24 a	2.44 a	3.33 a
	abr	10º	3.19 a	2.49 a	3.20 a
	jul	11º	3.39 a	2.49 a	3.37 a
	out*	12º	3.56 a	2.80 a	3.45 a

*Colheita da cana-de-açúcar

Figura 18. Desenvolvimento médio da altura (m) por espécie arbórea em ordem cronológica de medição na aleia B. R²: coeficiente de determinação. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

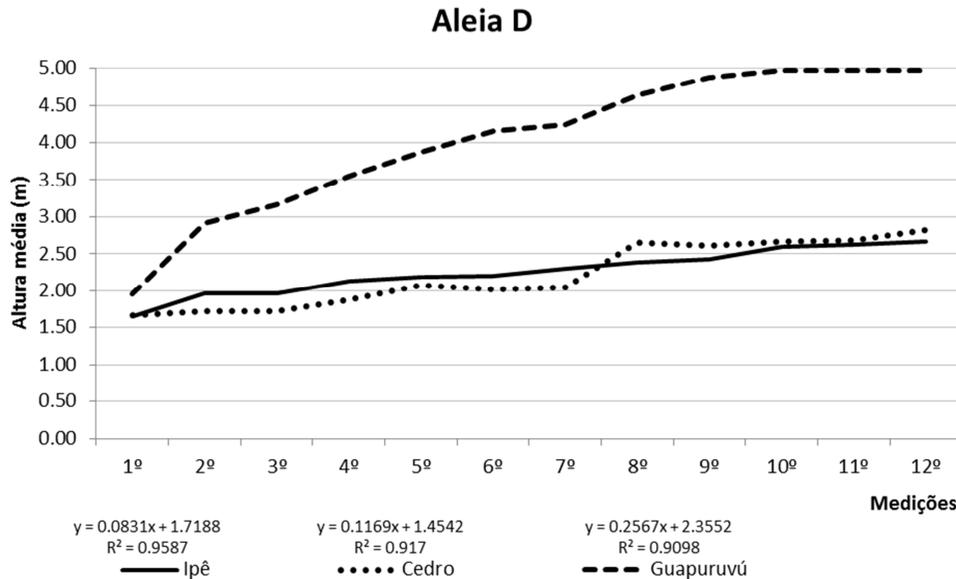


Aleia C

	Data	Censo	Ipê	Cedro	Guapuruvú
2010	jan	1º	1.75 b	1.59 b	1.52 b
	abr	2º	1.98 b	1.64 b	2.11 ab
	jul	3º	2.03 b	1.64 b	2.22 ab
	out*	4º	2.24 ab	1.88 ab	2.45 ab
2011	jan	5º	2.28 ab	1.91 ab	2.58 ab
	abr	6º	2.25 ab	1.81 ab	2.69 ab
	jul	7º	2.28 ab	1.85 ab	2.90 ab
2012	out*	8º	2.28 ab	2.22 ab	3.10 ab
	jan	9º	2.30 ab	2.20 ab	3.06 ab
	abr	10º	2.41 a	2.21 ab	3.75 ab
	jul	11º	2.55 a	2.20 ab	3.91 a
	out*	12º	2.87 a	2.38 a	4.12 a

*Colheita da cana-de-açúcar

Figura 19. Desenvolvimento médio da altura (m) por espécie arbórea em ordem cronológica de medição na aleia C. R²: coeficiente de determinação.



Aleia D

	Data	Censo	Ipê	Cedro	Guapuruvú
2010	jan	1º	1.65 b	1.66 b	1.96 c
	abr	2º	1.96 ab	1.73 b	2.92 bc
	jul	3º	1.97 ab	1.73 b	3.17 bc
	out*	4º	2.13 ab	1.88 b	3.54 bc
2011	jan	5º	2.19 ab	2.07 b	3.87 b
	abr	6º	2.21 ab	2.01 b	4.15 b
	jul	7º	2.29 ab	2.05 b	4.24 b
2012	out*	8º	2.39 ab	2.66 a	4.63 ab
	jan	9º	2.43 ab	2.61 a	4.88 a
	abr	10º	2.59 ab	2.67 a	4.97 a
	jul	11º	2.62 ab	2.68 a	4.97 a
	out*	12º	2.87 a	2.83 a	4.98 a

*Colheita da cana-de-açúcar

Figura 20. Desenvolvimento médio da altura (m) por espécie arbórea em ordem cronológica de medição na aleia D. R²: coeficiente de determinação. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

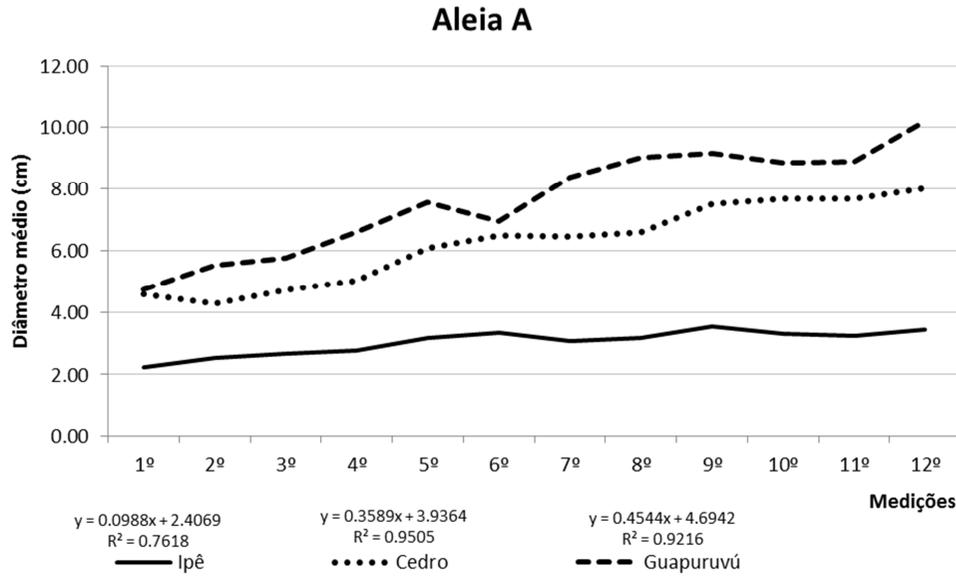
O ipê atingiu os menores diâmetros médios (Figura 21, 22, 23 e 24) da ordem de 4,51 cm estatisticamente distintos do cedro com 7,76 cm e do guapuruvu com 9,52 cm de diâmetro médio. Os diâmetros do cedro e do guapuruvu não diferiram estatisticamente, mas quando relacionado às alturas para cálculo de fitomassa as diferenças se tornam relevantes.

O ganho do diâmetro ao longo do período indica crescimento secundário regular das espécies arbóreas. O pequeno decaimento dos valores do diâmetro é apresentado em meses de déficit hídrico, portanto relacionados à perda de água pelos tecidos vegetais e consequente diminuição das medidas. A morte de indivíduos com grandes diâmetros podem ter influenciado para esse retorno de medida, uma vez que não foram contabilizados nas medições seguintes.

Como consequência da correlação positiva entre diâmetros e alturas os guapuruvus das aleias A e D apresentaram maiores desenvolvimentos de diâmetros e sempre um crescimento enfatizado. Os ipês apresentaram pequeno ganho de diâmetro que foi regular durante todo o período do experimento.

Os crescimentos médios anuais de altura e diâmetro das essências florestais no sistema de aleias foram de 65 cm de altura e 0,83 cm de diâmetro para o ipê; 45 cm de altura e 1,53 cm de diâmetro para o cedro e 85 cm de altura e 1,80 cm de diâmetro para o guapuruvu. Todos esses incrementos foram maiores dos que o encontrado por Paiva e Poggiani (2000) que fizeram um estudo de mudas para reflorestamento encontrando as médias anuais de ganho em alturas de 13 cm para o ipê, 25 cm para o cedro e 58 cm para o guapuruvu e de 0,80 cm para o ipê, 1,3 cm para o cedro e 1,5 cm para o guapuruvu quando analisado o diâmetro. A presença da cana, aparentemente, não exerceu uma pressão competitiva a ponto de retardar o crescimento das essências florestais ou mesmo provocar a mortalidade dessas.

Esses dados comparativos demonstram que mesmo em um plantio jovem que demanda certo tempo de adaptação para as mudas replantadas os resultados obtidos foram promissores para o estabelecimento de um agrossistema de qualidade.

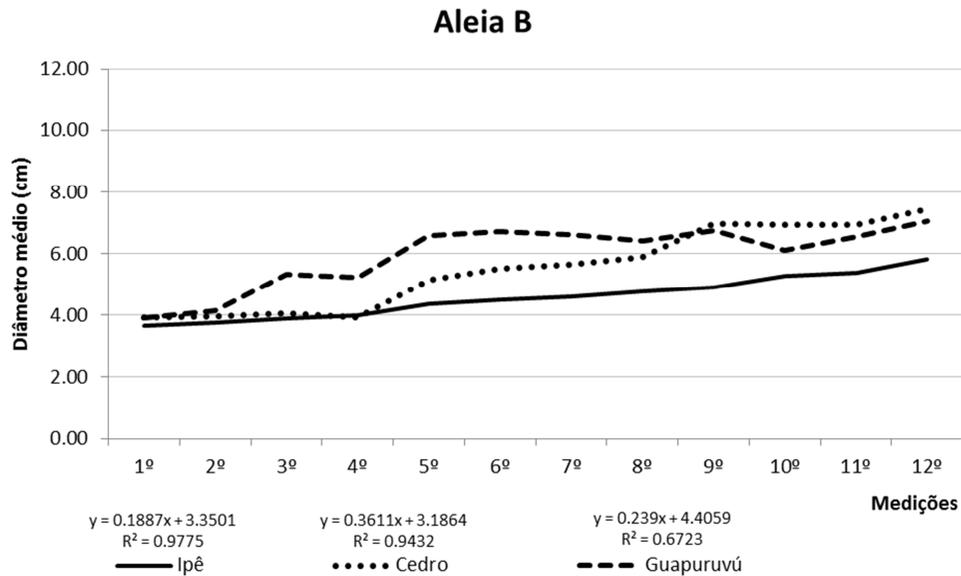


Aleia A

Data	Censo	Ipê	Cedro	Guapuruvú	
2010	jan	1º	2.22 c	4.60 b	4.77 c
	abr	2º	2.54 bc	4.29 b	5.55 bc
	jul	3º	2.66 b	4.75 b	5.77 bc
	out*	4º	2.79 b	5.05 ab	6.63 b
2011	jan	5º	3.18 a	6.08 ab	7.58 b
	abr	6º	3.36 a	6.49 ab	6.95 b
	jul	7º	3.07 ab	6.46 ab	8.39 b
	out*	8º	3.18 a	6.60 ab	9.01 ab
2012	jan	9º	3.55 a	7.52 a	9.16 ab
	abr	10º	3.32 a	7.68 a	8.86 ab
	jul	11º	3.27 a	7.68 a	8.88 ab
	out*	12º	3.46 a	8.04 a	10.22 a

*Colheita da cana-de-açúcar

Figura 21. Desenvolvimento médio do diâmetro basal (cm) por espécie arbórea em ordem cronológica de medição na aleia A.

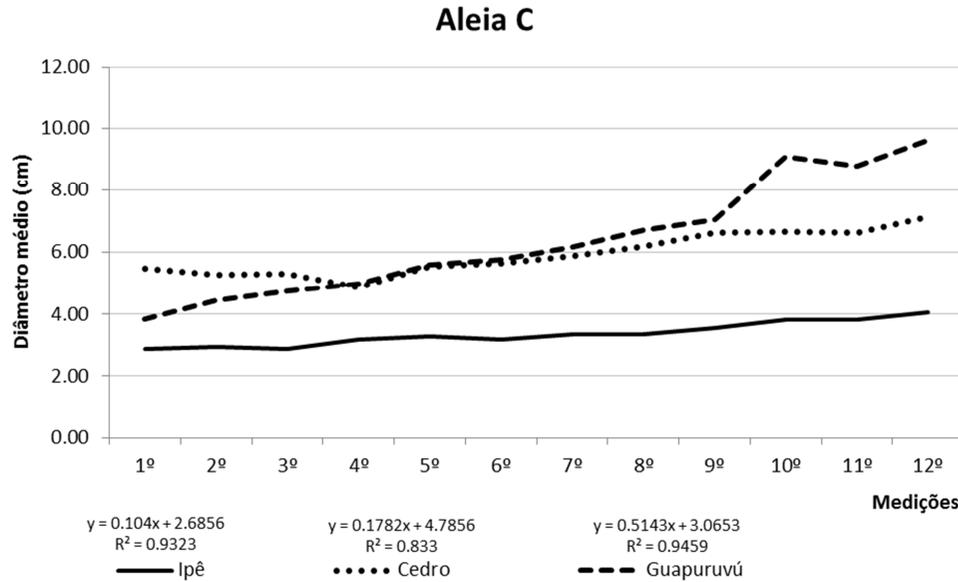


Aleia B

Data	Censo	Ipê	Cedro	Guapuruvú	
2010	jan	1º	3.66 c	3.93 b	3.92 a
	abr	2º	3.75 c	3.96 b	4.16 a
	jul	3º	3.91 c	4.06 b	5.34 a
	out*	4º	3.99 bc	3.94 b	5.24 a
2011	jan	5º	4.37 bc	5.15 ab	6.60 a
	abr	6º	4.49 bc	5.51 ab	6.73 a
	jul	7º	4.59 b	5.66 ab	6.63 a
	out*	8º	4.76 b	5.89 ab	6.40 a
2012	jan	9º	4.92 b	6.99 a	6.75 a
	abr	10º	5.28 ab	6.93 a	6.13 a
	jul	11º	5.38 ab	6.96 a	6.56 a
	out*	12º	5.83 a	7.44 a	7.05 a

*Colheita da cana-de-açúcar

Figura 22. Desenvolvimento médio do diâmetro basal (cm) por espécie arbórea em ordem cronológica de medição na aleia B. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

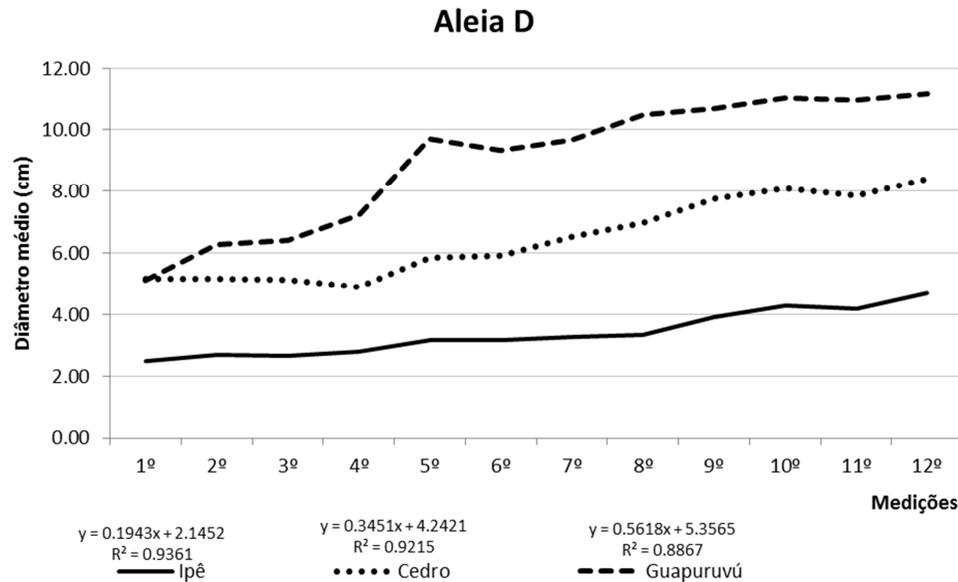


Aleia C

	Data	Censo	Ipê	Cedro	Guapuruvú
2010	jan	1º	2.88 b	5.50 b	3.86 b
	abr	2º	2.95 b	5.27 b	4.45 b
	jul	3º	2.89 b	5.31 b	4.76 ab
	out*	4º	3.18 ab	4.87 b	4.99 ab
2011	jan	5º	3.28 ab	5.55 ab	5.60 ab
	abr	6º	3.19 ab	5.66 ab	5.77 ab
	jul	7º	3.34 ab	5.89 ab	6.16 ab
	out*	8º	3.35 ab	6.18 ab	6.74 ab
2012	jan	9º	3.56 ab	6.64 a	7.10 ab
	abr	10º	3.82 ab	6.66 a	9.09 ab
	jul	11º	3.84 ab	6.64 a	8.78 ab
	out*	12º	4.06 a	7.16 a	9.65 a

*Colheita da cana-de-açúcar

Figura 23. Desenvolvimento médio do diâmetro basal (cm) por espécie arbórea em ordem cronológica de medição na aleia C.



Aleia D

	Data	Censo	Ipê	Cedro	Guapuruvú
2010	jan	1º	2.50 b	5.17 b	5.13 c
	abr	2º	2.71 b	5.17 b	6.27 bc
	jul	3º	2.66 b	5.16 b	6.42 bc
	out*	4º	2.82 b	4.90 b	7.24 bc
2011	jan	5º	3.20 ab	5.85 ab	9.71 b
	abr	6º	3.20 ab	5.94 ab	9.33 b
	jul	7º	3.27 ab	6.52 ab	9.67 b
	out*	8º	3.37 ab	6.99 ab	10.48 ab
2012	jan	9º	3.93 ab	7.76 a	10.69 a
	abr	10º	4.31 a	8.08 a	11.03 a
	jul	11º	4.21 a	7.87 a	10.96 a
	out*	12º	4.72 a	8.41 a	11.16 a

*Colheita da cana-de-açúcar

Figura 24. Desenvolvimento médio do diâmetro basal (cm) por espécie arbórea em ordem cronológica de medição na aleia D. Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

As áreas de copas depois de calculadas pela fórmula da área da elipse foram ajustadas de acordo com a porcentagem de área foliar média encontrada por espécie pela metodologia alternativa proposta, sendo essas 54% para o ipê (Figura 25), 64% para o cedro (Figura 26) e 66% para o guapuruvu (Figura 27).

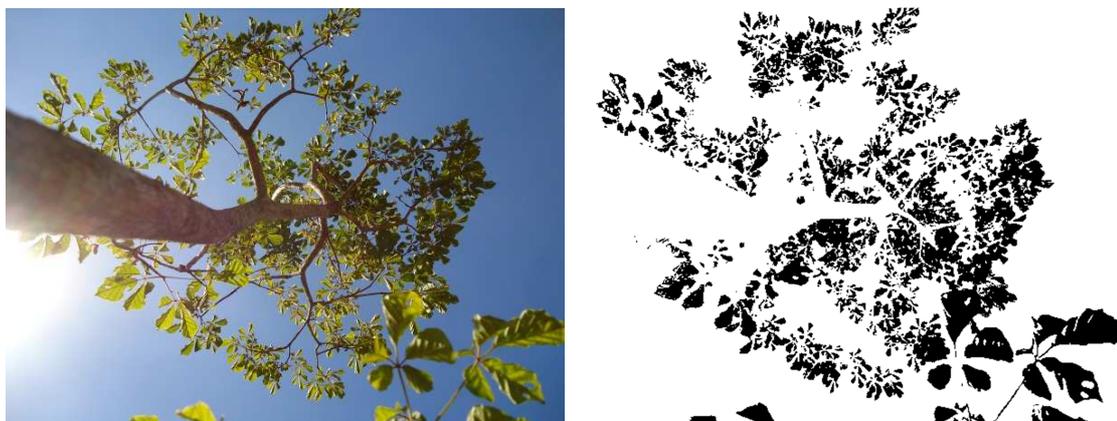


Figura 25. Fotografia (esquerda) da copa de um ipê na orientação norte e a imagem (direita) classificada correspondente.



Figura 26. Fotografia (esquerda) da copa de um cedro na orientação norte e a imagem (direita) classificada correspondente.



Figura 27. Fotografia (esquerda) da copa de um guapuruvu na orientação norte e a imagem (direita) classificada correspondente.

O guapuruvu apresentou a maior média de área de copa entre as espécies estudadas com 5,28 m², seguido pelo cedro com 3,05 m² e 2,07m² a área de copa do ipê como pode ser observado na Tabela 6. Não houve correlação entre o tamanho da copa e as dimensões dendrométricas de altura e diâmetro.

Tabela 6. Áreas médias das copas (m²) por espécie de essência florestal em cada aleia.

	Aleias				Médias
	A	B	C	D	
Ipê	1.88 b	3.75 ab	1.56 b	4.25 ab	2.07 C
Cedro	3.88 ab	3.94 ab	2.17 b	2.30 b	3.05 B
Guapuruvú	5.55 a	2.77 b	6.34 a	2.03 b	5.28 A
Médias	3.58 A	3.37 A	2.66 A	2.45 A	3.05

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas e maiúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Maiores copas sugerem maior sombreamento e para essa demonstração gráfica um mapa em 3D foi gerado (Figura 28). Para este agrossistema proposto, maiores áreas de sombreamento acarretariam, teoricamente, em queda na produtividade da cana, por essa ser uma espécie de metabolismo C4 muito dependente da radiação solar.

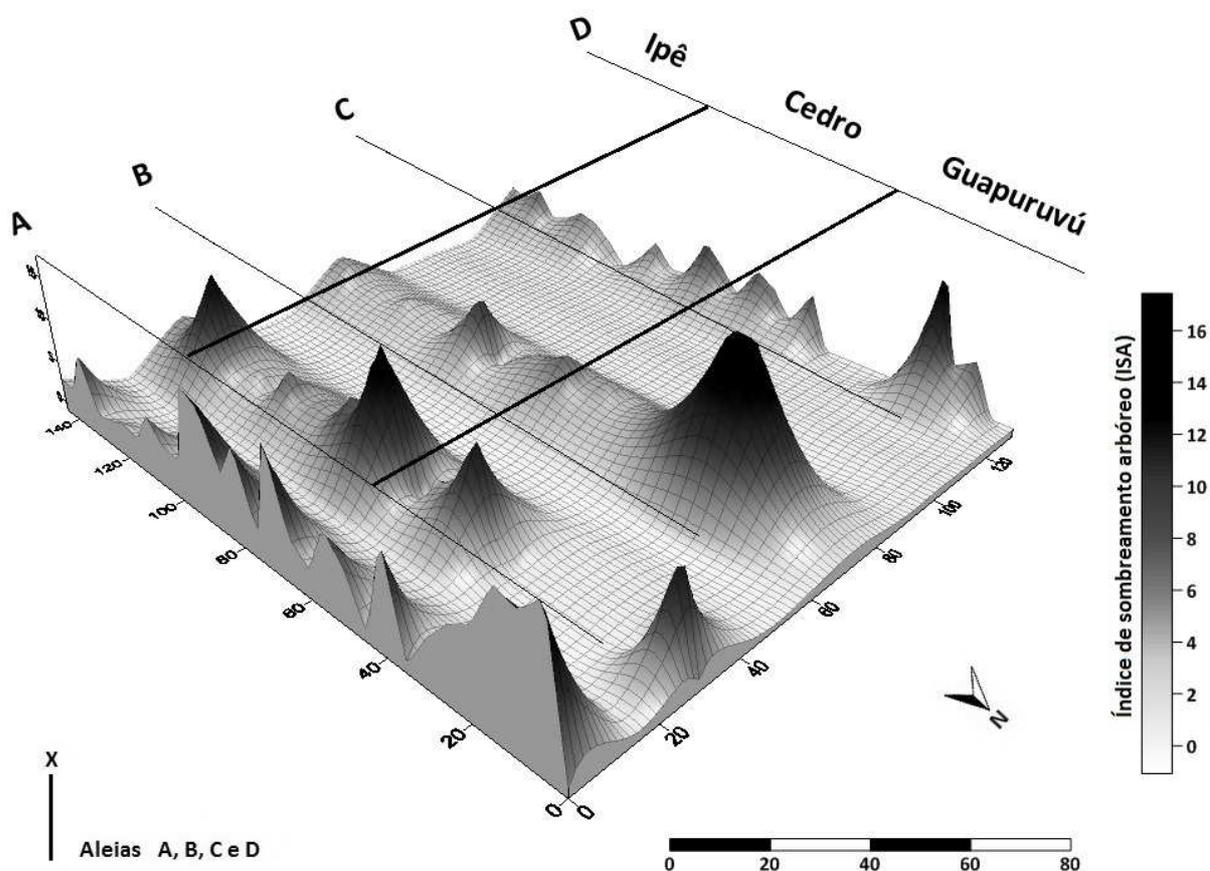


Figura 28. Mapa de superfície em 3D dos índices de sombreamento arbóreo estimadas em cultivo de cana-de-açúcar em aleias em outubro de 2012 com o Sol em zênite. Coordenadas nos eixos X e Y dada pela distância em metros.

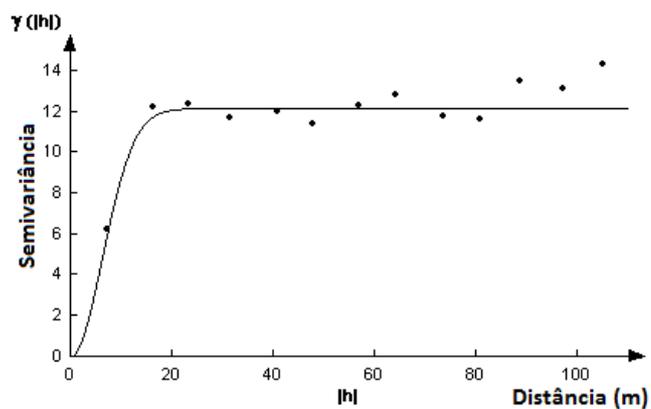


Figura 29. Semivariograma experimental omnidirecional para o índice de sombreamento arbóreo em outubro de 2012.

Tabela 7. Modelo e parâmetros estimados do semivariograma experimental para o índice de sombreamento arbóreo avaliado em outubro de 2012.

Modelo	Ao	Co	C1	$E=Co/(Co+C1) \times 100$	Dependência Espacial	R^2
gaussiano	15.4	0	12.18	0	Totalmente estruturado	0.62

Ao mesmo tempo, maiores copas influenciam diretamente no aporte de biomassa e na ciclagem de nutrientes do sistema, uma vez que o “input” de folhas e a formação de serapilheira é proporcionalmente maior. Uma relação direta entre diâmetro da copa e da raiz é apresentada, uma vez que ao aumentar a copa, a planta necessita de maior sustentação e, portanto investe na produção de raiz.

O maior diâmetro da estrutura radicular, neste caso, não apresenta pontos negativos, pois as espécies arbóreas possuem arquitetura de raiz diferente da cana, não havendo competição direta, as raízes arbóreas são, principalmente, mais profundas. Maior porcentagem de sistema radicular sugere uma maior exsudação, fator preponderante para formação de aglomerados, atração de microrganismos, liberação e quebra de nutrientes. O maior aporte de biomassa abaixo do solo, bem como maiores interações com fungos micorrízicos e rizóbios são possibilitados, além da alteração física do solo, pela alteração da porosidade e aeração. A matéria orgânica originada a partir de raízes mortas, além de melhorar as qualidades física, químicas e biológicas do solo, favorece a diversificação da fauna edáfica que a utilizam como substrato.

Os sistemas radiculares das essências florestais e da cana são de certa forma, sincronizados para não haver competição. Esse fato também foi motivador na escolha das espécies arbóreas para o sistema, uma arquitetura que evitasse a competição com a cana por nutrientes e água. Enquanto o sistema da cana é mais superficial e ramificado lateralmente, a arquitetura das raízes dos indivíduos das aleias atinge maiores profundidades, saindo da zona de competição com a cana, não causando prejuízos na produtividade da cana, nem no desenvolvimento das árvores, devido a esse fator.

Segundo Franco et al. (2002) os efeitos do manejo agroflorestal na manutenção da fertilidade do solo podem ser considerados como um fator direto no controle da erosão, além da proteção devido à cobertura do solo fornecida pelas copas das árvores, da manta orgânica e do papel das árvores como barreira ao escoamento superficial.

A Figura 29 associada a Tabela 7 confirmam que os dados de sombreamento na área foram totalmente dependentes da localização das aleias, uma vez que o parâmetro E é menor que 15. Pode-se perceber que os maiores índices de sombreamento estavam localizados nas aleias de guapuruvu, em seguida de cedro e por fim de ipê com os menores índices de sombreamento referente às menores copas com as menores densidades de folha.

4.2 Produtividade agrossilvicultural em sistema de cultivo integrado de cana-de-açúcar e aleias de essências florestais nativas

4.2.1 Produtividade agrícola da cana-de-açúcar

As colheitas da cana-de-açúcar no sistema experimental foram realizadas regularmente no mês de outubro de cada ano, mais especificamente nas respectivas datas: 26 de outubro de 2010, 4 de outubro de 2011 e 19 de outubro de 2012. A produção média entre as diferentes larguras de faixa de cultivo, sem considerar as espécies das árvores, variou entre 132,6 a 158,9 t.ha⁻¹ em 2010; 81,1 a 88,4 t.ha⁻¹ em 2011 e 62,5 a 82,2 t.ha⁻¹ em 2012. Quando se analisa as espécies de árvores sem considerar as larguras das faixas, a produção média variou entre 133,5 a 156,0 t.ha⁻¹ em 2010; 83,4 a 85,4 t.ha⁻¹ em 2011 e 73,4 a 75,1 t.ha⁻¹ em 2012. A média geral de todo o experimento foi de 141,5 t.ha⁻¹ em 2010; 84,2 t.ha⁻¹ em 2011 e 74,3 t.ha⁻¹ em 2012 (Tabela 8).

O canavial desenvolveu-se normalmente sem intercorrência e todas as práticas agrícolas convencionais foram empregadas sem maiores dificuldades. A média da produtividade dos canaviais no Brasil em 2013 atingiu 74 ton.ha⁻¹ (UNICA, 2013) sendo assim o experimento apresentou produtividade maior do que a média corroborando o bom rendimento do agrossistema. Considerando que o cultivo neste experimento simulou as técnicas de um cultivo comercial, os resultados gerais obtidos indicam uma produtividade média normal para canas em plantio de ano e meio e das soqueiras do primeiro e segundo corte.

Tabela 8. Produtividade média de cana-de-açúcar em ton.ha⁻¹ em diferentes anos e influências dos espaçamentos das faixas de plantio e espécies arbóreas presente nas aleias.

	Faixas de Plantio	Espécies arbóreas			Médias	
		Ipê	Cedro	Guapuruvu		
Safr	2009/2010	20 linhas	134.8 <i>b</i>	138.9 <i>b</i>	125.7 <i>b</i>	133.2 <i>b</i>
		30 linhas	198.2 <i>a</i>	137.1 <i>b</i>	141.4 <i>b</i>	158.9 <i>a</i>
		40 linhas	134.9 <i>b</i>	128.2 <i>b</i>	134.6 <i>b</i>	132.6 <i>b</i>
		médias	156.0 <i>a</i>	133.5 <i>b</i>	134.9 <i>b</i>	141.5 <i>A</i>
	2010/2011	20 linhas	90.4 <i>c</i>	91.9 <i>c</i>	82.8 <i>c</i>	88.4 <i>c</i>
		30 linhas	80.1 <i>c</i>	80.1 <i>c</i>	83.1 <i>c</i>	81.1 <i>c</i>
		40 linhas	85.7 <i>c</i>	79.4 <i>c</i>	84.4 <i>c</i>	83.2 <i>c</i>
		médias	85.4 <i>c</i>	83.8 <i>c</i>	83.4 <i>c</i>	84.2 <i>B</i>
	2011/2012	20 linhas	81.3 <i>c</i>	82.7 <i>c</i>	82.7 <i>c</i>	82.2 <i>c</i>
		30 linhas	76.3 <i>c</i>	78.6 <i>c</i>	79.9 <i>c</i>	78.3 <i>c</i>
		40 linhas	62.7 <i>d</i>	62.1 <i>d</i>	62.8 <i>d</i>	62.5 <i>d</i>
		médias	73.4 <i>c</i>	74.5 <i>c</i>	75.1 <i>c</i>	74.3 <i>C</i>

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e nas colunas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os mapas de distribuição espacial da produtividade (Figuras 30, 31 e 32) corroborado pelos semivariogramas (Figura 33 e Tabela 9) permitem perceber que a variação da produtividade nos anos de 2011 e 2012 se comportou de forma aleatória. Já no ano de 2010 foi observada certa estruturação na distribuição, devido a um pico produtivo na faixa de 43,5 m entre as aleias de ipê. Este fato pode ser explicado pela alta fertilidade do solo observada pelo parâmetro V% que apresentou uma distribuição espacial (Figuras 34, 35, 36, 37 e Tabela 10) que sobrepôs à área de maior produtividade no sistema e apresentou correlação significativa.

Em 2012 a faixa de 58 m entre as aleias C e D apresentou as menores taxas de produtividades do sistema que pode ser explicado pela queda localizada do V% do solo, que se distribuiu de forma similar a área de baixa produtividade obtendo uma pequena correlação positiva entre esses fatores.

Outro fator que integra as causas da queda da produtividade nessa faixa foi o tombamento das canas devido ao vento observado nos caminhamentos para levantamento qualitativo da área. As duas outras faixas com o menor

espaçamento podem ter sido protegidas pelo efeito de quebra vento das aleias, enquanto a faixa entre as aleias C e D estava mais vulnerável a ação do vento.

A distribuição dos valores de V% obtiveram resultados aleatórios para todas as safras. Houve correlação positiva entre V% e a produtividade da safra de 2010 apresentando-se como causa confiável para o pico de produtividade localizado nesta época entre as aleias B e C de ipê (Figura 38). A queda brusca dos valores de V% em 2012 pode estar relacionada a erros metodológicos no tipo de amostragem composta por menor quantidade de subamostras e/ou mesmo a falta de adubação de cobertura neste ano. Estas são apenas inferências e mais prováveis causas, sem comprovação documentada.

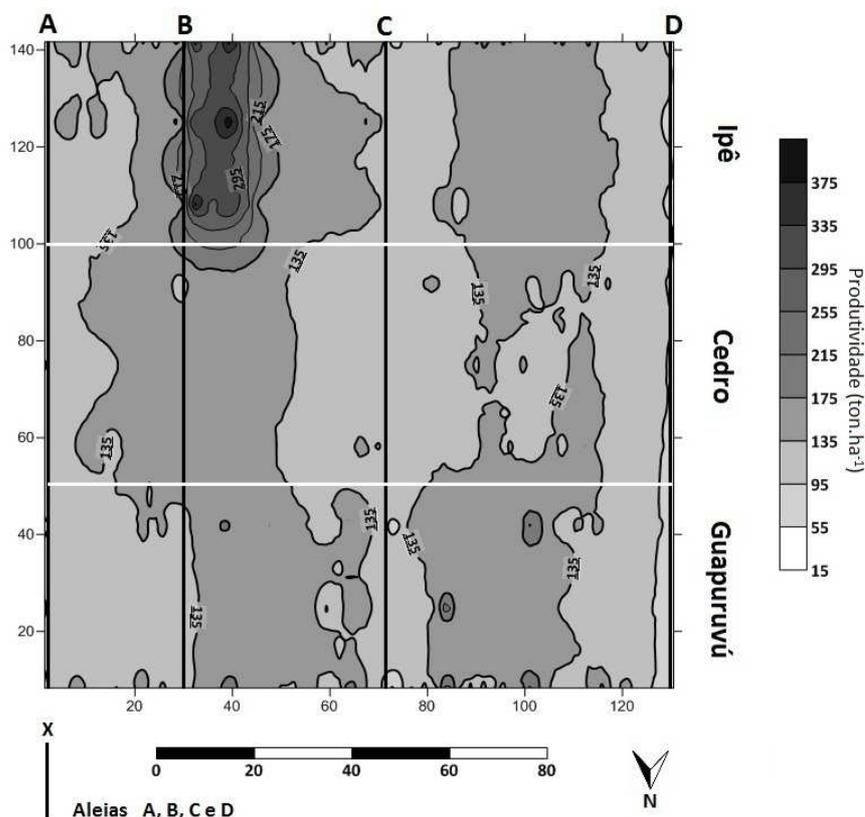


Figura 30. Mapa de variabilidade espacial das taxas de produtividade estimada em ton.ha⁻¹ de cana-de-açúcar entre aleias na safra de **2009/10** (Data da colheita 26/10/2010). Coordenadas nos eixos X e Y dada pela distância em metros. (Escala A - Mín.: 15 / Máx.: 390 ton.ha⁻¹).

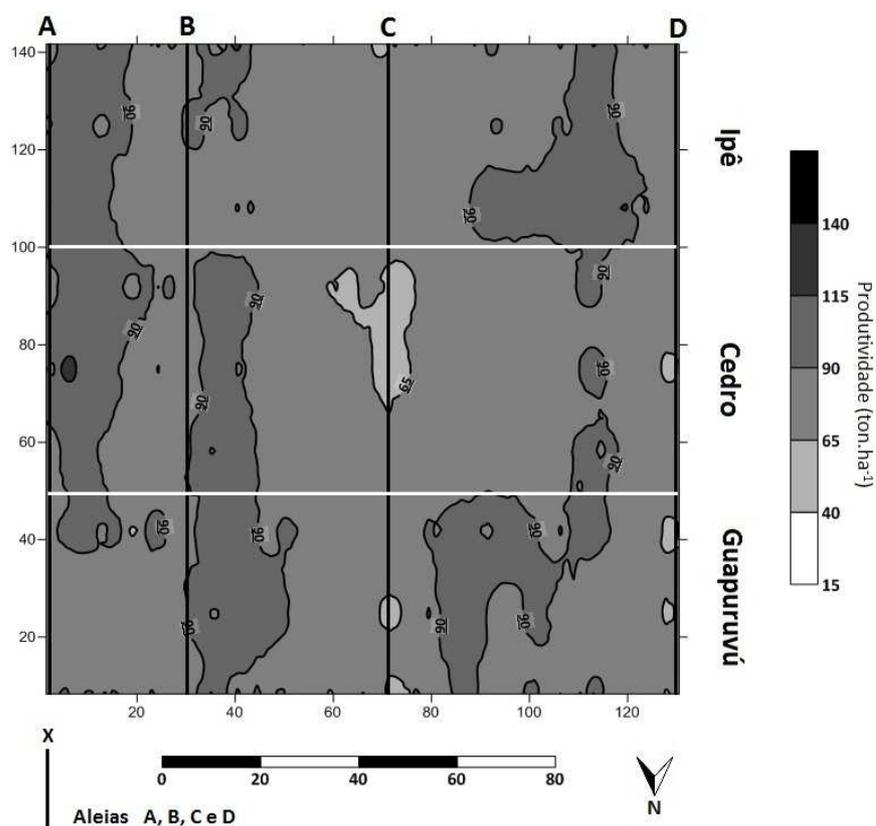


Figura 31. Mapa de variabilidade espacial das taxas de produtividade estimada em $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de cana-de-açúcar entre aleias na safra de **2010/11** (Data da colheita 04/10/2011). Coordenadas nos eixos X e Y dada pela distância em metros.

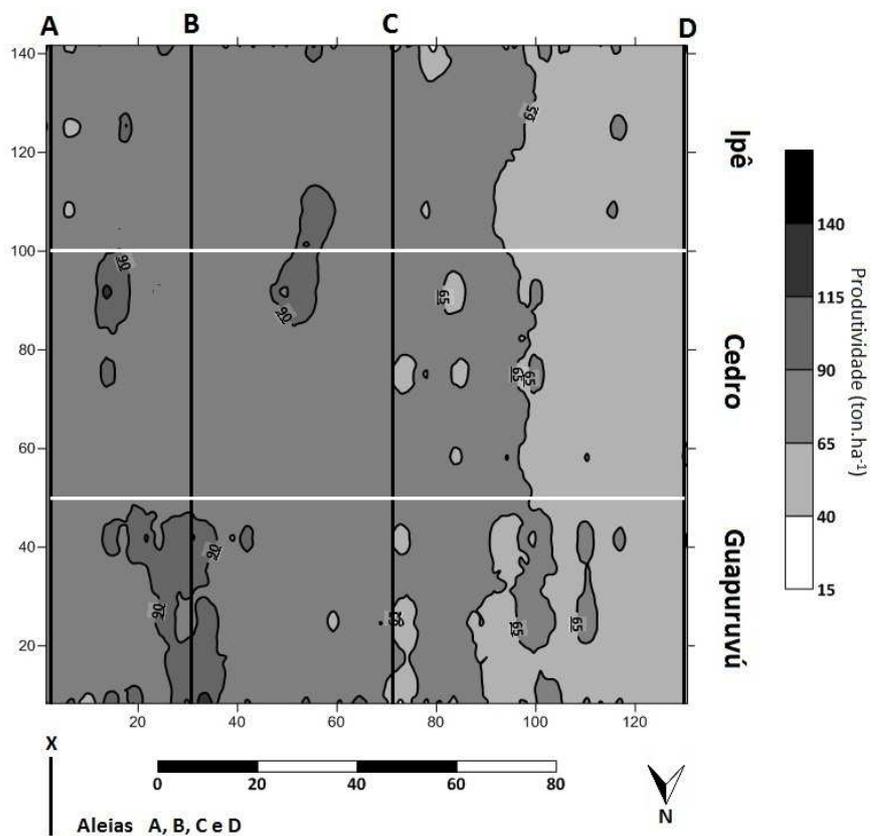


Figura 32. Mapa de variabilidade espacial das taxas de produtividade estimada em $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ de cana-de-açúcar entre aleias na safra de **2011/12** (Data da colheita 19/10/2012). Coordenadas nos eixos X e Y dada pela distância em metros.

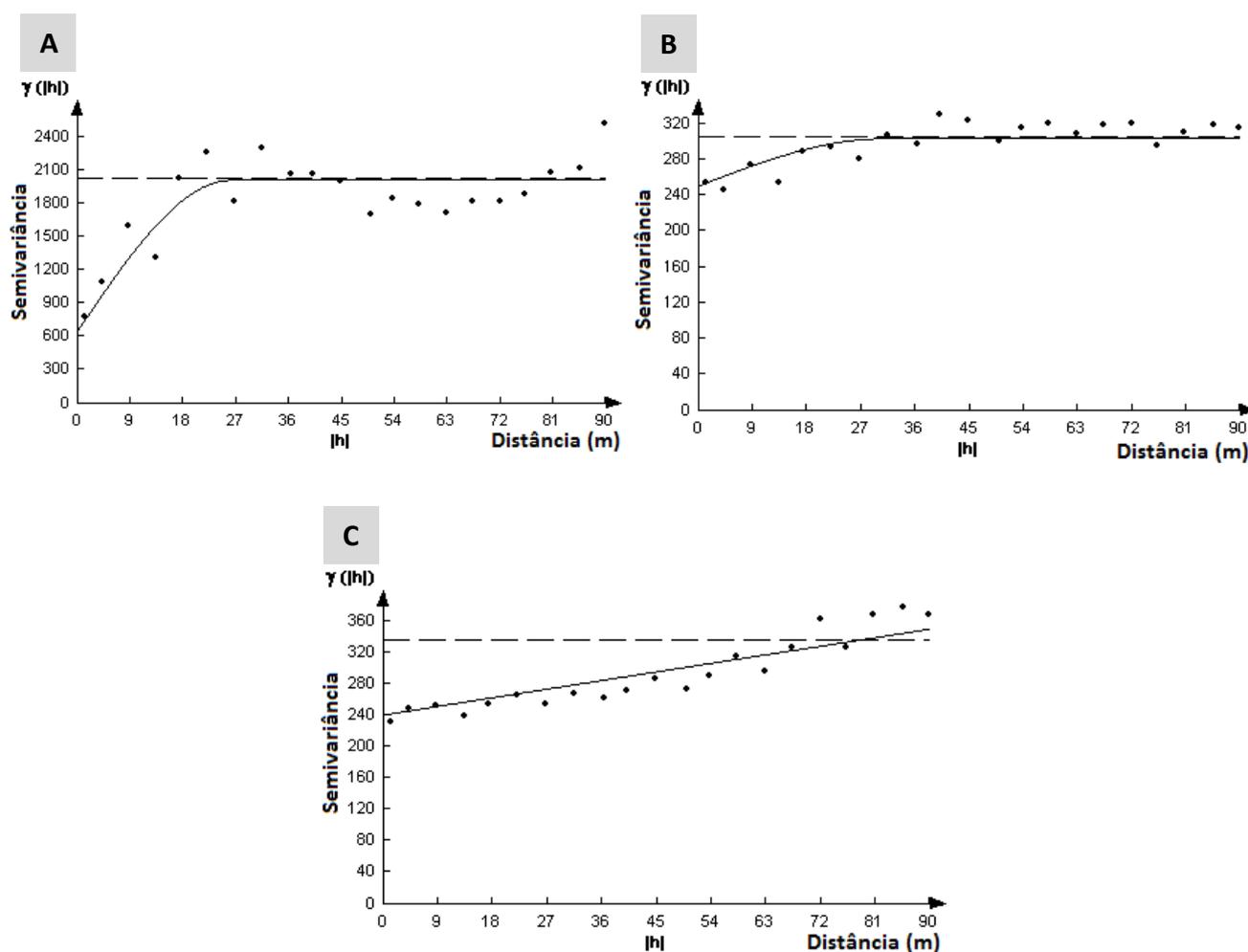


Figura 33. Semivariogramas experimentais omnidirecionais para a **produtividade** da cana-de-açúcar nas safras: **(A)**. 2009/10, **(B)**. 2010/11 e **(C)**. 2011/12.

Tabela 9. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para **produtividade** da cana-de-açúcar nas safras: **(A)**. 2009/10, **(B)**. 2010/11 e **(C)**. 2011/12.

		Modelo	Ao	Co	C1	$E=Co/(Co+C1) \times 100$	Dependência Espacial	R ²
Safras	2009/10	esférico	26.1	651	1365	32	Estruturação Moderada	0.31
	2010/11	esférico	30.6	251.1	52.7	83	Aleatorização moderada	0.89
	2011/12	linear	0	241.4	0	100	Totalmente aleatório	0.69

Os modelos teóricos a que os semivariogramas foram ajustados apresentam a estruturação dos dados para distribuição espacial apenas para a safra de 2009/10, indicando que os picos de produtividades foram localizados na área. Já para a safra 2011/12, mesmo observando uma mancha de baixa produtividade entre as aleias C e D, o semivariograma não permite afirmar sobre a estruturação dos dados.

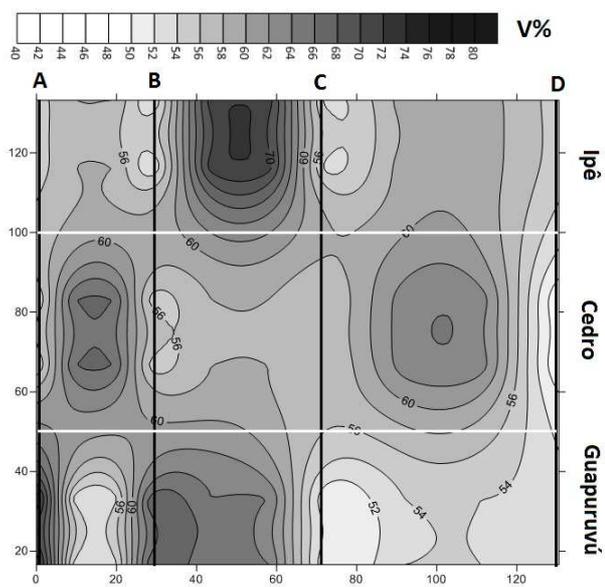


Figura 34. Mapa de variabilidade espacial dos valores de V% analisados e estimados de cultivo de cana-de-açúcar em **2010**. Coordenadas nos eixos X e Y dada pela distância em metros. (1ª época 22 de fevereiro de 2010).

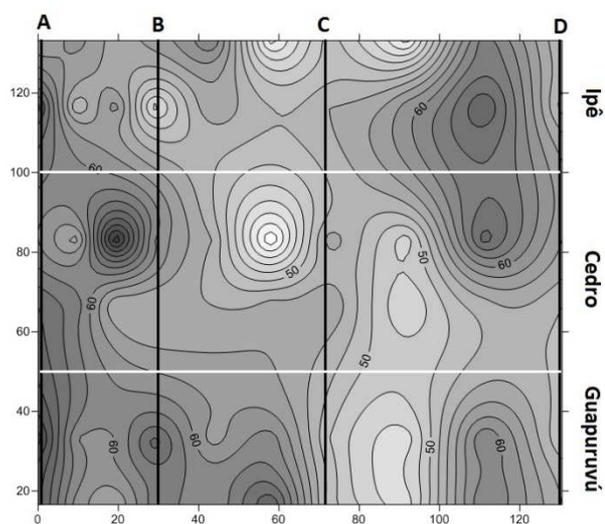


Figura 35. Mapa de variabilidade espacial dos valores de V% analisados e estimados de cultivo de cana-de-açúcar em **2011**. Coordenadas nos eixos X e Y dada pela distância em metros. (2ª época 29 de março de 2011).

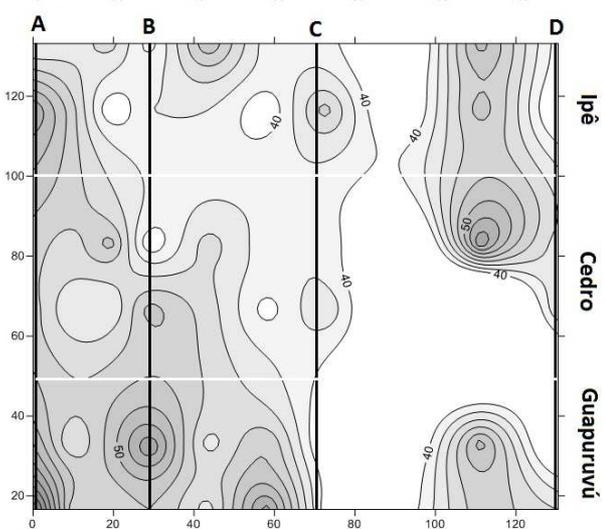
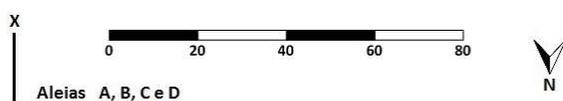


Figura 36. Mapa de variabilidade espacial dos valores de V% analisados e estimados de cultivo de cana-de-açúcar em **2012**. Coordenadas nos eixos X e Y dada pela distância em metros. (3ª época 12 de dezembro de 2012).



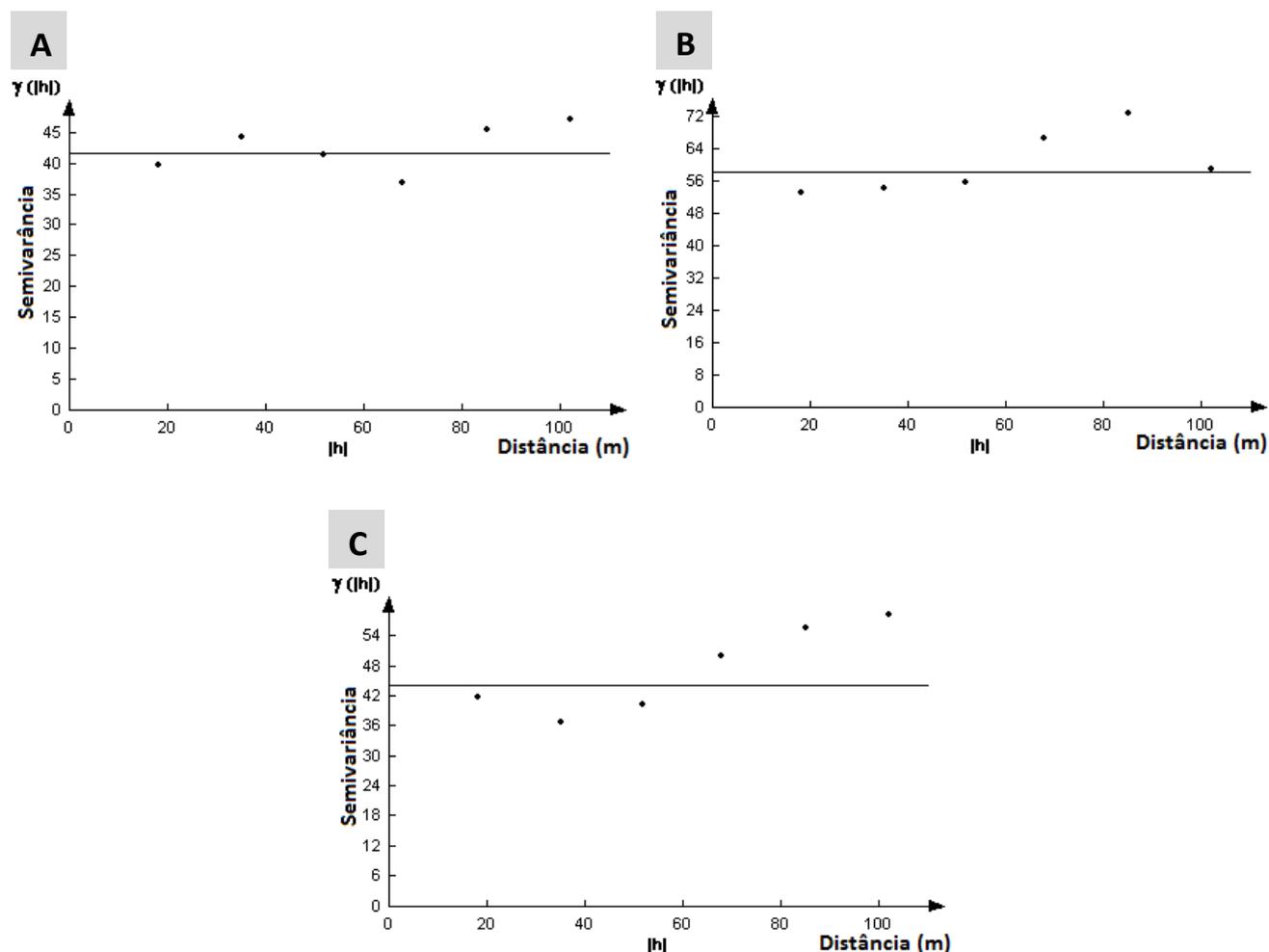


Figura 37. Semivariogramas experimentais omnidirecionais para o parâmetro V% do solo da área experimental nas safras: **(A).** 2009/10, **(B).** 2010/11 e **(C).** 2011/12.

Tabela 10. Modelos e parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para o parâmetro V% do solo da área de plantio nas safras: **(A).** 2009/10, **(B).** 2010/11 e **(C).** 2011/12.

	Modelo	Ao	Co	C1	$E=Co/(Co+c1) \times 100$	Dependência Espacial	R ²	
Safra	A. 2009/10	linear	0	41.8	0	100	Totalmente aleatório	0.73
	B. 2010/11	linear	0	51.52	0	100	Totalmente aleatório	0.72
	C. 2011/12	linear	0	58.56	0	100	Totalmente aleatório	0.26

Para o parâmetro V% do solo observam-se nos modelos teóricos dos semivariogramas, todos os valores de E iguais a cem, demonstrando total aleatoriedade da representação gráfica, na qual os valores de V% não se comportaram de forma estruturada. Isso ocorreu para a representação gráfica, que mesmo assim permite a visualização de como esse parâmetro estava se comportando na área. Não quer dizer propriamente que tais valores não sejam

significativos para as diferenciações de picos e vales na produtividade. A fim de uma representação gráfica com maior verossimilhança, talvez mais pontos amostrais devam ser coletados. Para título de inferências sobre possíveis alterações de produtividade a avaliação teve relevância, uma vez que foi observada correlações de certa forma significativas, entre o parâmetro V% do solo e produtividade agrícola, indicando explicação corroborada das variações dependentes da relação entre os parâmetros (Figura 38), como discutido para explicar os picos da safra de 2009/10.

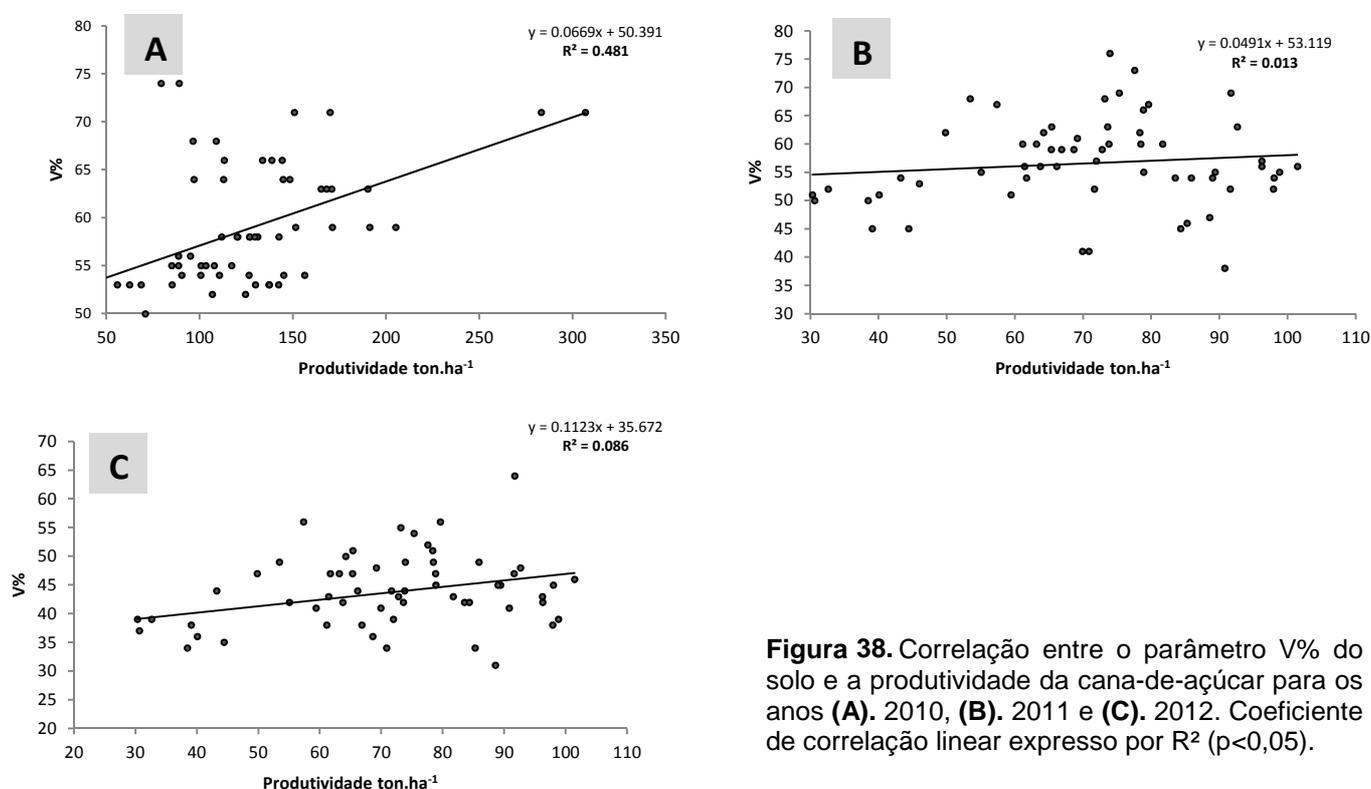


Figura 38. Correlação entre o parâmetro V% do solo e a produtividade da cana-de-açúcar para os anos (A). 2010, (B). 2011 e (C). 2012. Coeficiente de correlação linear expresso por R^2 ($p < 0,05$).

Na safra de 2009/10 (Figuras 39, 40 e 41) observou-se um episódio recorrente de queda significativa na produtividade da primeira linha adjacente a aleia. Isto ocorreu, pois meses antes do plantio da cana, foi feito um cultivo de soja nas faixas de plantio entre as aleias há uma distância de 2,5 m das fileiras de árvores não alcançando a localização onde a primeira linha de cana foi instalada. O cultivo de soja foi realizado com adubação NPK (fórmula 02:20:20) melhorando a fertilidade do solo na área onde foi plantada. Pode ter ocorrido o

aumento das doses de nitrogênio, sabendo da simbiose dessa planta com o rizóbio, e a deposição da biomassa radicular, podem ter beneficiado a cana plantada na mesma área da soja sendo comparativamente mais produtiva do que a primeira linha que foi plantada em uma área que não recebeu esses tratamentos culturais.

As demais linhas que apresentaram aumento de produtividade por linha, este não foi gradual ou ordenado, não sendo então explicado pela qualidade do solo ou influência das espécies arbóreas. As diferenças estatísticas apresentadas foram possibilitadas por valores discrepantes das primeiras linhas de plantio de cana, sendo que o restante da produtividade ocorreu de forma aleatória.

As altas produtividades por linha na aleia de ipê na faixa de 43,5 m foi justificada anteriormente provavelmente pela qualidade do solo expressada pelos valores de V%. Nas safras dos anos seguintes só foi possível observar diferença estatística significativa para a menor faixa de 29 m na safra de 2010/11 (Figuras 42, 43 e 44) na qual as primeiras 2 linhas apresentaram uma pequena queda de produtividade, mas sem grande relevância, pois se aproximou da produtividade de outras linhas de forma aleatória.

Este ano ainda pode ter sofrido alguma influência dos tratamentos culturais do período da soja uma vez que na safra seguinte, 2011/12 (Figuras 45, 46 e 47) não foi possível observar qualquer diferença significativa nas produtividades por linha de plantio de cana. A produtividade das linhas da faixa de 58 m entre as aleias C e D também sofreram influência do tombamento da cana explicado anteriormente.

Figuras 39, 40 e 41 abaixo referentes à safra de 2009/10

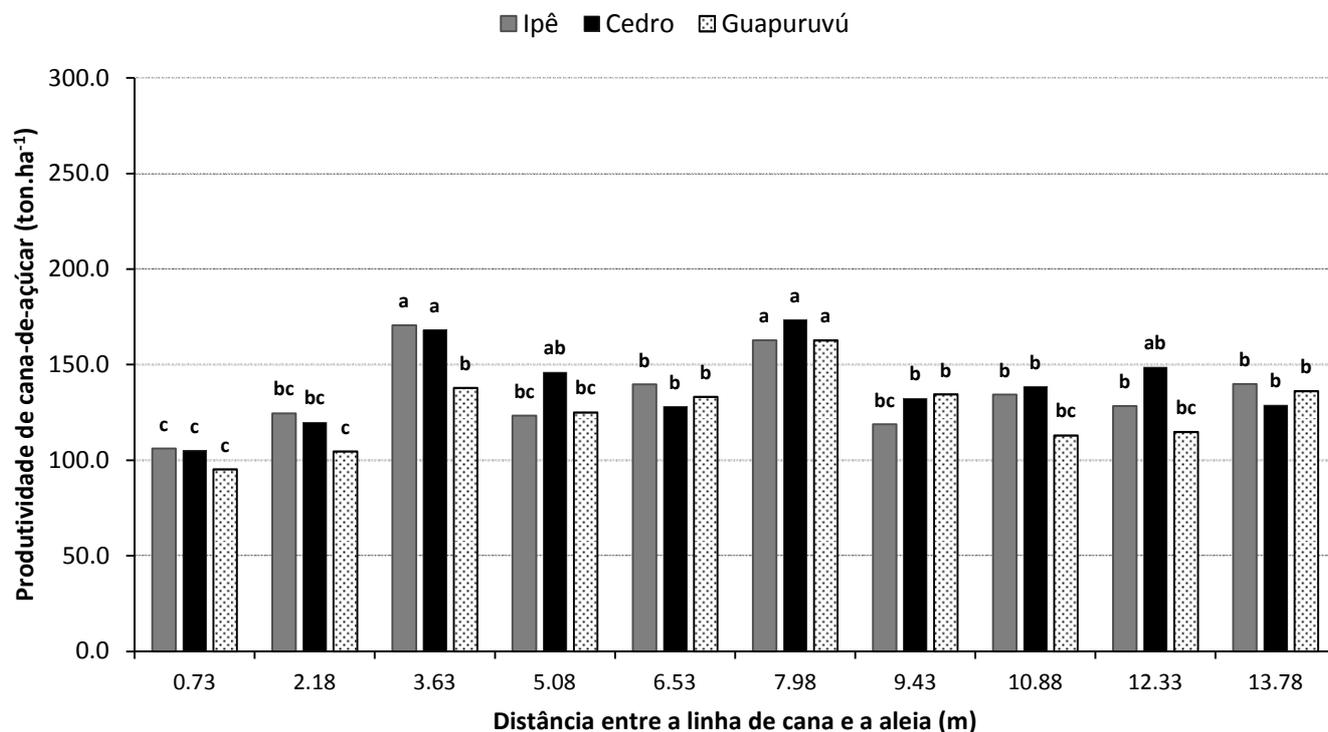


Figura 39. Produtividade por linha de cana-de-açúcar na faixa de 29 metros (20 linhas de plantio) na safra de 2009/10. Valores seguidos pelas mesmas letras acima das barras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

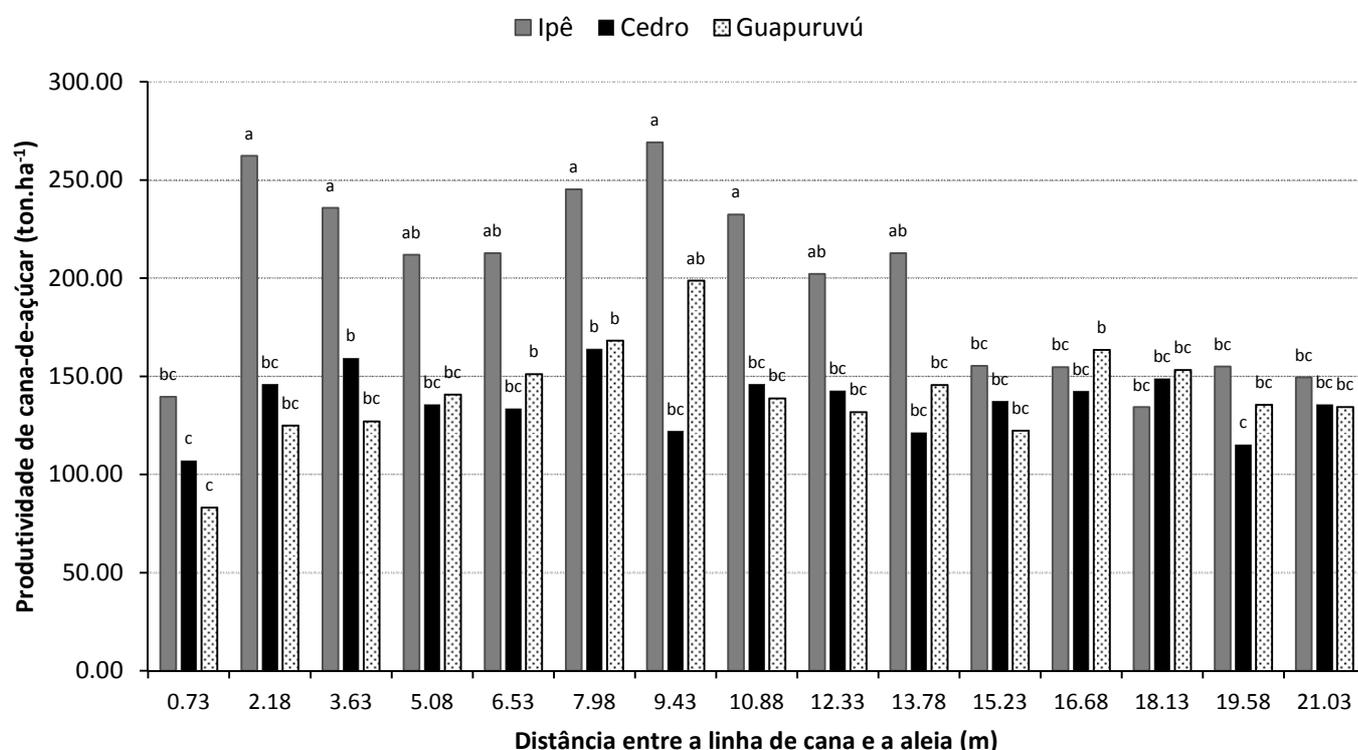


Figura 40. Produtividade por linha de cana-de-açúcar na faixa de 43,5 metros (30 linhas de plantio) na safra de 2009/10. Valores seguidos pelas mesmas letras acima das barras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

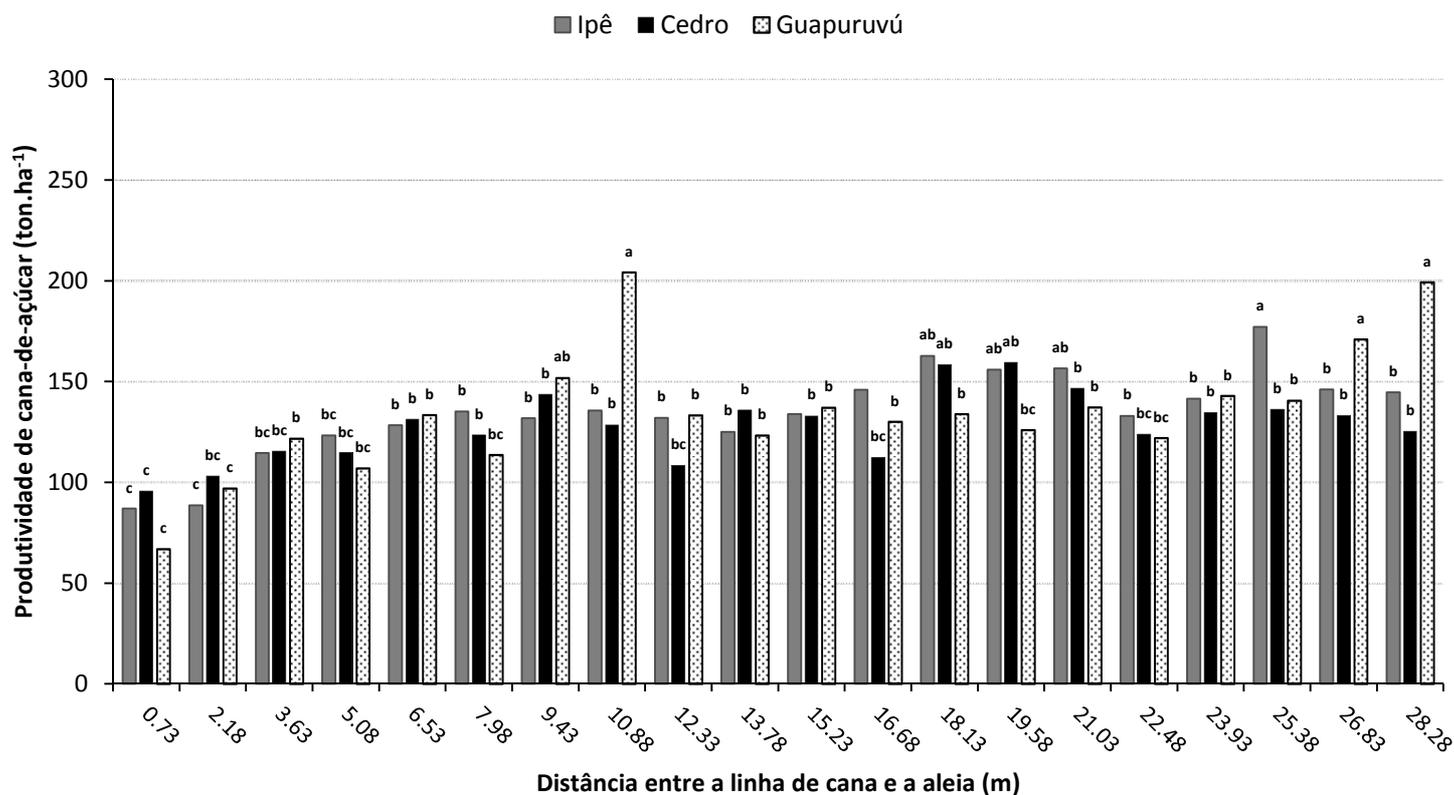


Figura 41. Produtividade por linha de cana-de-açúcar na faixa de 58 metros (**40 linhas de plantio**) na safra de 2009/10. Valores seguidos pelas mesmas letras acima das barras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabelas 42, 43 e 44 abaixo referente à safra de 2010/11

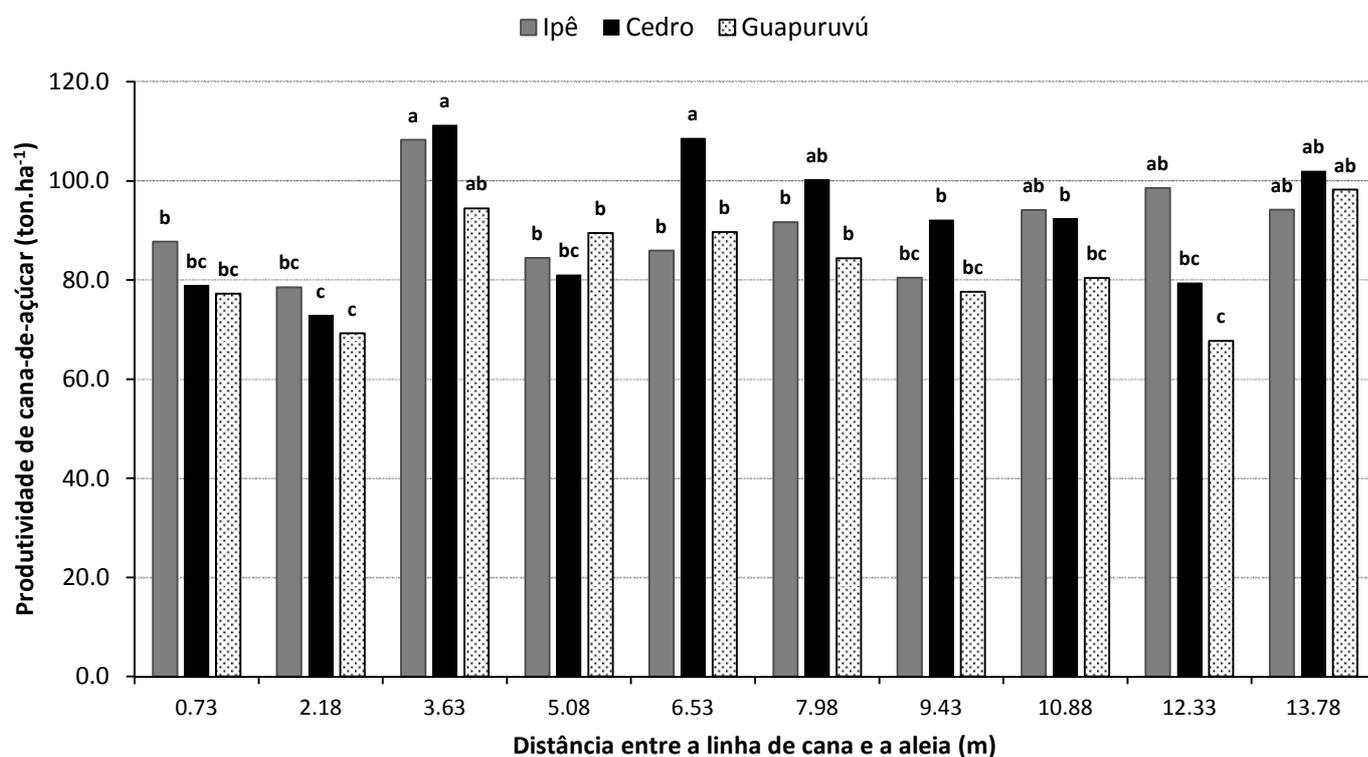


Figura 42. Produtividade por linha de cana-de-açúcar na faixa de 29 metros (**20 linhas de plantio**) na safra de 2010/11. Valores seguidos pelas mesmas letras acima das barras, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

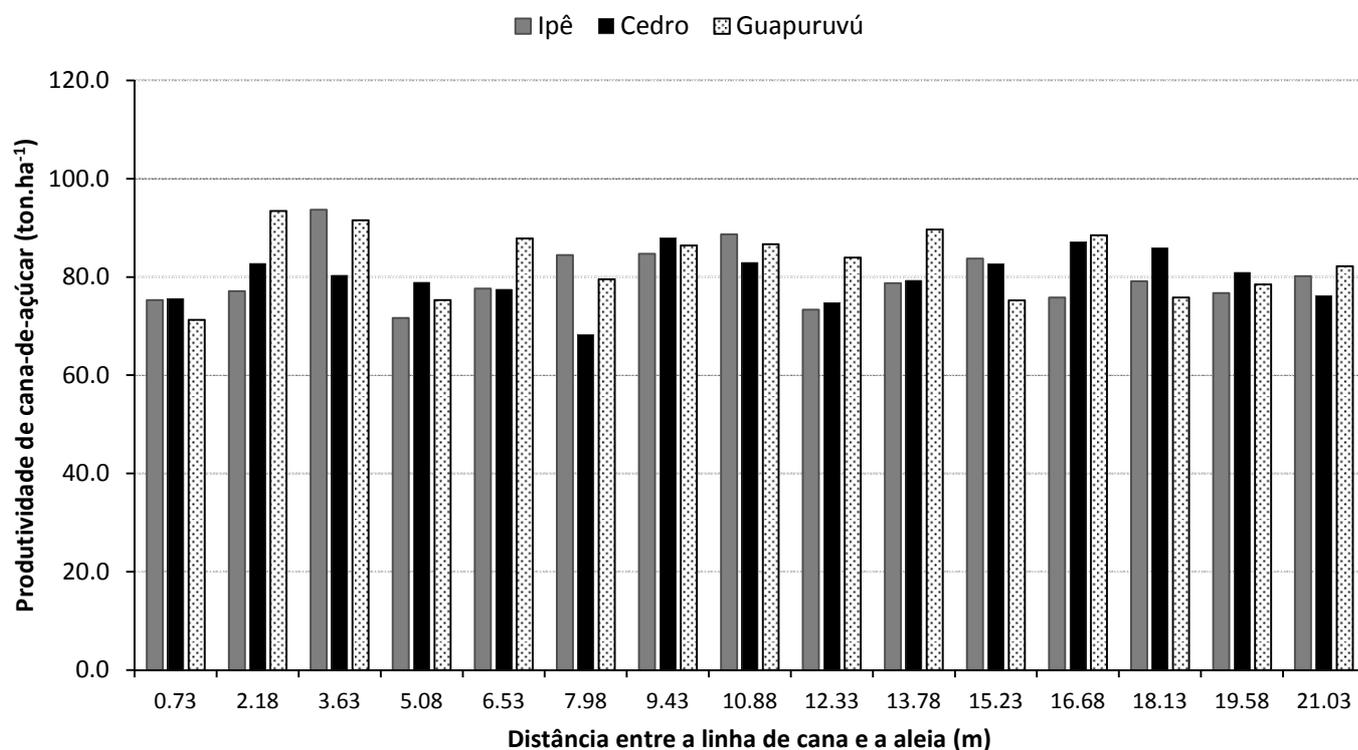


Figura 43. Produtividade por linha de cana-de-açúcar na faixa de 43,5 metros (30 linhas de plantio) na safra de 2010/11. Não houve diferença significativa entre os valores pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

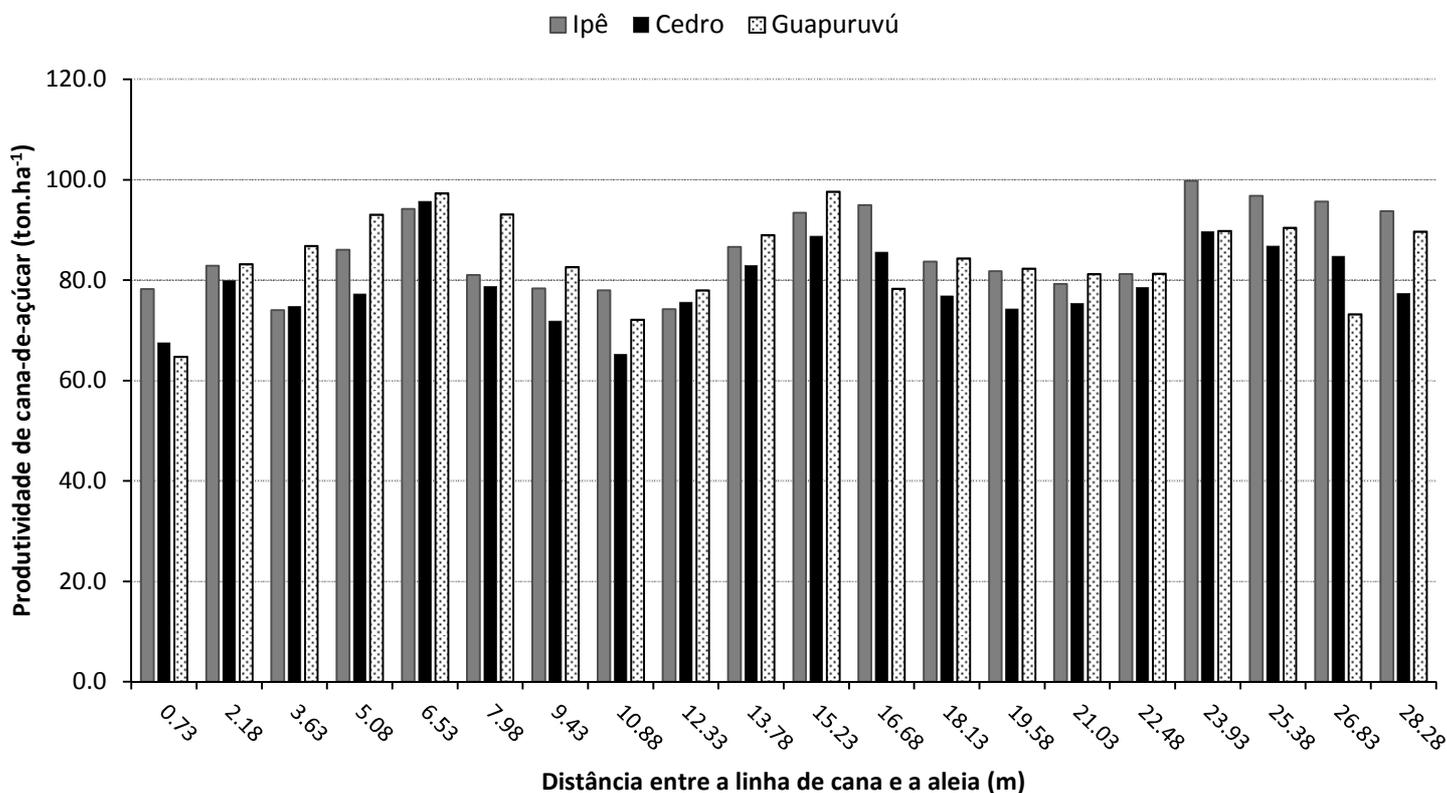


Figura 44. Produtividade por linha de cana-de-açúcar na faixa de 58 metros (40 linhas de plantio) na safra de 2010/11. Não houve diferença significativa entre os valores pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Tabelas 45, 46 e 47 abaixo referente à safra de 2011/12

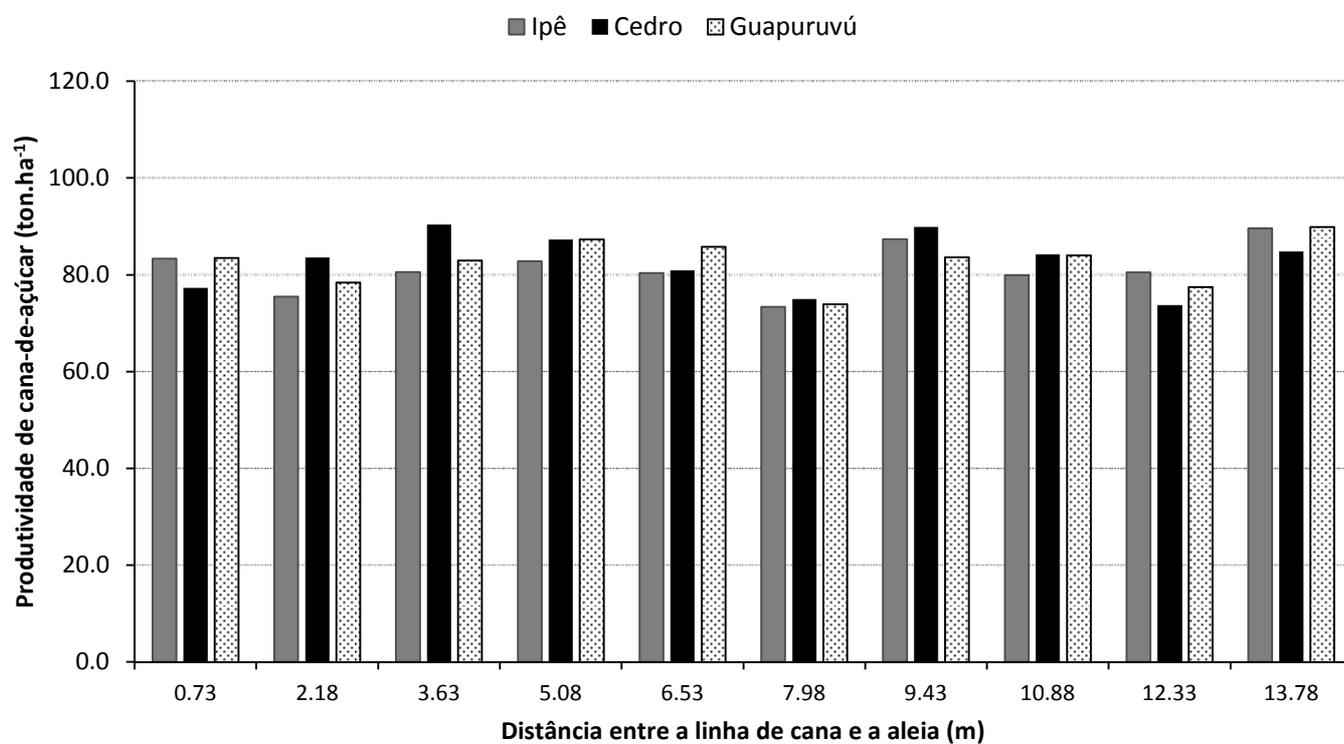


Figura 45. Produtividade por linha de cana-de-açúcar na faixa de 29 metros (**20 linhas de plantio**) na safra de 2011/12. Não houve diferença significativa entre os valores pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

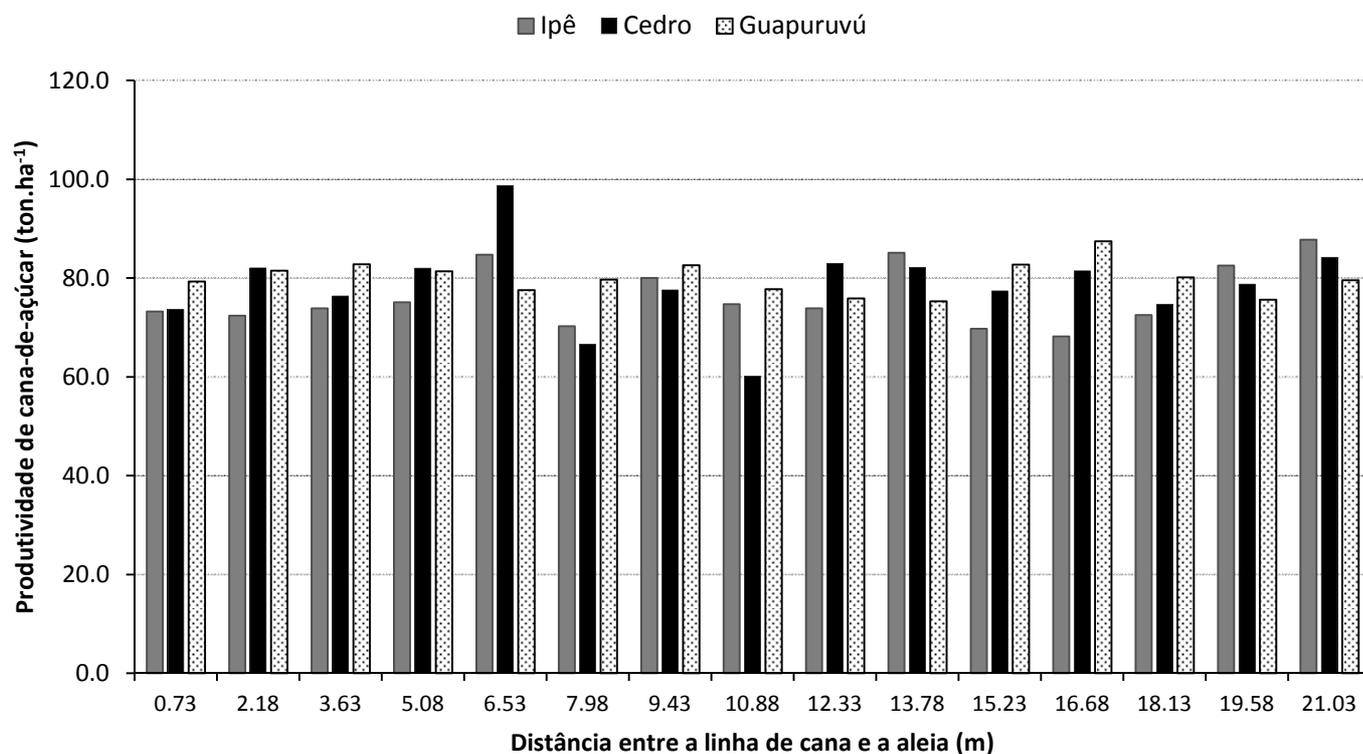


Figura 46. Produtividade por linha de cana-de-açúcar na faixa de 43,5 metros (**30 linhas de plantio**) na safra de 2011/12. Não houve diferença significativa entre os valores pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

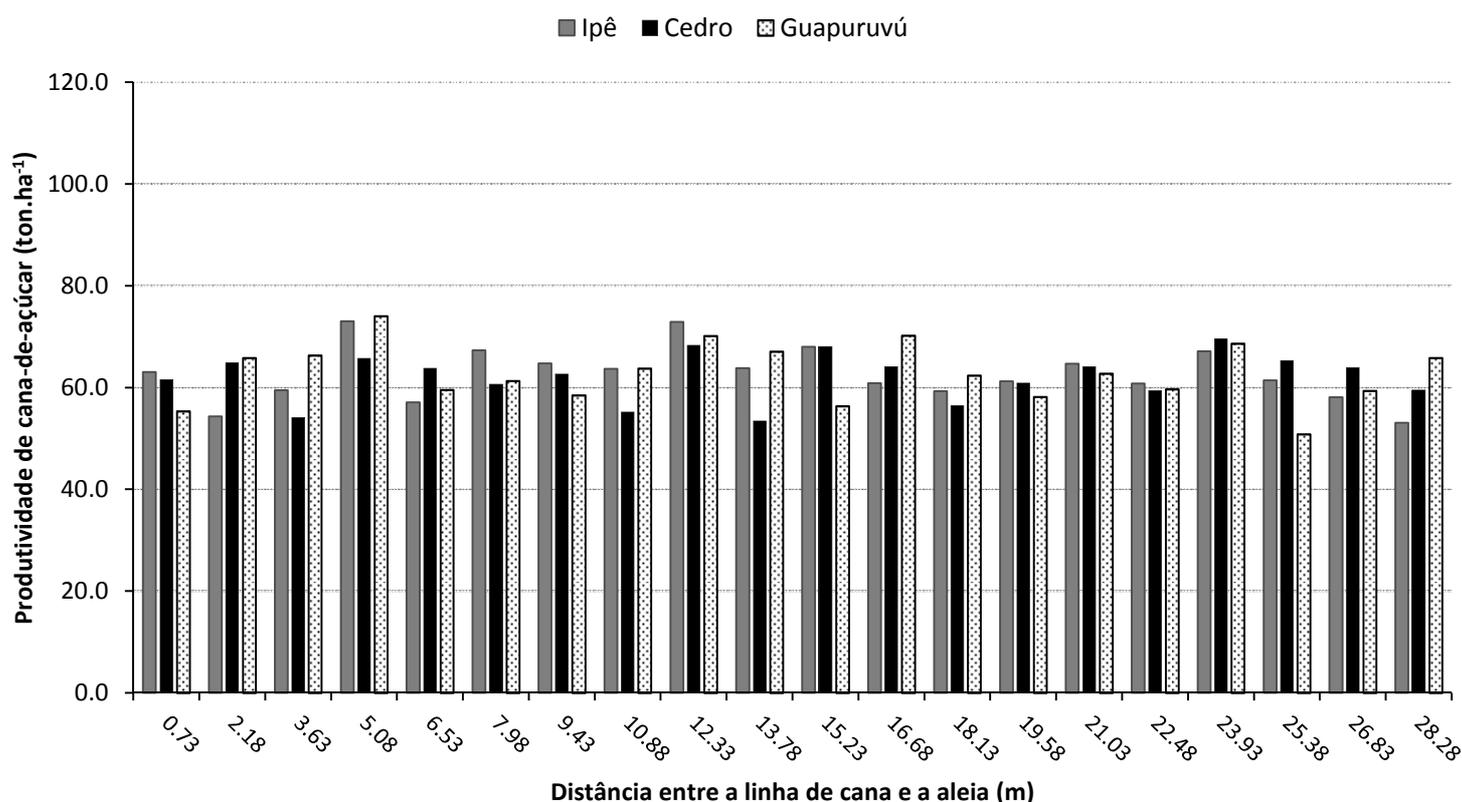


Figura 47. Produtividade por linha de cana-de-açúcar na faixa de 58 metros (40 linhas de plantio) na safra de 2011/12. Não houve diferença significativa entre os valores pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Uma análise atemporal foi feita de forma global considerando todas as amostragens de todas as safras, a fim de verificar as médias de produtividade por faixas e por espécies arbóreas no somatório dos anos (Tabela 11). Desta forma foi possível observar uma queda considerável na produtividade na faixa de 40 linhas (58 m), justificado, principalmente, pelo tombamento da cana na área somado a uma leve queda do valor V% indicador da qualidade do solo. O tombamento ocorreu nessa área pela ação do vento associada à declividade do relevo.

Tabela 11. Produtividade média de cana-de-açúcar em ton.ha⁻¹ das safras de 2009/10, 2010/11 e 2011/12 analisadas conjuntamente.

Faixas de plantio	20 linhas	30 linhas	40 linhas	Média Geral
	101.3 a	106.1 a	92.8 b	
Espécies florestais	Ipê	Cedro	Guapuruvú	99.1
	104.1 a	97.1 b	96 b	

Médias seguidas pelas mesmas letras nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

4.2.2 Volume de madeira produzido

O volume comercial da madeira foi obtido pelo método indireto, não destrutivo, pela cubagem das árvores em pé, avaliando os resultados dos diâmetros na base e no primeiro galho além da altura do fuste (até o 1º galho) ao final do ano de 2012 para obter um resultado cumulativo e não periódico como os demais. Os dados obtidos foram computados e obteve-se a média de cada espécie arbórea em sua aleia.

O diâmetro da base do fuste das árvores estudadas teve o crescimento esperado. Independentemente da aleia estudada, a espécie nativa guapuruvu tem crescimento constante e superior às demais espécies estudadas. O diâmetro do primeiro galho do fuste das árvores em estudo apresentou pouca variação entre indivíduos da mesma espécie. O ipê devido a sua arquitetura natural apresenta o primeiro galho em altura fixa a partir da sua primeira ramificação. Não foi efetuado nenhum desbaste mecânico ao longo do experimento mantendo essa dimensão em valores constante. No ano de 2010 as alturas do fuste até o primeiro galho da planta mostram que apenas a espécie guapuruvu teve crescimento interessante. O cedro e o ipê mantem estabilizado desde o plantio até a última medição de 2010 como observado por Silva (2012) na mesma área experimental.

O volume de madeira na secção comercial obtido na medição após as 3 safras, não foi expressivo, uma vez que abrangeu a fase inicial do desenvolvimento vegetativo das árvores, inviabilizando para utilização comercial. Apesar disso foi possível detectar diferenças de comportamento entre as espécies estudadas. Notadamente pode ser observado que o guapuruvu, apresentou um aumento em seu volume maior quando comparado ao cedro e ao ipê respectivamente levando em conta o seu desenvolvimento descrito anteriormente. O guapuruvu apresentou interessante volume de madeira no final do ciclo de 3 safras.

Para essa primeira etapa de estudo, observou-se que existem grandes diferenças entre as espécies arbóreas em todas as aléias estudadas independente dos espaçamentos utilizado. Essas observações podem ser confirmadas quando se analisa os dados de volume do fuste contidos na

Tabela 12. Pode-se observar que a espécie guapuruvu apresentou um ganho em volume de madeira médio de $0,0362 \text{ m}^3.\text{planta}^{-1}$ de madeira ou 36.200 cm^3 , representando 6,5 vezes mais que o cedro ($0,0055 \text{ m}^3.\text{planta}^{-1}$ ou 5500 cm^3) e 51,71 vezes mais que o ipê ($0,0007 \text{ m}^3.\text{planta}^{-1}$ ou 700 cm^3) no mesmo período estudado.

Tabela 12. Volume médio de madeira em m^3 por planta nas diferentes aleias em outubro de 2012.

Aleia	Ipê	Cedro	Guapuruvú	Médias
A	0.0003 b	0.0069 b	0.0427 a	0.0166 b
B	0.0013 b	0.0056 b	0.0103 ab	0.0057 b
C	0.0005 b	0.0033 b	0.0411 a	0.0151 b
D	0.0008 b	0.0064 b	0.0509 a	0.0193 b
Médias	0.0007 b	0.0055 b	0.0362 a	0.0095

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Além da espécie vegetal outro aspecto a ser levado em conta é o espaçamento a ser adotado. Com base nos dados da Tabela 13, pode-se observar grande diferença quando se considera essas duas variáveis onde a aleia de ipê com espaçamento 58 m obteve apenas $0,0242 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ de madeira enquanto o guapuruvu com espaçamento de 29 m atingiu $2,651 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}$ de madeira, equivalente a uma eficiência 110 vezes superior. Lembrando que o volume é baixo para ser comercializado, mas comparativamente entre as espécies e faixa de plantio, o guapuruvu na menor distância entre aleias apresenta a melhor eficiência em produção de madeira.

Tabela 13. Volume médio de madeira em $\text{m}^3.\text{ha}^{-1}$ nos diferentes adensamentos de árvores de acordo com os espaçamentos adotados entre aleias para as faixas de plantio de cana-de-açúcar em outubro de 2012.

Espaçamento das Faixas	Ipê	Cedro	Guapuruvú
20 linhas (29 m)	0.0483 c	0.3698 c	2.6512 a
30 linhas (43,5 m)	0.0323 c	0.2465 c	1.7674 b
40 linhas (58 m)	0.0242 c	0.1849 c	1.3256 b

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os guapuruvus plantados produziram um total de 0,636 m³ de madeira, os cedros 0,216 m³ e os ipês 0,027 m³ perfazendo um total de 0,881 m³ de madeira no experimento. Os valores comerciais do m³ em pé encontrado no mercado atual para essas madeiras são de R\$ 95,00 para o ipê, R\$ 90,00 para o cedro e R\$ 50,00 para o guapuruvu (SANTANA et al., 2011), aparentemente não sendo cifras significativas para um retorno financeiro com o volume de madeira estimado em curto prazo para o sistema jovem como ainda encontrasse. Pensando em longo prazo, considerando as dimensões dos canaviais atualmente conhecidos que poderiam ser revertidos em sistemas integrados com aleias e em termos do pagamento pela madeira em pé, com todos os riscos dependentes das intemperes já embutidos como descontos, os valores por m³ passam a ser significativos.

4.2.3 Quantificação de carbono fixado

A fixação de carbono nas primeiras 3 safras, conforme esperado, foi relativamente pequena, uma vez que abrangeu a fase inicial do desenvolvimento vegetativo das árvores. Apesar disso foi possível detectar diferenças de comportamento entre as espécies estudadas. Notadamente pode ser observada que o guapuruvu, apresentou uma produção de biomassa maior quando comparado ao cedro e ao ipê respectivamente.

Durante os primeiros anos do experimento, pode-se verificar que existem distinções marcantes entre as espécies vegetais estudadas em todas as aleias estudadas independente dos espaçamentos empregados.

Essas observações podem ser confirmadas quando se analisa os dados contidos na Tabela 14. Pode-se observar que a espécie guapuruvu apresentou uma captura média de 5,020 kg.planta⁻¹ de carbono, representando cerca de 2 vezes mais que o cedro (2,535 kg.planta⁻¹) e cerca de 3 vezes mais que o ipê (1,597 kg.planta⁻¹) no mesmo período estudado.

Tabela 14. Carbono fixado (kg.planta^{-1}) na biomassa acima do solo nas aleias em outubro de 2012.

Aleia	Ipê	Cedro	Guapuruvú	Médias
A	0.702 b	3.294 ab	5.041 a	2.825 ab
B	2.954 ab	2.275 ab	1.905 ab	2.787 ab
C	1.070 b	1.739 ab	5.417 a	2.563 ab
D	1.613 ab	2.809 ab	6.518 a	2.117 ab
Médias	1.597 B	2.535 B	5.020 A	2.581

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A quantificação de carbono pelo conhecimento da fitomassa pode ser utilizada como indicador da qualidade deste ambiente. Este resultado é uma “fotografia” estática para a quantificação da biomassa naquele exato momento, sem levar em conta a idade do sistema. Pode ser um indicador que permite uma comparação da dinâmica da biomassa e produtividade se for utilizada em uma sequência de tempo como na Tabela 15. Após a constatação da estabilidade de um ecossistema através da aplicação e análise de diversos indicadores, a mensuração e análise da biomassa apresenta uma relação entre a produtividade e estabilidade, corroborando ou não as práticas de manejo adotadas para a manutenção do sistema.

Segundo Santos (2004) a produção estável não significa alta produtividade, podendo mesmo ocorrer estabilidade de uma baixa produção de biomassa. A estabilidade nem sempre representa uma alta produtividade, isto é as relações ecológicas podem indicar a estabilidade de um ecossistema mesmo em níveis baixos de produtividade. Comunidades vegetais podem ser produtivas tanto com baixa quanto com alta diversidade ou estabilidade.

O que é preciso ser levado em conta é que quando se trata de agroecossistemas a produtividade de certas culturas agrícolas é essencial para a sua autossustentação, isto é, normalmente a produção de fibras e alimentos é a principal função daquele sistema. Na agricultura se esta, sim, interessados na biomassa de uma ou algumas populações (as culturas), que pode vir a variar muito em função da diversificação, embora a biomassa de todo o sistema esteja estável. Assim, a partir da mensuração da biomassa e do carbono fixado propostas de manejo podem ser implantadas a fim de direcionar para o

aumento ou diminuição da biomassa das espécies amostradas de acordo com o interesse agrossilvicultural ou dos serviços ambientais da dada espécie. Este parâmetro se torna importante para a correlação com a estabilidade e produtividade. No caso deste agrossistema, a colheita da cana anualmente altera drasticamente os valores de fitomassa, mas por uma avaliação de gradiente de variação, o menor espaçamento da faixa de plantio com 29 m apresenta menor amplitude dessa variação comparativamente às demais, sendo, apresentando maior estabilidade da produtividade primária.

Além da espécie vegetal outro aspecto a ser levado em conta é o espaçamento a ser adotado que determina maior ou menor adensamento de essências florestais. Com base nos dados contidos na Tabela 15, observa-se grande diferença quando se considera essas duas variáveis onde o ipê com espaçamento 58 m entre aleias capturou apenas 53,259 kg.ha⁻¹ de carbono enquanto o guapuruvu com espaçamento de 29 m capturou 334,654 kg.ha⁻¹ de carbono equivalente a uma eficiência 6,3 vezes superior.

Tabela 15. Carbono fixado na biomassa acima do solo nos diferentes adensamentos de árvores de acordo com os espaçamentos adotados entre aleias para as faixas de plantio de cana-de-açúcar em outubro de 2012.

Espaçamento das Faixas	Ipê		Cedro		Guapuruvú	
	(kgC.ha ⁻¹)	(tC.ha ⁻¹)	(kgC.ha ⁻¹)	(tC.ha ⁻¹)	(kgC.ha ⁻¹)	(tC.ha ⁻¹)
20 linhas (29 m)	106.518 bc	0.107 bc	169.046 b	0.169 b	334.654 a	0.335 a
30 linhas (43,5 m)	71.012 c	0.071 c	112.698 bc	0.113 bc	223.103 b	0.223 b
40 linhas (58 m)	53.259 c	0.053 c	84.523 c	0.085 c	167.327 b	0.167 b

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas linhas e nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O agrossistema com a idade observada apresentou baixas taxas de fixação de carbono pelo componente florestal. Levando em consideração as grandes dimensões dos canaviais no Brasil, mesmo essas baixas taxas em curto prazo passariam a representam um montante considerável, sendo assim representativos de um importante ativo ambiental.

Extrapolando para todo o sistema e considerando a produção de derivados da cana com balanço de emissões de gás carbônico próximo ao neutro, um cenário foi proposto a partir da Tabela 16.

Tabela 16. Estimativa de estoques e dinâmica do carbono em sistema de cultivo da cana-de-açúcar em aleias em outubro de 2012.

		Área	Carbono fixado na fitomassa		Incremento anual de carbono		Ativo ambiental (CO ₂ Fixado)*	
		(ha)	(tC.ha ⁻¹)	%	(tC.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	%	(tCO ₂ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	%
Árvores	Fitomassa acima do solo	1.9575	0.123	0.83	0.031	83.33	0.112	83.33
	Fitomassa abaixo do solo		0.025	0.17	0.006	16.67	0.022	16.67
Cana	Fitomassa acima do solo		13.700	93.22	0.000	0.00	0.000	0.00
	Fitomassa abaixo do solo		0.850	5.78	0.000	0.00	0.000	0.00
Total			14.697	100.00	0.037	100.00	0.135	100.00

*O ativo ambiental é dependente da destinação do produto madeireiro e da cana-de-açúcar.

Na área plantada do experimento, com a dimensão de 1,96 hectares, foi possível incorporar aproximadamente 14,7 tC.ha⁻¹ na fitomassa, considerando a cultura da cana e as essências florestais como drenos do carbono. Anualmente, as essências florestais incorporam carbono à sua estrutura sendo um dreno cumulativo que ao longo do tempo apresenta o carbono sequestrado e passível de não mais ser emitido em curto prazo, caso o seu destino seja para utilidades imobilizadas.

Para projetos florestais, as agências reguladoras e de comercialização de créditos de carbono utilizam, para os projetos de redução de emissão por florestas, cotações inferiores a de outros setores, uma vez que florestas são passíveis de queima e da ação de intempéries ambientais e desastres naturais podendo prejudicar o sequestro de carbono ao longo do tempo. Sendo assim, essas instituições consideram um valor de depreciação ou em formato de seguro, onde parte dos créditos gerados é utilizada como reserva caso acontece algum imprevisto e essa floresta se torne fonte de emissões de gases do efeito estufa. Os créditos gerados nos projetos de carbono agroflorestal pertencem ao proprietário da terra ou a quem detenha a posse legal do pacote de direitos e responsabilidades que estejam contidos no título legal.

A seguir a Figura 48 apresenta a metodologia para levantamento de produtividade da cana bem como a operacionalização do sistema.

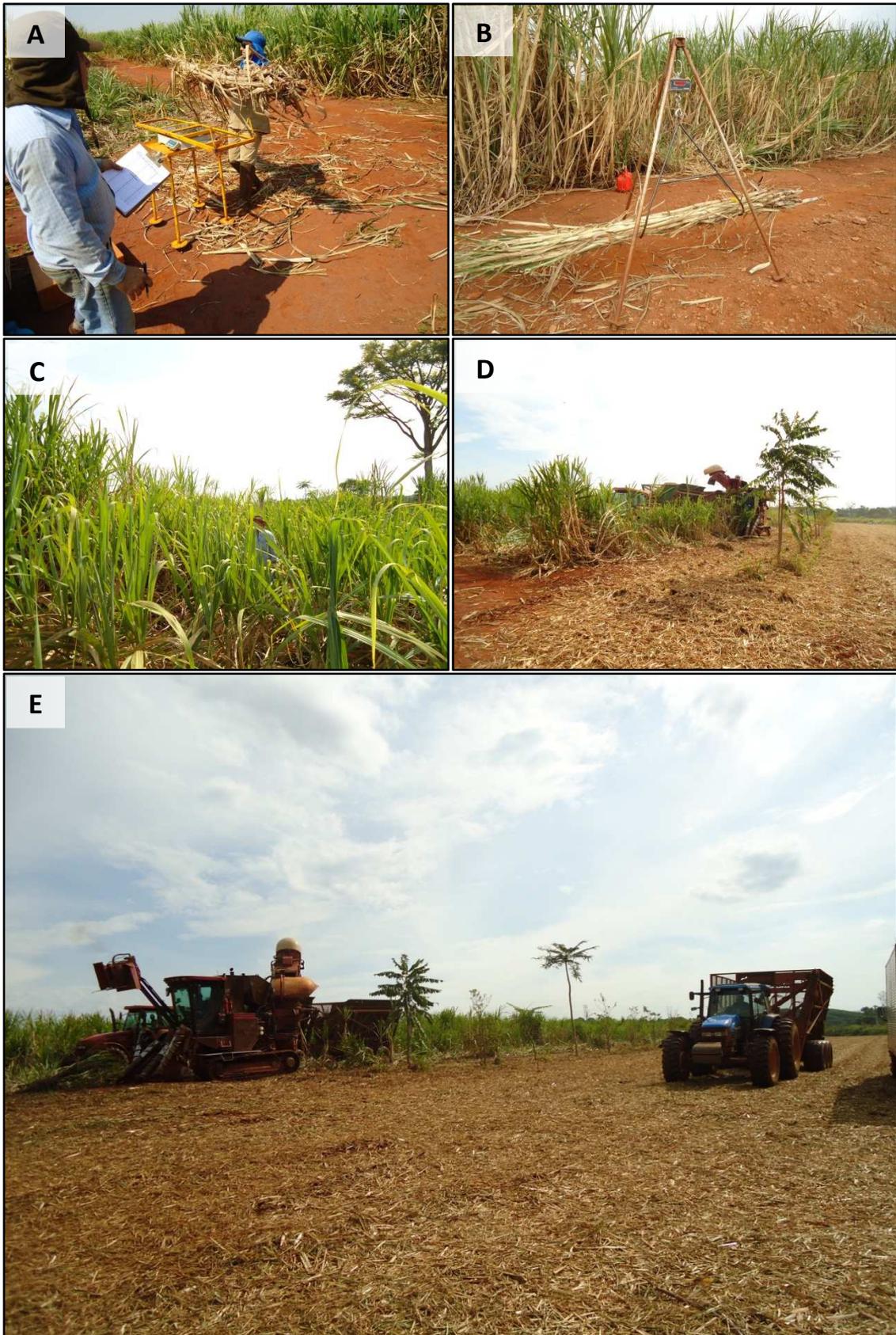


Figura 48.

continua...

continuação...

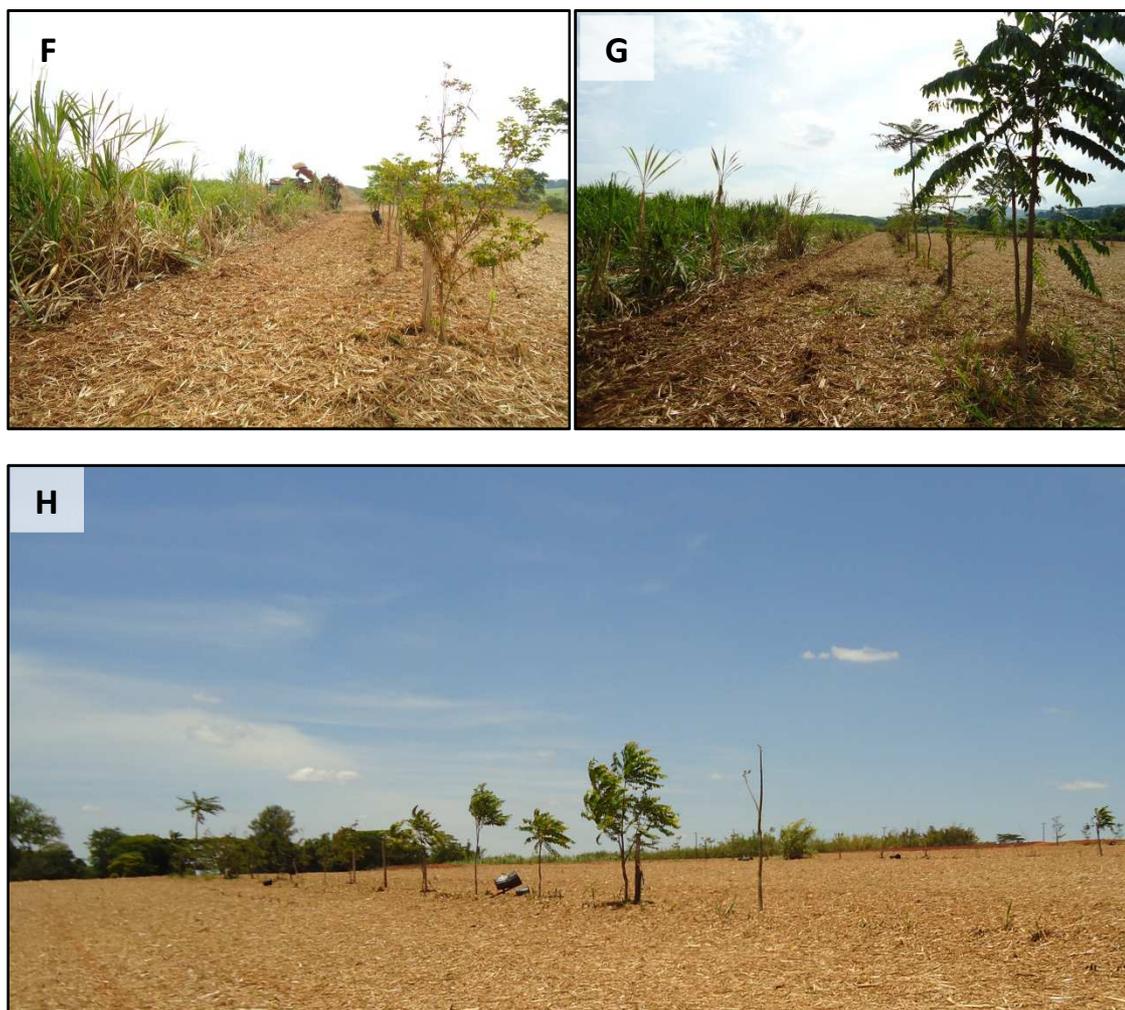


Figura 48. Fotos do sistema de cultivo de cana-de-açúcar com aleias de essências florestais brasileiras no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras – SP. Metodologia: **(A)**. Estimativa da produtividade pela amostragem de feixes com 15 colmos de cana. Pesagem com balança. **(B)**. Pesagem com dinamômetro. **(C)**. Caminhamento do canavial para análises qualitativas do sistema com constatação com crescimento lento da cana e grande porção tombada pelo vento na faixa de 58 m no ano de 2012. Operacionalização: **(D)**, **(E)** e **(F)**. Colheita de cana mecanizada com trânsito de transbordo e colheitadeira entre as aleias de árvores. **(G)** e **(H)**. Área experimental disponível para técnica de cultivo (subsolagem com adubação) após a colheita da cana sem constatação de danos mecânicos aparentes nas árvores.

A cana-de-açúcar fixa carbono em sua fitomassa, mas é destinada em quase sua totalidade para um processo produtivo que a transforma em fontes de energia, seja como alimento ou combustível automobilístico, e, portanto uma destinação emissora de CO₂. Neste caso o ativo ambiental através do plantio da cana é próximo a 0, pois é utilizada como forma de mitigar a questão de

emissões pelo setor energético, uma vez que o que é fixado será emitido em curto prazo.

Em um estudo realizado por May et al. (2005), um reflorestamento com 34 espécies nativas plantadas exibiu fixação estimada entre 0,9 e 3,4 tC.ha⁻¹.ano⁻¹ na idade de 10 anos, sendo o guapuruvu a espécie mais eficiente. Já no SAF com cerca de 80 espécies e densidade de 100 plantas.ha⁻¹, mediu-se um estoque acumulado de 7,5 tC. A poda agressiva do SAF e a falta de reposição de mudas no reflorestamento contribuíram para os baixos valores de estocagem nos dois sistemas observados. A inclusão no modelo do valor médio praticado no mercado de carbono teve considerável impacto sobre os retornos econômicos dos agricultores, sugerindo que a implantação de SAFs contribuiria, principalmente, para a melhoria de renda e serviços ecossistêmicos locais, no contexto atual do mercado global de carbono.

Práticas de manejo adequadas são favoráveis ao ganho de produtividade e fixação de carbono pelo agrossistema, se mostrando como uma proposta que acarreta em ganhos significativos. As aleias do agrossistema apresentando incremento de carbono de 0,037 tC.ha⁻¹.ano⁻¹, uma fixação regular comparado aos outros estudos relatados acima, levando em consideração a baixa densidade de árvores, a idade do sistema e a mortalidade de indivíduos sem a reposição desses. Práticas de manejo orgânico favorecem o incremento de matéria orgânica no solo e conseqüentemente a fixação do carbono em material recalcitrante formado pelas substâncias húmicas. Essa prática se torna ainda mais pertinente quando se observa que a cultura da cana é de fácil adaptação ao manejo orgânico (MARGARIDO, 2008).

A base do conhecimento disponível na literatura indica que a cana-de-açúcar apresentaria uma resposta positiva em relação aos cenários de mudanças climáticas mais prováveis para o Brasil, tanto pela resposta direta da fotossíntese à elevação na concentração do dióxido de carbono quanto ao aumento da eficiência de uso da água. Com respeito à fixação de carbono, quando comparados aos sistemas de produção anual ou de pastagens, os SAFs garantem tanto um volume maior de carbono fixado em determinado

período, quanto a permanência destes estoques por prazo superior à maioria das práticas florestais comerciais conduzidas na forma de monocultivos, que visam corte após atingir o crescimento máximo de biomassa, ou seja, o corte raso de povoamentos com menos de 21 anos. Neste caso seria de grande interesse a condução e monitoramento desse agrossistema até que ele atinja a idade aproximada de 21 anos para que conclusões mais embasadas experimentalmente fossem possíveis.

4.3 Avifauna como bioindicador do efeito ambiental do plantio de árvores em canavial

No levantamento abrangente (Tabela 17) foram registradas 117 espécies, pertencentes a 39 famílias e a 19 ordens, nas quais 66 espécies compoem 20 famílias da ordem dos Passeriformes. Todas elas são residentes com reprodução comprovada no Brasil sendo três espécies endêmicas do país: *Amadonastur lacernulatus*, *Hemithraupis ruficapilla* e *Ramphocelus bresilius*, observadas em pousio nas árvores das aleias. Este total representa aproximadamente 12% do número de espécies de aves da Mata Atlântica (1.020 espécies, sendo 18% endêmicas), o segundo bioma mais diverso do Brasil (HERINGER; MONTENEGRO, 2000), país que apresenta uma estimativa de 1.822 espécies de aves (CBRO, 2011).

A maioria das espécies registradas apresenta uma situação segura ou pouco preocupante de conservação. Há duas espécies de interesse conservacionista que foram levantadas nesse estudo e merecem destaque: a) o inhambuquaçu *Crypturellus obsoletus* (Temminck, 1815), que é considerada uma espécie quase ameaçada e o gavião-pombo-pequeno *A. lacernulatus* (Temminck, 1827), considerado como vulnerável, um estado de risco ainda mais preocupante para a conservação (IUCN, 2012), uma presença que contrariou o esperado. Apenas um indivíduo de inhambuquaçu foi observado na faixa de cana entre as aleias A e B. A ave provavelmente estava em trânsito

na área, por esta estar mais próxima ao fragmento de mata. As linhas do canavial formam corredores que se assemelham a trilhas de mata, ambientes normalmente frequentados por esta espécie que é importante para a dispersão de sementes além de predação de vermes e insetos (MARQUES et al., 2012).

Foram feitos 7 contatos com o gavião-pombo-pequeno, 3 em pousio nas árvores mais altas das aleias (guapuruvu) e 4 sobrevoando a área do experimento. A espécie apresentava comportamento de caça, uma vez que insetos, pequenos répteis, anfíbios e roedores foram detectados na área. No Brasil, entre os três Accipitriformes presentes na lista nacional de espécies ameaçadas de extinção (MACHADO; DRUMMOND; PAGLIA, 2008), *A. lacernulatus* também está incluído nas listas dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná (SOARES et al., 2008). A principal ameaça para esse grupo de aves é a perda e a fragmentação de habitats, como para 111 (89,5%) das 124 espécies brasileiras presentes na lista vermelha da IUCN (IUCN, 2012).

A presença de cercas vivas e aleias de árvores podem contribuir para a conectividade de fragmentos, favorecendo a recuperação e consequente desfragmentação de habitats tornando-as relevantes para a conservação da avifauna (LUIZÃO, 2007). As espécies destacadas anteriormente seguiram a lista de conservação oficial, mas sabe-se, de forma empírica, do risco potencial que várias espécies levantadas podem estar sujeitas - papagaios, perdizes, columbiformes e pássaros canoros - perseguidas por caçadores e contrabandistas.

A presença de espécies endêmicas e de interesse conservacionista neste sistema sugere sua importância, recomendando-se sua manutenção e incremento. Habitats tropicais alterados têm se mostrado importantes para muitas espécies de aves, tanto como uma base permanente como por curtos períodos (MENDONÇA; ANJOS, 2005). As ocorrências contatadas neste trabalho concordam sobre a importância de áreas cultivadas para a conservação de aves neotropicais, reconhecendo que plantações que conferem um grau de sombreamento ao ambiente abrigam espécies relacionadas a diferentes ambientes, entre elas, florestais generalistas e

especialistas de arbustos e áreas abertas (PETIT; PETIT, 2003), usando por vezes estes ambientes como extensão de sua área de forrageamento.

Tabela 17. Lista de espécies de aves presentes nos diferentes habitats amostrados em um estudo sobre canalial com plantio de árvores em aleias entre janeiro de 2011 e dezembro de 2012, no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras - SP. Guilda alimentar (carnívoro, insetívoro, piscívoro, necrófago, frugívoro, granívoro, nectarívoro, planctívoro e onívoro); Estratos preferenciais (solo, intermediário, superior e vertical). Classificação taxonômica¹, nomes populares² e endemismo¹: residente (R) com evidências de reprodução no Brasil; espécie endêmica do Brasil (E). Estado de conservação²: segura ou pouco preocupante (LC); quase ameaçada (NT); vulnerável (VU). Ponto amostral: aleia (A); cana (C); sobrevoos (V) e área do entorno (E). Índices ecológicos: frequência de ocorrência (F.O.); índice pontual de abundância (I.P.A.), $IPA_{\min}=0,002$ (1 registro) $IPA_{\max}=0,357$ (197 registros) Média $_{IPA}=0,016$ (~8 registros) e abundância relativa: rara - espécies registradas em menos de 5% das visitas à área, isto é, com frequência de ocorrência abaixo de 5%; escassa - frequência de ocorrência de 5 à 24%; pouco comum - frequência de ocorrência de 25 à 49%; comum - frequência de ocorrência de 50 à 74% e abundante - frequência de ocorrência de 75 à 100%.

Nome do táxon ¹ (Espécies)	Nome popular ² (Português)	Endemismo ¹ Conservação ²	Guilda alimentar	Ponto Amostral	Estrato	F.O. (%)	Abundância relativa	IPA
<i>Crypturellus obsoletus</i>	inhambuquacu	R,NT	onívoro	C	solo	4.17	Rara	0.002
<i>Rhynchotus rufescens</i>	perdiz	R,LC	onívoro	C	solo	4.17	Rara	0.002
<i>Dendrocygna viduata</i>	irerê	R,LC	planctívoro	V	superior	20.83	Escassa	—
<i>Phalacrocorax brasilianus</i>	biguá	R,LC	piscívoro	E	superior	4.17	Rara	—
<i>Bubulcus ibis</i>	garça-vaqueira	R,LC	carnívoro	V	superior	8.33	Escassa	—
<i>Ardea alba</i>	garça-branca-grande	R,LC	piscívoro	V	superior	16.67	Escassa	—
<i>Ardea cocoi</i>	garça-moura	R,LC	piscívoro	V;E	superior	16.67	Escassa	—
<i>Syrigma sibilatrix</i>	maria-faceira	R,LC	insetívoro	A;V	superior	8.33	Escassa	0.004
<i>Nycticorax nycticorax</i>	savacu	R,LC	carnívoro	V	superior	4.17	Rara	—
<i>Coragyps atratus</i>	urubu-de-cabeça-preta	R,LC	necrófago	V;E	superior	8.33	Escassa	—
<i>Amadonastur lacernulatus</i>	gavião-pombo-pequeno	R,E,VU	carnívoro	A;V;E	superior	16.67	Escassa	0.013
<i>Rupornis magnirostris</i>	gavião-carijó	R,LC	carnívoro	V;E	superior	25	Pouco comum	—
<i>Herpetotheres cachinnans</i>	acauã	R,LC	carnívoro	V;E	superior	16.67	Escassa	—
<i>Caracara plancus</i>	caracará	R,LC	onívoro	A;C;V;E	superior	54.17	Comum	0.027
<i>Milvago chimachima</i>	carrapateiro	R,LC	onívoro	V	superior	4.17	Rara	—
<i>Falco sparverius</i>	quiriquiri	R,LC	carnívoro	E	superior	4.17	Rara	—
<i>Aramides cajanea</i>	saracura-três-potes	R,LC	onívoro	E	solo	4.17	Rara	—
<i>Gallinula galeata</i>	frango-d'água-comum	R,LC	onívoro	C;E	solo	12.5	Escassa	0.007
<i>Cariama cristata</i>	seriema	R,LC	onívoro	E	solo	8.33	Escassa	—
<i>Vanellus chilensis</i>	quero-quero	R,LC	onívoro	C;V;E	solo	58.33	Comum	0.029
<i>Columbina talpacoti</i>	rolinha-roxa	R,LC	granívoro	A;C;V;E	solo	79.17	Abundante	0.083
<i>Columbina squammata</i>	fogo-apagou	R,LC	granívoro	A;V;E	solo	12.5	Escassa	0.007
<i>Patagioenas picazuro</i>	pombão	R,LC	granívoro	A;C;V;E	solo	41.67	Pouco comum	0.018
<i>Patagioenas cayennensis</i>	pomba-galega	R,LC	granívoro	A;C;V;E	intermediário	75	Abundante	0.006
<i>Zenaidura macroura</i>	pomba-de-bando	R,LC	granívoro	A;V;E	intermediário	25	Pouco comum	0.011
<i>Leptotila rufaxilla</i>	juriti-gemeadeira	R,LC	granívoro	A;V	intermediário	8.33	Escassa	0.004
<i>Aratinga leucophthalma</i>	periquitão-maracanã	R,LC	frugívoro	V;E	superior	20.83	Escassa	—
<i>Forpus xanthopterygius</i>	tuim	R,LC	frugívoro	A;V;E	superior	41.67	Pouco comum	0.022
<i>Brotogeris chiriri</i>	periquito-de-encontro-amarelo	R,LC	frugívoro	V	superior	12.5	Escassa	—
<i>Pionus maximiliani</i>	maitaca-verde	R,LC	frugívoro	A;V;E	superior	66.67	Comum	0.034
<i>Amazona aestiva</i>	papagaio-verdadeiro	R,LC	frugívoro	V;E	superior	16.67	Escassa	—
<i>Piaya cayana</i>	alma-de-gato	R,LC	onívoro	A;V;E	superior	12.5	Escassa	0.009
<i>Crotophaga ani</i>	anu-preto	R,LC	insetívoro	A;V;E	intermediário	8.33	Escassa	0.007
<i>Guira guira</i>	anu-branco	R,LC	onívoro	A;C;V	intermediário	12.5	Escassa	0.005
<i>Tapera naevia</i>	saci	R,LC	insetívoro	E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Athene cunicularia</i>	coruja-buraqueira	R,LC	carnívoro	A	intermediário	4.17	Rara	0.002
<i>Phaethornis pretrei</i>	rabo-branco-acanelado	R,LC	nectarívoro	A;V;E	intermediário	16.67	Escassa	0.007
<i>Eupetomena macroura</i>	beija-flor-tesoura	R,LC	nectarívoro	A;C;V;E	intermediário	16.67	Escassa	0.009
<i>Anthracoceros niaricollis</i>	beija-flor-de-veste-preta	R,LC	nectarívoro	C	superior	12.5	Escassa	0.005
<i>Chlorostilbon lucidus</i>	besourinho-de-bico-vermelho	R,LC	nectarívoro	A;C;V;E	intermediário	45.83	Pouco comum	0.036
<i>Amazilia lactea</i>	beija-flor-de-peito-azul	R,LC	nectarívoro	C;V;E	intermediário	20.83	Escassa	0.009
<i>Amazilia fimbriata</i>	beija-flor-de-garganta-verde	R,LC	nectarívoro	V;E	intermediário	8.33	Escassa	—
<i>Megasceryle torquata</i>	martim-pescador-grande	R,LC	piscívoro	E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Nystalus chacuru</i>	joão-bobo	R,LC	insetívoro	E	superior	4.17	Rara	—
<i>Ramphastos toco</i>	tucanuçu	R,LC	onívoro	A;V;E	superior	25	Pouco comum	0.011
<i>Picumnus cirratus</i>	pica-pau-anão-barrado	R,LC	insetívoro	V;E	vertical	4.17	Rara	—
<i>Picumnus albosquamatus</i>	pica-pau-anão-escamado	R,LC	insetívoro	A;E	vertical	8.33	Escassa	0.004
<i>Veniliornis spilogaster</i>	picapauzinho-verde-carijó	R,LC	insetívoro	E	vertical	4.17	Rara	—
<i>Colaptes melanochloros</i>	pica-pau-verde-barrado	R,LC	insetívoro	V;E	vertical	8.33	Escassa	—
<i>Colaptes campestris</i>	pica-pau-do-campo	R,LC	insetívoro	A;C;V;E	solo	54.17	Comum	0.043

continua...

...continuação Tabela 17. Lista de espécie de aves.

<i>Dryocopus lineatus</i>	pica-pau-de-banda-branca	R,LC	insetívoro	V;E	vertical	8.33	Escassa	—
<i>Dysithamnus mentalis</i>	choquinha-lisa	R,LC	insetívoro	E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Thamnophilus doliatus</i>	choca-barrada	R,LC	insetívoro	A;E	intermediário	16.67	Escassa	0.009
<i>Thamnophilus caerulescens</i>	choca-da-mata	R,LC	insetívoro	A;C;V;E	intermediário	45.83	Pouco comum	0.025
<i>Taraba major</i>	choró-boi	R,LC	insetívoro	E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Conopophaga lineata</i>	chupa-dente	R,LC	insetívoro	A;C;V;E	intermediário	16.67	Escassa	0.009
<i>Furnarius rufus</i>	joão-de-barro	R,LC	insetívoro	E	solo	12.5	Escassa	—
<i>Synallaxis ruficapilla</i>	pichororé	R,LC	insetívoro	E	intermediário	8.33	Escassa	—
<i>Synallaxis frontalis</i>	petrim	R,LC	insetívoro	A;C;E	intermediário	8.33	Escassa	0.007
<i>Synallaxis spixi</i>	joão-teneném	R,LC	insetívoro	V;E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Chiroxiphia caudata</i>	tangará	R,LC	frugívoro	A	intermediário	4.17	Rara	0.002
<i>Antilophia galeata</i>	soldadinho	R,LC	frugívoro	A	intermediário	4.17	Rara	0.002
<i>Pachyramphus polychopterus</i>	caneleiro-preto	R,LC	onívoro	E	superior	8.33	Escassa	—
<i>Todirostrum cinereum</i>	ferreirinho-relógio	R,LC	insetívoro	E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Serpophaga subcristata</i>	alegrinho	R,LC	insetívoro	E	superior	8.33	Escassa	—
<i>Fluvicola nengeta</i>	lavadeira-mascarada	R,LC	insetívoro	E	solo	4.17	Rara	—
<i>Myiozetetes similis</i>	bentevizinho-de-penacho-vermelho	R,LC	onívoro	V;E	superior	8.33	Escassa	—
<i>Pitangus sulphuratus</i>	bem-te-vi	R,LC	onívoro	A;C;V;E	superior	70.83	Comum	0.04
<i>Tyrannus melancholicus</i>	suiriri	R,LC	insetívoro	A;C;V;E	superior	25	Pouco comum	0.022
<i>Tyrannus savana</i>	tesourinha	R,LC	onívoro	A;V	superior	12.5	Escassa	0.005
<i>Camptostoma obsoletum</i>	risadinha	R,LC	insetívoro	A;C;E	superior	37.5	Pouco comum	0.025
<i>Cyclarhis gujanensis</i>	pitiguari	R,LC	insetívoro	E	intermediário	8.33	Escassa	—
<i>Cyanocorax cristatellus</i>	gralha-do-campo	R,LC	onívoro	A	superior	4.17	Rara	0.002
<i>Cyanocorax chrysops</i>	gralha-picaça	R,LC	onívoro	A	superior	4.17	Rara	0.002
<i>Pygochelidon cyanoleuca</i>	andorinha-pequena-de-casa	R,LC	insetívoro	A;C;V;E	superior	37.5	Pouco comum	0.022
<i>Troglodytes musculus</i>	corruíra	R,LC	onívoro	A;C;V;E	intermediário	41.67	Pouco comum	0.02
<i>Turdus leucomelas</i>	sabiá-barranco	R,LC	onívoro	E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Turdus amaurochalinus</i>	sabiá-poca	R,LC	onívoro	A;C	intermediário	16.67	Escassa	0.007
<i>Turdus albicollis</i>	sabiá-coleira	R,LC	onívoro	A;C	intermediário	8.33	Escassa	0.004
<i>Turdus rufiventris</i>	sabiá-laranjeira	R,LC	onívoro	A;E	intermediário	8.33	Escassa	0.004
<i>Coereba flaveola</i>	cambacica	R,LC	nectarívoro	A;C;V;E	intermediário	20.83	Escassa	0.013
<i>Saltator similis</i>	trinca-ferro-verdadeiro	R,LC	onívoro	E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Nemosia pileata</i>	saíra-de-chapéu-preto	R,LC	frugívoro	E	superior	8.33	Escassa	—
<i>Tachyphonus coronatus</i>	tiê-preto	R,LC	frugívoro	A;C;E	superior	12.5	Escassa	0.007
<i>Thlypopsis sordida</i>	saí-canário	R,LC	frugívoro	A;C;E	superior	33.33	Pouco comum	0.016
<i>Ramphocelus carbo</i>	pipira-vermelha	R,LC	frugívoro	E	intermediário	8.33	Escassa	—
<i>Tangara sayaca</i>	sanhaçu-cinzento	R,LC	frugívoro	V;E	superior	29.17	Pouco comum	—
<i>Tangara cayana</i>	saíra-amarela	R,LC	frugívoro	E	superior	4.17	Rara	—
<i>Tersina viridis</i>	saí-andorinha	R,LC	frugívoro	E	superior	4.17	Rara	—
<i>Dacnis cayana</i>	saí-azul	R,LC	frugívoro	E	superior	4.17	Rara	—
<i>Hemithraupis ruficapilla</i>	saíra-ferrugem	R,E,LC	frugívoro	A	superior	4.17	Rara	0.002
<i>Conirostrum speciosum</i>	figuinha-de-rabo-castanho	R,LC	frugívoro	E	superior	4.17	Rara	—
<i>Ramphocelus bresilius</i>	tiê-sangue	R,E,LC	frugívoro	A;E	intermediário	8.33	Escassa	0.004
<i>Lanio cucullatus</i>	tico-tico-rei	R,LC	granívoro	A	solo	8.33	Escassa	0.004
<i>Tangara palmarum</i>	sanhaçu-do-coqueiro	R,LC	frugívoro	A;E	superior	8.33	Escassa	0.004
<i>Zonotrichia capensis</i>	tico-tico	R,LC	granívoro	A;C;V;E	intermediário	95.83	Abundante	0.357
<i>Ammodramus humeralis</i>	tico-tico-do-campo	R,LC	granívoro	A;C;V;E	intermediário	79.17	Abundante	0.194
<i>Sicalis flaveola</i>	canário-da-terra-verdadeiro	R,LC	granívoro	A;C;E	solo	45.83	Pouco comum	0.022
<i>Sicalis luteola</i>	tipio	R,LC	granívoro	A	solo	4.17	Rara	0.002
<i>Volatinia jacarina</i>	tiziu	R,LC	granívoro	A;C;V;E	intermediário	75	Abundante	0.114
<i>Sporophila plumbea</i>	patativa	R,LC	granívoro	E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Sporophila lineola</i>	bigodinho	R,LC	granívoro	A;C;E	intermediário	37.5	Pouco comum	0.027
<i>Sporophila caerulescens</i>	coleirinho	R,LC	granívoro	A;C;E	intermediário	62.5	Comum	0.034
<i>Sporophila bouvreuil</i>	caboclinho	R,LC	granívoro	A	intermediário	4.17	Rara	0.002
<i>Arremon flavirostris</i>	tico-tico-de-bico-amarelo	R,LC	granívoro	E	intermediário	4.17	Rara	—
<i>Geothlypis aequinoctialis</i>	pia-cobra	R,LC	insetívoro	A;C;E	superior	25	Pouco comum	0.014
<i>Basileuterus hypoleucus</i>	pula-pula-de-barriga-branca	R,LC	insetívoro	A	intermediário	8.33	Escassa	0.004
<i>Basileuterus flaveolus</i>	canário-do-mato	R,LC	insetívoro	A;E	intermediário	25	Pouco comum	0.011
<i>Gnorimopsar chopi</i>	graúna	R,LC	onívoro	A	solo	4.17	Rara	0.002
<i>Chrysomus ruficapillus</i>	garibaldi	R,LC	onívoro	A;E	intermediário	4.17	Rara	0.004
<i>Molothrus bonariensis</i>	vira-bosta	R,LC	onívoro	C;V;E	solo	29.17	Pouco comum	0.014
<i>Pseudoleistes guirahuro</i>	chopim-do-brejo	R,LC	onívoro	A;C	solo	8.33	Escassa	0.005
<i>Sturnella superciliaris</i>	polícia-inglesa-do-sul	R,LC	onívoro	A	intermediário	4.17	Rara	0.002
<i>Sporagra magellanica</i>	pintassilgo	R,LC	granívoro	A	intermediário	4.17	Rara	0.002
<i>Euphonia chlorotica</i>	fim-fim	R,LC	onívoro	A;C;E	superior	12.5	Escassa	0.009
<i>Estrilda astrild</i>	bico-de-lacre	R,LC	granívoro	A;C;V;E	intermediário	75	Abundante	0.078
<i>Passer domesticus</i>	pardal	R,LC	onívoro	C;E	intermediário	8.33	Rara	0.005

¹Sick (1997) com as modificações sugeridas pelo C_{BRO} (2011); ²"Bird Life International", IUCN (2012)

Das 117 espécies registradas na área, 46 foram observadas em sobrevoo e/ou na área do entorno e 71 estavam presentes dentro dos limites do experimento, sendo que 32 foram encontradas somente nas árvores das

aleias, 8 encontradas somente na cana-de-açúcar entre as aleias e 31 encontradas em ambas as matrizes. Sugere-se assim o comportamento de seletividade de hábitat (DE BARROS, 2010) no ambiente estudado.

Considerando a preferência em relação às árvores, 16 espécies foram seletivas ao guapuruvu, 10 espécies seletivas ao cedro e 6 seletivas ao ipê. Quando se considera a ocupação de hábitat nas linhas de árvores nas diferentes posições do experimento, 13 espécies foram registradas apenas na aleia D, 7 na aleia B, 6 na aleia A e 6 na aleia C. As aves utilizam as árvores para nidificação, como poleiros e para obter recursos alimentares (DE JESUS; BUZZATO; MONTEIRO-FILHO, 2012).

As espécies arbóreas utilizadas neste estudo são anemocóricas, mas em alguns casos são dispersas de forma secundária por aves que se alimentam de sementes (ZIMMERMANN et al., 2013). Além disso, abrigam uma entomofauna rica e suas flores com coloração forte, produzem néctar e pólen, atrativos que justificam a seletividade por essas espécies (VIANA et al., 1998). No caso específico deste estudo, os ipês plantados, por já terem atingido a maturidade reprodutiva e estarem florescendo, foram atrativos para aves nectaríferas, por um curto período no final do inverno. Já o cedro e o guapuruvu, ainda em estágio fenológico jovem, foram utilizados pelas aves, principalmente, como poleiro para as espécies em trânsito e em forrageamento na área, sendo mais frequentada por carnívoros, frugívoros e especialistas. Essa preferência pode ter ocorrido devido à arquitetura e maior altura dessas espécies vegetais que se destacaram no ambiente.

A área da cana foi utilizada como abrigo e atraiu principalmente espécies generalistas, insetívoros e granívoros devido aos recursos alimentares, dos quais predadores, frugívoros e outros especialistas não foram diretamente beneficiados (PIRATELLI; ANDRADE; LIMA FILHO, 2005).

Como observado na Figura 49, a maioria das espécies que ocorre na região foi amostrada, sendo que a riqueza estimada através de 'Jackknife de primeira-ordem' foi de 138 espécies, um valor aproximado do número real registrado (117) atingindo o platô na curva do coletor.

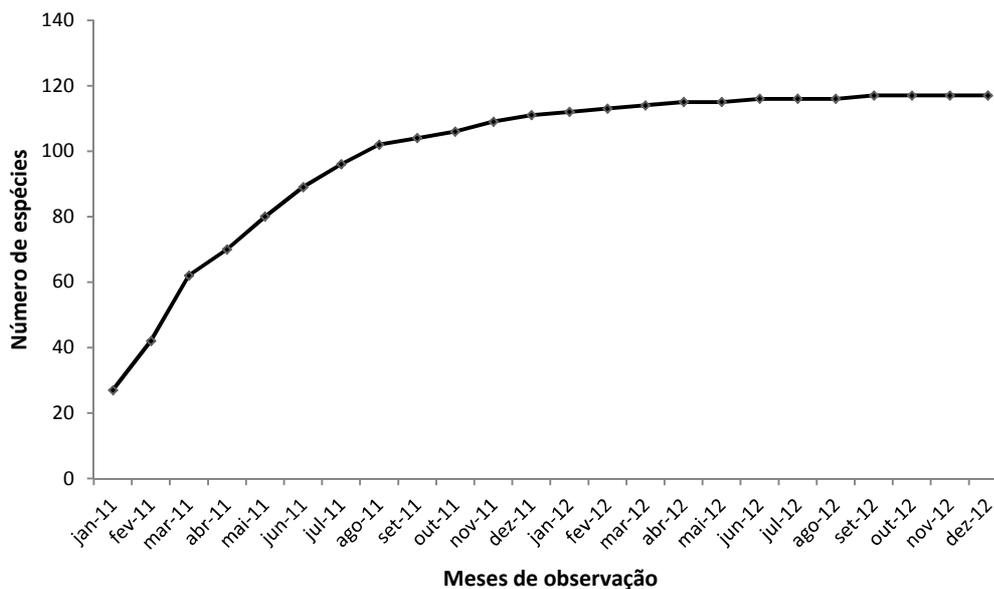


Figura 49. Curva cumulativa do número de espécies novas registradas (rarefação) mensalmente (24 períodos de amostragem) em um plantio de cana-de-açúcar com aleias de árvores entre janeiro de 2011 e dezembro de 2012.

Nas faixas de cana entre as aleias observou-se uma comunidade composta pelas seguintes guildas: frugívoros (1%); nectarívoros (4%); onívoros (7%); insetívoros (9%) e granívoros (79%). Nas árvores das aleias a comunidade foi de: carnívoros (2%); frugívoros (5%); nectarívoros (5%); onívoros (11%); insetívoros (14%) e granívoros (63%). É perceptível a grande presença de granívoros seguida por insetívoros, fato que pode ser explicado pela matriz do agroecossistema e áreas do entorno com presença majoritária de cana-de-açúcar.

A grande quantidade de fitomassa produzida por essa planta da família Poaceae, serve como alimento para as aves granívoras. É padrão para regiões tropicais a considerável porcentagem de espécies de aves insetívoras (SICK, 1997), já o alto índice de espécies granívoras indica uma má distribuição das guildas alimentares devido, possivelmente, a um desequilíbrio ambiental. Os novos nichos possibilitados pelas árvores possivelmente atraiu populações de insetos e aracnídeos contribuindo, conseqüentemente, para o aumento populacional de aves insetívoras nas aleias (BIERREGAARD; STOUFFER, 1997).

O deslocamento em direção à baixa populacional dos granívoros, em favor das demais, fato observado na área das aleias, demonstra a importância dos novos nichos e habitats proporcionados pela presença de árvores no sistema. Devem-se considerar as diferentes fases fenológicas da cana, a formação do canavial, após plantio e colheita - ocorrida em outubro de 2012 - que colabora para o aumento de fitomassa seca no solo. Essas fases alteram drasticamente o ambiente, sendo uma das responsáveis pela flutuação e diferenciação da composição da comunidade biológica na área. A presença de aves nectarívoras nas faixas de cana, por exemplo, foi relacionada à floração da *Ipomoea* sp., uma trepadeira espontânea conhecida popularmente como corda-de-viola, encontrada na plantação no mês de outubro de 2011.

Os estratos do experimento foram ocupados pelas espécies nas seguintes proporções: solo 15,4 %; intermediário 41,9 %; superior 38,5 % e vertical 4,3 %. As guildas por estratos apresentaram-se relacionadas da seguinte forma: a) solo: insetívoro (16%), granívoro (34%) e onívoro (50%); b) intermediário: carnívoro (3%), frugívoro (9%), nectarívoro (12%), onívoro (21%), granívoro (26%) e insetívoro (29%); c) superior: nectarívoro (3%), carnívoro (15%), insetívoro (17%), onívoro (27%) e frugívoro (38%) e d) vertical: insetívoro (100%). As aleias foram as principais responsáveis pela existência da família Picidae no agroecossistema, uma vez que todos representantes dessa família foram encontrados se alimentando verticalmente nas árvores. A presença de carnívoros, predadores e frugívoros na área foram relacionadas ao estrato superior ocupado pelas árvores, local que permitia a visualização sobre o dossel do sistema. O guapuruvu foi a espécie mais representativa no estrato superior, pois seu crescimento foi maior do que o ipê e o cedro (SILVA et al., 2012). As aves especialistas como as planctívoras, piscívoras e necrófagas foram encontradas nas áreas do entorno ou em sobrevoo.

Na Tabela 18 estão contidos os dados expressos em porcentagem de ocorrência e sua classificação com base nos dados obtidos nos diferentes senso realizados durante todo o período de estudo.

Tabela 18. Percentual de frequência de ocorrência (F.O. %) da comunidade de aves no estudo em um plantio de cana-de-açúcar com aleias de árvores.

	<5	5-24	25-49	50-74	75-100	Total
	Rara	Escassa	Pouco comum	Comum	Abundante	
F.O. média	4,2	11,8	34,3	61,1	79,9	18,9
	0	±4,3	±8,3	±6,8	±8,1	±20,8
Número de espécies	37	50	18	6	6	117
Porcentagem relativa	31.6	42.7	15.4	5.1	5.1	100

A baixa porcentagem de espécies com F.O. = 100% e a alta porcentagem com F.O. menor que 50% (Tabela 18) pode representar um baixo índice de indivíduos nas populações das espécies na comunidade, representada por aquelas que utilizam o agroecossistema o ano todo e que tem capacidade de explorar o ambiente tanto para nidificação como na alimentação. Vários fatores podem ser causadores desta baixa frequência: efeito de borda; presença de espécies de ocorrência ocasional, que não são típicas do ambiente de estudo; presença de espécies migratórias; e/ou porque a área não têm condições de manter populações por escassez de recursos alimentares.

Segundo Karr (1977), espécies com distribuição e frequência irregular são de difícil interpretação, podendo ser raras por estarem em seu limite de tolerância fisiológica devido a algum fator ambiental ou físico, e/ou porque o recurso da qual dependem é raro na região. Espécies irregulares também podem ser acidentais, vindas de outros habitats vizinhos, como o fragmento de mata a cerca de 100 m do experimento que pode ter sido integrado ao sistema com a inserção das árvores no canavial.

Na região entre aleias foram registradas 39 espécies. Desse total 7 espécies foram registradas apenas na faixa de influência do ipê, 6 na faixa de influência do guapuruvu e 4 na faixa de influência do cedro. Os ipês podem ter apresentado o maior número de espécies seletivas, por ser a única espécie em estado fenológico reprodutivo com a presença de flores (Tabela 19).

Quanto a preferência pelas faixas com cana-de-açúcar foram observadas a ocorrência exclusiva de 8 espécies entre as aleias A e B, 4 entre

as aleias B e C e 5 entre as aleias C e D. O maior número de espécies seletivas ao espaçamento A-B justifica-se por este ter apresentado o maior adensamento de árvores e as maiores riquezas e abundâncias (Tabela 19), uma vez que, de forma geral, as aves frequentam preferencialmente áreas mais diversas e densas floristicamente (SICK, 1997).

Tabela 19. Detalhamento do número de espécies e indivíduos da comunidade de aves presente nos diferentes habitats amostrados em um canavial com plantio de árvores no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras - SP.

Riqueza (S = 415 espécies)										
		Aléias				Total	Entre aléias (Cana)			Total
		A	B	C	D		A-B	B-C	C-D	
Guapuruvú	n	10	13	10	22	55	16	10	18	44
	%	2.41	3.13	2.41	5.30	13.25	3.86	2.41	4.34	10.60
Cedro	n	10	11	7	10	38	16	12	10	38
	%	2.41	2.65	1.69	2.41	9.16	3.86	2.89	2.41	9.16
Ipê	n	12	13	7	14	46	19	12	22	53
	%	2.89	3.13	1.69	3.37	11.08	4.58	2.89	5.30	12.77
Total	n	32	37	24	46	139	51	34	50	135
	%	7.71	8.92	5.78	11.08	33.49	12.29	8.19	12.05	32.53
Sobrevoos					n	53	Entorno		n	88
					%	12.77			%	21.20
Abundância (A = 1.004 indivíduos)										
		Aléias				Total	Entre aléias (Cana)			Total
		A	B	C	D		A-B	B-C	C-D	
Guapuruvú	n	14	19	15	38	86	45	31	50	126
	%	1.39	1.89	1.49	3.78	8.57	4.48	3.09	4.98	12.55
Cedro	n	14	20	10	24	68	40	30	32	102
	%	1.39	1.99	1.00	2.39	6.77	3.98	2.99	3.19	10.16
Ipê	n	22	21	15	30	88	43	38	43	124
	%	2.19	2.09	1.49	2.99	8.76	4.28	3.78	4.28	12.35
Total	n	50	60	40	92	242	128	99	125	352
	%	4.98	5.98	3.98	9.16	24.10	12.75	9.86	12.45	35.06
Sobrevoos					n	172	Entorno		n	238
					%	17.13			%	23.71

Foram observadas variações entre os índices de similaridade. Nas áreas entre aleias houve variações de 0,300 a 0,692. A faixa de cana entre as aleias B e C no segmento de influência do cedro apresentou os maiores índices em relação às demais áreas (0,412 a 0,692). Isso demonstra que a faixa central do experimento sofreu menor influência do efeito de borda, podendo ser um bom indicativo para implantação do modelo em áreas com talhões maiores e

contínuos. Nas faixas de cana entre as aleias B e C no segmento de influência do guapuruvu, constam os menores índices (0,300 a 0,391).

A amplitude do índice de similaridade observado nas aleias foi maior do que a observada nas faixas entre aleias. Nas aleias o índice de similaridade variou de 0,087 a 0,500. O menor índice foi observado entre as aleias D e B no segmento com árvores de ipê, demonstrando que o ipê foi frequentado por aves de forma aleatória e por espécies mais seletivas e a distância das aleias foi um fator de influência para a diferenciação do agroecossistema. O maior índice foi observado entre a aleia B com árvore de ipê e a aleia D com árvore de cedro, sendo o cedro (Figura 51 - A) a espécie vegetal que comportou de forma mais generalista na atração de aves.

As similaridades dos 21 pontos de amostragens obtiveram coeficientes de correlação $r = 0,928$, considerado alto (CLARKE, 1993). As 9 faixas de cultivo com cana-de-açúcar localizadas entre as aleias apresentaram similaridade acima de 90% entre elas. As aleias A, B, C e D de ipê apresentaram 75% de correlação entre si. A aleia D, isoladamente, apresentou correlação acima de 75% entre os segmentos das 3 espécies de árvores. As aleias A, B, C e D com guapuruvu apresentaram menos de 50% de correlação com a área da cana. Os menores índices de similaridade bem como a baixa correlação entre os habitats, sugere que o guapuruvu foi a espécie vegetal que mais contribuiu, exercendo a maior influência para a diferenciação do agroecossistema até o momento.

O índice de diversidade da área do experimento foi de $H' = 3,649$ nats.indivíduo⁻¹ e a equitabilidade de $J' = 0,766$. A diversidade de aves encontrada no agroecossistema em estudo se aproxima de fragmentos de mata em região canavieira de $H' = 3,70$ (PIRATELLI; ANDRADE; LIMA FILHO, 2005). Apesar de apresentar menor H' do que um ambiente florestal preservado com o $H' = 4,30$ (ANTUNES, 2007), o sistema de aleias responde por maior diversidade quando comparado a um plantio de frutíferas comerciais de $H' = 2,54$ (GÓES-SILVA; CORRÊA; MOURA, 2012) e a canaviais convencionais com $H' = 2,18$ (MIRANDA; AVELLAR, 2011).

A aleia D com árvores de guapuruvu apresentou o maior índice de diversidade ($H' = 2,878$) e a maior equitabilidade ($J' = 0,949$) entre todos os habitats amostrados no experimento. A aleia C com árvores de ipê apresentou os menores índices ($H' = 1,714$ e $J' = 0,821$) seguidos da faixa entre as aleias C e D sob influência do cedro ($H' = 1,993$ e $J' = 0,866$). De forma geral a área das aleias apresentou maior diversidade ($H' = 2,367$) e equitabilidade ($J' = 0,932$) se comparado a área da cana entre as aleias ($H' = 2,076$ e $J' = 0,881$). Comparando as aleias A, B, C e D, respectivamente, os segmentos de guapuruvu apresentaram a diversidade mais alta ($H' = 2,206, 2,434, 2,191, 2,878$) e os de cedro a mais baixa ($H' = 1,908, 1,834, 2,144, 2,181$). Em relação aos espaçamentos entre as aleias o menor espaçamento, entre as aleias A e B, apresentou a maior diversidade ($H' = 2,246$ e $J' = 0,902$) e o espaçamento entre as aleias C e D apresentou a menor diversidade ($H' = 2,040$ e $J' = 0,853$).

O efeito do adensamento da população de árvores sobre a avifauna também foi detectado. O menor espaçamento entre as aleias, ou seja, o maior adensamento relativo de árvores no experimento (29 metros entre aleias e 66,6 árvores/hectare) foi o ambiente que apresentou os maiores índices de abundância, riqueza e diversidade ($H' = 2,246$ e $J' = 0,902$), em relação aos demais adensamentos (Tabela 19).

Considerando as épocas das amostragens, o levantamento de abril de 2011 foi a amostra com maior diversidade $H' = 3,48 \text{ nats.indivíduos}^{-1}$ e julho de 2012 a época em que se constatou a menor diversidade $H' = 2,04 \text{ nats.indivíduos}^{-1}$. Registraram-se as menores abundâncias anuais no mês de junho de 2011 (24) e em junho de 2012 (23) (Figura 50). Também, nestas mesmas épocas, foram observados os menores índices pontuais de abundâncias 0,043 e 0,042 respectivamente. As maiores abundâncias foram observadas em 2011 nos meses de maio (79) e novembro (68) e em dezembro de 2012 (62) (Figura 50). Esses números correspondem aos maiores IPAs calculados com valores de 0,143, 0,123 e 0,112 respectivamente.

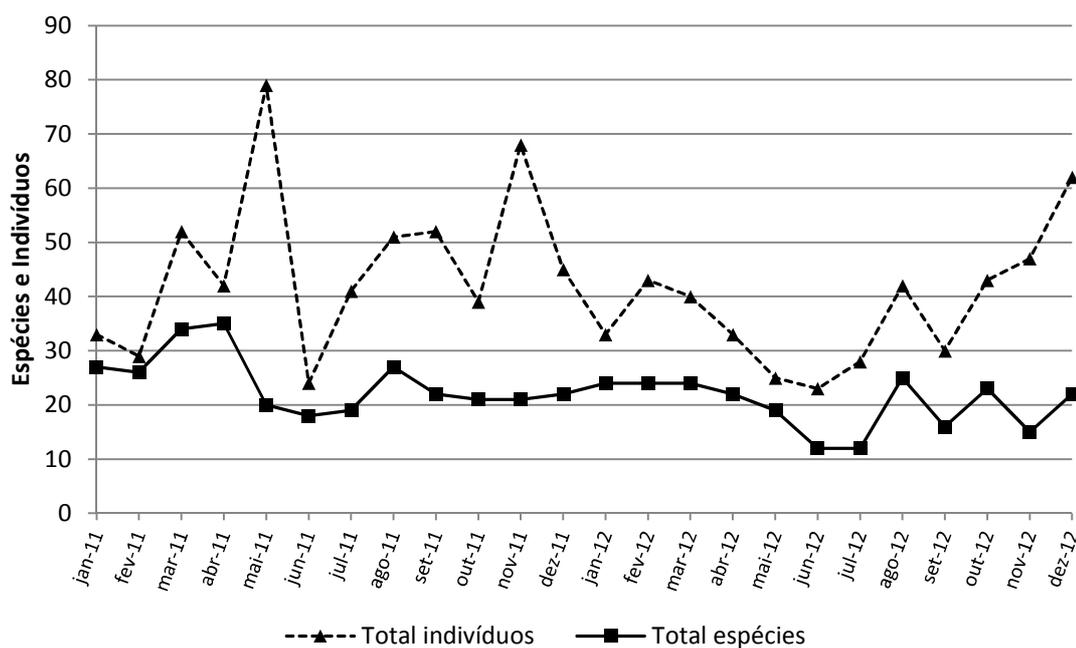


Figura 50. Variação mensal da abundância e da riqueza da comunidade de aves em um plantio de cana-de-açúcar com aleias de árvores entre janeiro de 2011 e dezembro de 2012, no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras - SP.

As menores riquezas ocorreram em junho de 2011 (18), junho e julho de 2012 (12). Já as maiores em abril de 2011 (35) e agosto de 2012 (25) (Figura 50). A área de aleias com maior IPA (0,069) foi a D com a espécie guapuruvu e o menor IPA ocorreu na aleia C (0,027) com a espécie cedro. Os valores de IPA obtidos nas faixas de cultivo da cana-de-açúcar variaram de 0,055 entre as aleias B e C no segmento de influência do cedro até 0,091 entre as aleias C e D no segmento de influência do guapuruvu.

Os altos índices pontuais de abundância comprovaram a eficiência do guapuruvu para o recrutamento de aves no agroecossistema e ao mesmo tempo sugere certo desarranjo populacional na área da cana onde se observa poucas espécies responsáveis por um grande número de indivíduos (Tabela 19).

A variação dos índices acompanhou a sazonalidade e os coincidentes momentos migratórios e reprodutivos das aves. O fato justifica as maiores abundâncias e riquezas nos meses mais quentes, contrário aos meses mais frios, como esperado. As fases fenológicas da cana e das árvores parecem

também ter contribuído para essa oscilação, observando maiores índices, nas fases jovens da cana, por exemplo.

O índice pontual de abundância por espécie apresentou variação de $IPA_{\min}=0,002$ (1 registro) a $IPA_{\max}=0,357$ (197 registros) com média de $IPA=0,016$ (~8 registros) (Tabela 17). Em ordem crescente de IPA as espécies que apresentaram os maiores índices foram: *Estrilda astrild*, *Columbina talpacoti*, *Volatinia jacarina*, *Ammodramus humeralis* e *Zonotrichia capensis*, a última com comprovação de nidificação na área (Figura 51 - C).

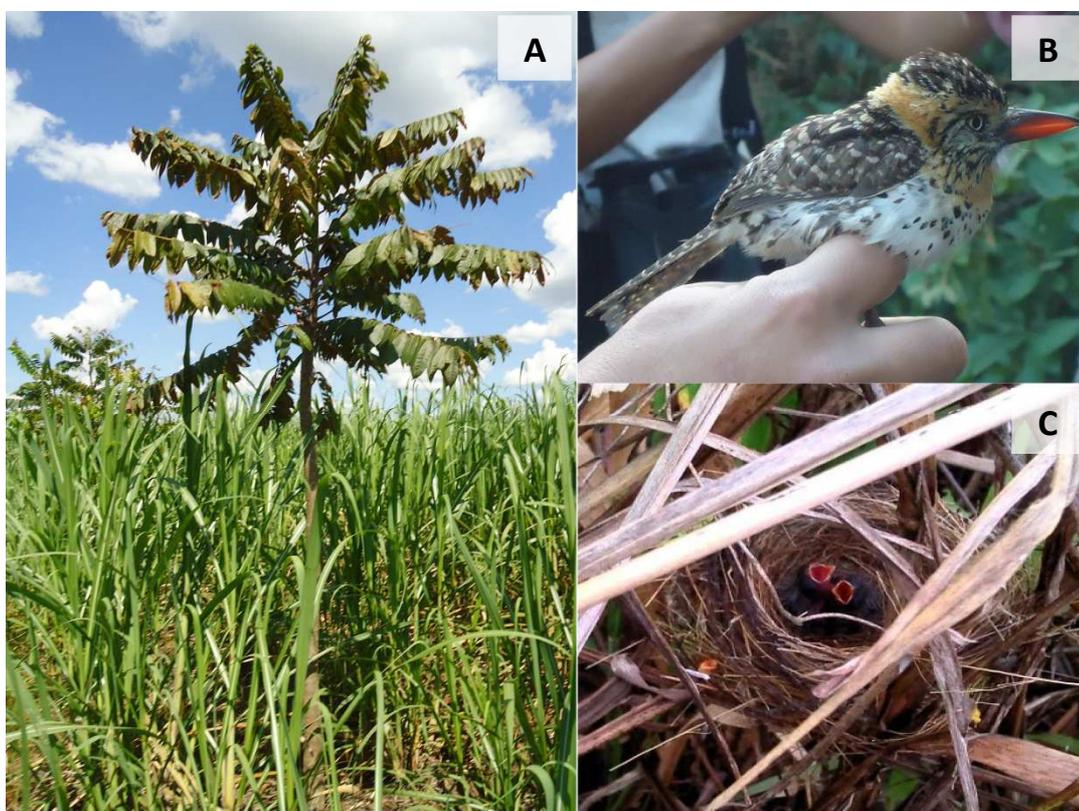


Figura 51. Fotos do sistema agroflorestral de canavial com aleias de árvores brasileiras no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Araras - SP. **A.** Foto de cedro plantado entre linhas de cana (2012). **B.** João-bobo (*Nystalus chacuru*) presente na área de estudo (2012). **C.** Presença de ninho de tico-tico com filhotes na palhada da cana (2012).

Todas estas espécies citadas são granívoras indicando a preferência por esta guilda neste hábitat. *E. astrild* é uma espécie exótica africana que se adaptou bem as áreas de campo e foi encontrada em grandes bandos. Na área, *Z. capensis* estava distribuída de forma constante e normalmente

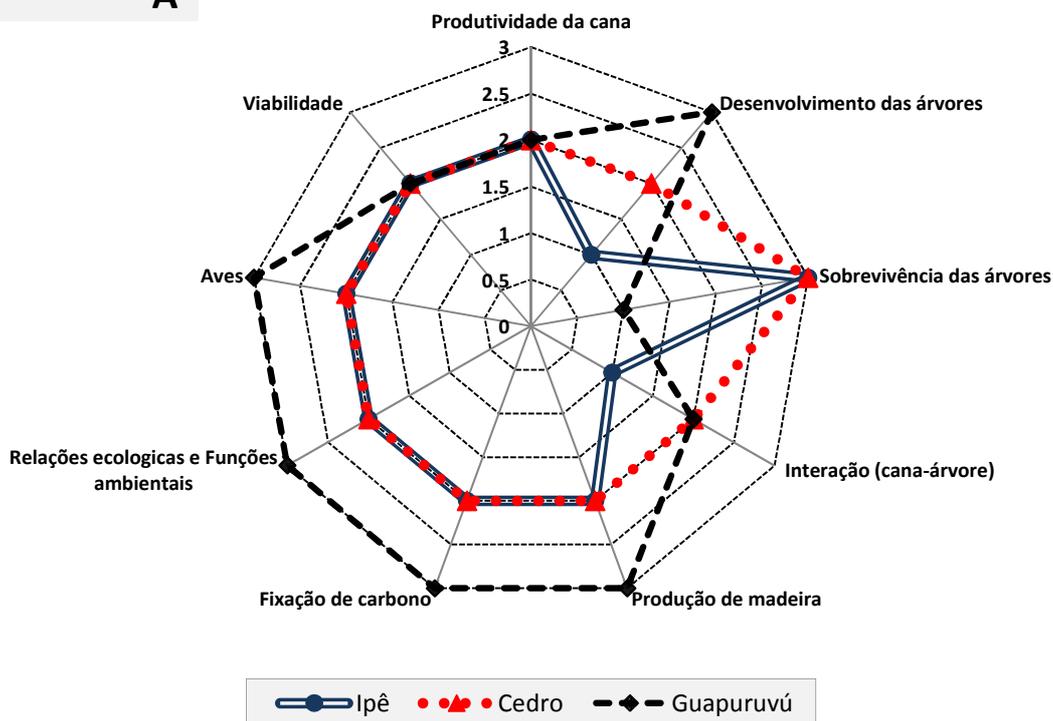
agrupada em casais. É sabido que grandes populações de *V. jacarina* impactam de forma negativa plantações de sorgo, nesse estudo essa espécie apresentou-se em bandos, apesar de não terem sido testados os impactos. É preciso considerar que a composição da comunidade de aves com distribuição irregular ou mesmo um aumento populacional desordenado pode ser desfavorável ao sistema causando prejuízos no cultivo principal, neste caso a cana e até mesmo no desenvolvimento das árvores. Sugere-se que isso pode ocorrer por uma pressão ecológica negativa desencadeada pela predação, competição ou utilização excessiva dos recursos oferecidos pelo agroecossistema. Na Figura 51 - B observa-se um João-bobo que foi encontrado aparentemente machucado após disputa com aves territorialistas presentes na área como, por exemplo, o tiziu e o bem-te-vi.

Em termos ecológicos, tratando-se do IPA por espécie de ave, pode-se dizer que poucas espécies são abundantes na área estudada e que a grande maioria apresenta pequena abundância. Pozza e Pires (2003), no estudo de dois fragmentos, observaram que no primeiro fragmento o IPA variava de 0,008 (1 contato) a 0,408 (47 contatos) e no segundo, de 0,008 (um contato) a 0,660 (76 contatos); Donatelli, Costa e Ferreira (2004), registraram IPA variando de 0,001 (1 contato) a 0,700 (53 contatos). Observa-se aqui o mesmo perfil que um ambiente de mata tropical.

4.4 Avaliação funcional do agroecossistema

Os resultados apresentaram pontos relativos à produtividade agrícola da cana, sobre a produtividade silvicultural das essências florestais e caracterizou o agroecossistema de acordo com a interação árvore-cana. A Figura 52 apresenta essa caracterização qualitativa do agrossistema a partir da pontuação dos parâmetros que foram possibilitados pelos resultados obtidos e detalhados na Tabela 3 do item 3.3.2 da metodologia. Essa avaliação funcional visa interligar os itens discutidos nesta dissertação.

A



B

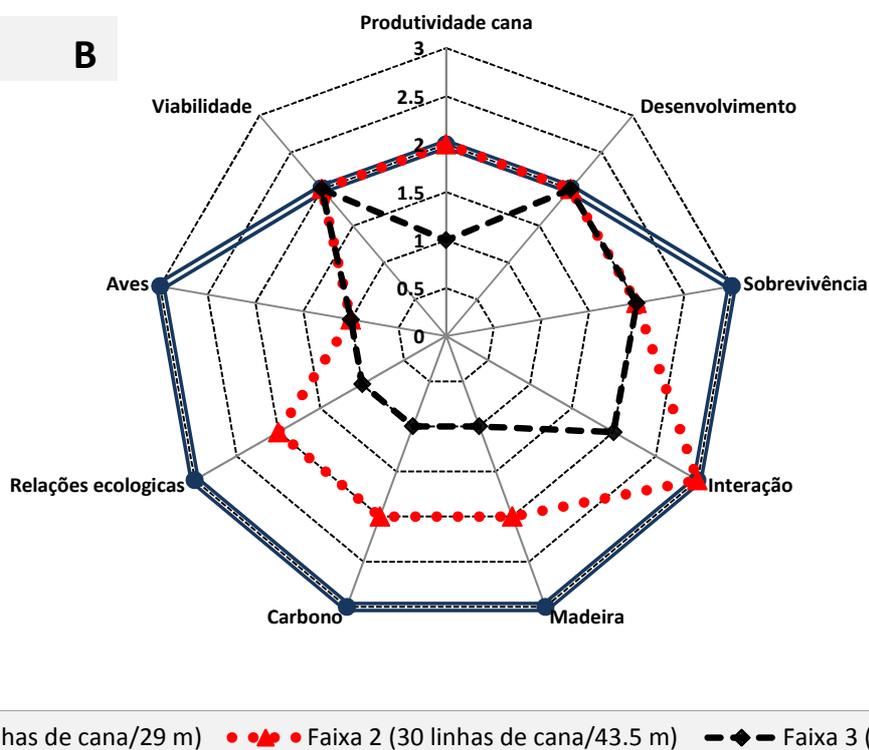


Figura 52. Representação gráfica para comparação de cenários entre as essências florestais (A) e entre os espaçamentos (B) das faixas de plantio de cana-de-açúcar estudados. Classificação realizada com indicadores ecológicos de estabilidade, resiliência e confiabilidade, bem como pela utilização de atributos gerados a partir de uma análise de produtividade.

Em relação às espécies de essências florestais nativas o guapuruvu foi caracterizado como a melhor espécie no quesito desenvolvimento, produtividade silvicultural e interação positiva com a qualidade ambiental e a biodiversidade. Porém foi uma espécie com uma alta taxa de mortalidade, evento não explicado pelo modelo de agrossistema adotado, requerendo um tratamento especial, com manejo adequado, seleção adequada de mudas, replantios e acompanhamento nos estágios iniciais de desenvolvimento, como observado nessa dissertação. O cedro, no entanto, mesmo caracterizado por uma pontuação mediana dos critérios avaliados apresentou a melhor taxa de sobrevivência entre as espécies arbóreas estudadas, um desenvolvimento regular com boa interação com este ambiente.

Para que seja adotado em um sistema comercial sugere-se um manejo que priorize a sanidade dos ponteiros e o mais baixo ataque pela broca dos ponteiros. O ipê teve pontuação mediana na maioria dos critérios, apresentando um desenvolvimento menos acentuado quando comparado ao cedro e ao guapuruvu uma característica própria da espécie, como sua arquitetura que aparentemente foi um fator que o influenciou negativamente na interação cana-árvore demonstrando certa competição da parte aérea.

A faixa de cultivo de 29 m (20 linhas de cana) apresentou a melhor caracterização entre as estudadas. Isso se deveu ao maior adensamento de essências florestais que acarretaram em agregar benefícios ao agrossistema. O espaçamento foi inversamente proporcional aos benefícios ao agrossistema, uma vez que no menor deles não houve nenhum prejuízo à produtividade agrossilvicultural, todos os efeitos ambientais acrescidos foram conseqüentemente e proporcionalmente maiores quanto maior o adensamento. No maior espaçamento com 58 m foi observado um ponto negativo onde a cana tombou com a ação do vento.

De forma paralela aos esforços requeridos para aumentar progressivamente os níveis de biodiversidade interna do agroecossistema como a inserção de essências florestais, deve-se priorizar também a restauração das paisagens. Este objetivo pode ser alcançado com a estratégia da utilização de menores espaçamentos de faixas de plantio próximas dos

fragmentos de florestas nativas, das cabeceiras de rios e matas ciliares. Aleias poderiam ser utilizadas para delimitar os ecossistemas como cercas vivas, utilizando moirões vivos, e aceiros arborizados contra o fogo.

O estudo apresentou potencial para equilibrar o objetivo de estocar carbono nos usos do solo e terrestres, ao mesmo tempo em que contribui para elevar a renda do agricultor. O projeto proposto a ser implantado a partir do levantamento realizado nessa pesquisa implica em algumas incertezas devido a indefinições do Protocolo de Quioto e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo em relação ao mercado de carbono.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos em três anos de observação conclui-se que:

- (i) É tecnicamente possível a implantação de canaviais em sistema de aleias com essências florestais nativas sem prejuízo agrônômico da produção da cana-de-açúcar.
- (ii) Árvores nativas apresentam desenvolvimento regular em meio à cana-de-açúcar.
- (iii) O cedro e o ipê apresentaram baixa taxa de mortalidade, 2,5% e 5% respectivamente, já o guapuruvu apresentou 60%. As espécies de árvores nativas sobreviventes desenvolveram-se normalmente nas condições do experimento.
- (iv) Foram observadas diferenças marcantes entre as espécies de árvores estudadas quanto à captura de carbono sendo o guapuruvu 2 vezes mais

eficiente que o cedro e 3 vezes mais eficiente que o ipê, enquanto que o cedro foi 1,5 vezes mais eficiente que o ipê.

(v) As interações entre espécies arbóreas e espaçamentos apresentaram diferenças elevadas quanto à quantidade de carbono capturado por hectare, oscilando numa taxa da ordem de 628%. O menor espaçamento de 29 m foi o que teve as melhores taxas de fixação de carbono.

(vi) A análise dos diferentes índices ecológicos demonstrou que a avifauna pode ser considerada um bom indicador biológico para estudos ambientais em sistema agroflorestal do tipo aleias.

(vii) A inserção de árvores na matriz monocultural de um canavial contribuiu para o aumento da diversidade de espécies de aves nesse meio.

(viii) Das árvores estudadas o guapuruvu foi a espécie que mais contribuiu para o aumento da diversidade de aves nos anos iniciais do experimento, como poleiro.

(ix) Ocorre um impacto inicial devido à presença de árvores no meio do canavial o suficiente para influenciar a dinâmica da avifauna local e a maioria dos ambientes funcionou como unidades independentes apesar de serem áreas vizinhas.

(x) O menor espaçamento entre aleias e o consequente maior adensamento de árvores apresentaram a maior riqueza, abundância e diversidade entre os espaçamentos estudados.

(xi) O guapuruvu foi a espécie que apresentou os melhores resultados de produtividade silvicultural e para o aumento da diversidade de aves, mas a maior taxa de mortalidade. A análise qualitativa sugere o ipê como a espécie que atingiu os índices mais satisfatórios pela pontuação dos indicadores ecológicos, mas com baixo desempenho na produtividade silvicultural e desenvolvimento. Portanto, o cedro apresentou-se como a espécie florestal

que, de forma geral, melhor se comportou no sistema, com baixa taxa de mortalidade e bom desenvolvimento.

(xii) A formação de uma comunidade não conflitante, pelo menos com as três espécies arbóreas estudadas, indica a compatibilidade biológica na implantação do sistema agroflorestal árvore-cana.

(xiii) A implantação de estratégias de desenvolvimento rural de formas sustentáveis incorporou uma maior biodiversidade na produção da cana-de-açúcar, minimizando os impactos ambientais, sem interferir nos resultados agrônômicos obtidos atualmente pelo sistema convencional de produção desta cultura será importante para a conquista de oferecer um produto sustentável ao consumidor.

(xiv) A continuidade aos estudos, nesta mesma área, visando à construção de séries históricas para aprimorar a modelagem de cálculo de fixação de carbono em árvores nativas, bem como avaliações econômicas da comercialização da madeira produzida são necessárias.

(xv) Estudos similares devem ser conduzidos em espaços mais amplos e distantes de entornos florestais para amenizar interferências com observações em prazo mais longo, abrangendo as renovações cíclicas dos canaviais, seria conveniente e indicada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cultivo da cana-de-açúcar em sistema de aleias poderá se tornar parte da solução em curto prazo como uma medida mitigadora efetiva para incrementar reduções de gases de efeito estufas. Além disso, esta é uma prática agrícola que pode ser aplicada em áreas convencionais ou orgânicas, com ganhos sociais, pois poderá suprir a mão de obra na entressafra da cana-de-açúcar, para a manutenção das aleias; e econômico, com a comercialização de créditos de carbono ou da madeira cultivada. Com o passar dos anos as diferenças entre os ambientes estudados neste experimento tendem a se aglutinar de forma progressiva, ficando cada vez mais similares entre si, indicando estarem caminhando para funcionarem como unidade.

A proposta visionária desse projeto, contou com certa arbitrariedade no momento da escolha das espécies florestais e do desenho paisagístico do agroecossistema, isso por ser um experimento inédito e haverem poucas informações subsidiárias ligadas ao tema. Então se levou em conta o objetivo traçado inicialmente em se produzir a cana-de-açúcar de forma convencional

sem alterar o modelo amplamente utilizado com espaçamentos e manejos já conhecidos e ainda a oferta de possíveis mudas nativas disponíveis e com as características ecológicas e econômicas traçadas. Sua forma simplificada de sistema agroflorestal, com apenas três espécies florestais e disposição de plantio em fileiras, partiu do pressuposto que este foi um experimento realizado com objetivo de testar um sistema de aleias e três espécies de árvores de forma isolada não sendo necessariamente a melhor ou a única forma de fazer o consórcio proposto entre cana-de-açúcar e essências florestais.

Dentre variadas formas de reproduzir o agrossistema proposto pode-se considerar outras espécies florestais e mesmo desenhos paisagísticos diferenciados. Levando em conta que a colheita neste sistema sempre será mecanizada, ao invés de aleias, a utilização de faixas com mais de uma linha de árvores, formando corredores ecológicos mais coesos e permitindo o emprego de diferentes estratos, passa a ser uma interessante proposta futura. Sabe-se que dessa forma a produtividade da cana, analisada de forma isolada, decairia, pois esta cultura perderia área de plantio, mas o resultado produtivo final do sistema, através da utilização de um índice de equivalente área, os ganhos podem ser bastante satisfatórios economicamente e ainda mais ambientalmente. Outro acréscimo que poderia ser empregado seria o plantio de renques ou faixas de árvores de rápido crescimento nas bordas de toda a área plantada, incluindo as margens das estradas e carreadores, com a finalidade principal de quebra vento e produção de fitomassa para aporte de matéria orgânica no solo do sistema.

O plantio das árvores no interior no sistema devem sempre respeitar as curvas de nível do terreno para serem responsáveis por conter a erosão, podendo, dessa forma, substituir intervenções físicas no solo como a utilização dos terraços e permitirem a mecanização da lavoura. Quando se aborda a localização ideal das espécies, indica-se a utilização de espécies com características ecológicas de pioneiras nas bordas e clímax no interior, lembrando que o planejamento deve se basear nos serviços ecológicos que

cada espécie desempenha no sistema a fim de harmoniza-lo em suas funções e minimizar intervenções antrópicas regulatórias ou de manejo.

As espécies florestais a serem escolhidas podem responder a vários critérios a curto, longo e médio prazo. A utilização de espécies exóticas produtoras de madeiras com grande demanda comercial pode ser um desses critérios e para essa lista cita-se: pinus, eucalipto, cedro australiano, mogno africano e teca. O guanandi e o paricá aparecem atualmente como as nativas mais promissoras para substituição de espécies exóticas para a produção de madeira com fins de movelaria, caixotaria, uso naval, celulose e carvão vegetal.

A utilização de frutíferas e espécies que oferecem produtos não madeireiros pode solucionar a questão da manutenção do sistema e retorno financeiro a curto e médio prazo ou mesmo na obtenção de um sistema perene. Pensando em sistemas perenes ou de retorno em longo prazo, o investimento em espécies florestais com alto valor agregado pode se tornar viável quando se planeja um sistema com alta diversidade, na qual um dos grupos florestais compensaria a curto e médio prazo o investimento inicial. Os longos prazos para a obtenção dos produtos ou mesmo para o retorno econômico de algumas das espécies florestais podem ser compensados com a interposição de faixas de espécies de rápido crescimento ou produtividade, mantendo-as em alguns grupos de monocultivos no caso daquelas que terão sua madeira colhida de forma mecanizada.

A seringueira deve ser testada pela sua continua e crescente demanda comercial, pela forma de manejo artesanal até hoje adotada em sua maioria no Brasil. A principal questão a ser avaliada para essa espécie seria o sombreamento, portanto deve ser levado em conta o aumento do espaçamento entre as árvores e a cana. Possíveis espécies nativas frutíferas e que provem óleos essenciais como jenipapo, copaíba, candeia e jatobá poderiam ser utilizados; e mesmo exóticas como a macadamia pra produção de noz e o ginkgo biloba para farmacêuticos e cosméticos que são espécies potenciais de alto valor agregado; os palmitos e as oliveiras para alimentação e produção de

azeite; ou mesmo outras oleaginosas como o pinhão manso também são apropriados pelas características comerciais e ecológicas.

Como foi citado anteriormente, é importante considerar os índices de sombreamento dessas espécies arbóreas para o desenho do agrossistema, já que a cana não responde bem a grandes áreas sombreadas. Para solucionar tal problema um gradiente de estratos e densidades foliares pode ser adotado utilizando espécies menos frondosas e caducifólias próximos à linha da cana quando se pensa na utilização de faixas. O plantio da primeira linha de cana a partir das faixas de árvores poderia estar a uma distância maior do que 70 cm – espaçamento adotado neste projeto – que considere o raio máximo da copa da essência nativa para evitar o sombreamento contínuo e rigoroso do canavial.

Os estudos nessa área experimental devem continuar por vários anos para obtenção dos resultados produtivos quando as essências florestais atingirem a fase adulta, traçando as inter-relações entre as espécies adotadas. As discussões, de forma geral, devem continuar e novas pesquisas devem ser feitas, uma vez que a demanda pela cana-de-açúcar está crescente e vimos como resultado dessa dissertação a possibilidade de alteração do desenho convencional dessa lavoura para um agroecossistema mais complexo com a obtenção de diversos ganhos.

7 REFERÊNCIAS

- ABDO, M.T.V.N.; VALERI, S.V.; MARTINS, A.L.M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: Uma parceria interessante. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**. p. 50-59, 2008.
- AEBISCHER, N. J.; COULSON, J. C.; COLEBROOKL, J. M. Parallel long-term trends across four marine trophic levels and weather. **Nature**. v.347, p 753-755, 1990.
- AGUIAR, D.A. et al. Monitoramento agroambiental do setor sucroenergético: contribuições do sensoriamento remoto orbital para a certificação ambiental do cultivo da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15 (SBSR), **Anais**, p. 132-139, 2011.
- ALTIERI, M. **Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. 4 ed. Porto Alegre, RS: Editora da UFRGS, 2004.
- ANDRADE, D. X. Considerações sobre a cultura do cedro. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 9, p. 122-130, 1957.
- ANTUNES, A.Z. Riqueza e dinâmica de aves endêmicas da Mata Atlântica em um fragmento de floresta estacional semidecidual no sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ornitologia**, v. 15, n. 1, p. 61-68, 2007.
- ANUÁRIO DA CANA. **Brazilian Sugar and Ethanol Guide**. São Paulo: Pro Cana, 2009.

- ARAÚJO, T.M.; CARVALHO Jr., J.A.; HIGUCHI, N.; BRASIL Jr., A.C.P. A tropical rain forest clearing experiment by biomass burning in the state of Pará, Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 33, p. 1991-1998, 1999.
- ARIAS, A.R.L. et al. Utilização de bioindicadores na avaliação de impacto e no monitoramento da contaminação de rios e córregos por agrotóxicos. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 12, n. 1, p. 61-72, 2007.
- BAGGIO, A. J.; CARVALHO, P. E. R. Técnicas agrofloretais. In: IPARDES. Fundação Edison. **Macrozoneamento da APA de Guaraqueçaba**. Curitiba. p.241-248. v. 1, 1990.
- BELLOTTO, A., RODRIGUES, R.B.; NAVE, A.G. Plantio de árvores sem critério ecológicos para escolha de espécies. In: PACTO para a restauração ecológica da mata atlântica: referencial teórico. Piracicaba: Esalq-USP-, 2007. p. 3-7.
- BERTALOT, M.J.A.; GUERRINI, I.A.; MENDOZA, E. Produção de milho em sucessão a aveia preta sob manejo agroflorestral em aléias. **Agricultura Biodinâmica**, v. 92, p. 21- 25, 2006.
- BIERREGAARD JR, R.O.; STOUFFER, P.C. Understory birds and dynamic habitat mosaics in Amazonian rainforests. **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**. University of Chicago Press, Chicago, v. 101, p. 138-155, 1997.
- BONFIM, V.R. Diagnóstico de Experiências de Sistemas Agrofloretais e recomendações de estratégias e políticas públicas para sua implementação e difusão no Estado do Espírito Santo. **Projeto Corredores Ecológicos: Relatório Final**. 166p. Rio de Janeiro. Jul. 2009.
- BORGES, F.R.B. et al. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, Lavras, MG, v. 10, n. 1, p. 22-38, jan./jun. 2004.
- BRANCALION, P. H.S.; ISSENHAGEN, I.; RODRIGUES, R.R.; NAVE, A.G. Plantio de árvores nativas brasileiras com baixa diversidade florística e com a inserção florestal. In: PACTO para a restauração ecológica da mata atlântica – referencial teórico. Piracicaba: Esalq-USP, p.8-18, 2007.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 28 de mai. de 2012. p. 1.
- BRINA, A. E. **Aspectos da dinâmica da vegetação associada a afloramentos calcários na APA Carste de Lagoa Santa, MG**. 1998.105f.

Dissertação (Mestrado)- Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

CALLADO, C. H.; GUIMARÃES, R.C. Tree-ring study of *Schizolobium parahyba* (Leguminosae: Caesalpinioideae) after a mortality episode in Ilha Grande, Rio de Janeiro state. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 33, p. 84-91, 2010.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; CARVALHO, D. de; BOTELHO, S. A.; SAGGIN JUNIOR, O. J. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas e arbustivas nativas de ocorrência no Sudeste do Brasil. **Cerne**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 129-144, 1998.

CARVALHO, P. E. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: **Embrapa Florestas**, vol. 01, 2005.

CASTILHO, H. J. ; MARGARIDO, L. A. C.; NOGUEIRA DE SÁ, L.A. ; COELHO, R.C.S. ; APOLARI, J.P. . Efeito ambiental de árvores nativas plantadas em sistema de aleias na cultura de soja. In: CONGRESSO CIENTÍFICO UNIARARAS, 5., 2010, Araras. **Anais...** Araras, 2010. p. 122-1328. v.1.

CASTILHO, H.J. **Estudo da distribuição espacial de cupins subterrâneos através da geoestatística em área de cultivo da cana de açúcar**. 1998. 165f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 1998.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada; **Indicador de Preços CEPEA/ESALQ Piracicaba** – SP, 2012

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo **1º Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do Estado de São Paulo**, - 2.ed. - São Paulo : CETESB, 2011.

CHANG, M.Y. Seqüestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas socioeconômicas e ecológicas. In: FIXAÇÃO DE CARBONO: ATUALIDADES, PROJETOS E PESQUISAS, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2004. p.15-37. 2004.

CHAVE, J. et al. Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. **Oecologia**, v. 145, n. 1, p. 87-99, 2005.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS, C. H. Variabilidade espacial de cobre e manganês em Argissolo sob cultivo de cana-de-açúcar. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 2, p. 211-218, 2009.

CLARK, I. **Practical geoestatísticas**. London: Aplied Science Publishers, 1979. 129 p.

CLARKE, K.R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Australian journal of ecology**, v. 18, n. 1, p. 117-143, 1993.

- COMITÊ BRASILEIRO DE REGISTROS ORNITOLÓGICOS (2011). Lista de aves do Brasil. **Disponível em:** <http://www.cbro.org.br/CBRO/listabr.htm> Acesso em 10 jan. 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA - Conab, 2012. **Disponível em:** http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_04_10_09_19_04_boletim_de_cana.pdf.> Acesso em 20 mar. 2013
- CONDE, R. A. R. **Controle silvicultural e mecânico da broca do mogno *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) (Lepdoptera: Pyralidae) em sistema agroflorestal.**72p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA. 2006.
- CONWAY, G.R. The Properties of Agroecosystems Agricultural Systems. **Great Britain**, nº 24.95-117 p.1987.
- CORREA, P. G. et al . Herbivoria e anatomia foliar em plantas tropicais brasileiras. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 60, n. 3, Sept. 2008 .
- COSTA, A. M. et al. O efeito da inundação do solo sobre o crescimento inicial de *Schizolobium parahyba* (Vell.) SF Blake, guapuruvu. **Natureza on line**, v. 4, n. 1, p. 7-13, 2006.
- COSTA, E.M.M. **Líquens e capins invasores como indicadores do estado de conservação das fisionomias de cerrado do Parque Nacional de Brasília. 2002.** 116f. Tese (Doutorado em Botânica) — Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2002.
- CRESTANA, M. S. M et al.. FLORESTAS, Sistemas de Recuperação com Essências Nativas, **Produção de Muda e Legislações.** 2ª Ed Campinas: CATI, 2004.
- DALE, V.H.; BEYELER, S.C. Challenges in the development and use of ecological indicators. **Ecological indicators**, v. 1, n. 1, p. 3-10, 2001.
- DE BARROS, D. Uso do hábitat, estrutura social e aspectos básicos da etologia de um grupo de quatis (*Nasua nasua* Linnaeus, 1766)(Carnivora: Procyonidae) em uma área de Mata Atlântica, São Paulo, Brasil. **Revista Biotemas**, v. 23, 2010.
- DE JESUS, S.; BUZZATO, A.C.; MONTEIRO-FILHO, E.L.A. Nidificação de *Ramphastos dicolorus* (Linnaeus, 1766)(AVES: Ramphastidae) na Região Metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná. **Ornithologia**, v. 5, n. 1, p. 19-25, 2012.
- DE PAULA, M. et al. Fixação de carbono e a emissão dos gases de efeito estufa na exploração da cana de açúcar. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 633-640, maio/jun., 2010

- DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; VIERIRA, S.R. FRACASSO, J.V.; GREGO, C.R. Uso da geoestatística na avaliação de distribuição espacial de *Mahanarva fimbriolata* em cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.3. 2007.
- DONATELLI, R.J.; COSTA, TVV da; FERREIRA, C. D. Dinâmica da avifauna em fragmento de mata na fazenda Rio Claro, Lençóis Paulista, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 21, n. 1, p. 97-114, 2004.
- DOUROJEAMI, M.J. Considerações sobre el problema *Hypsipyla grandella* (Zeller) em las plantaciones de *Meliaceae* em el Peru. Chemistry and chemical taxonomy of the rutales. **Proceedings first symposium on integrated control of *Hypsipyla*, (CATIE) II**. Turrialba, Costa Rica. P. 60-62, 1973.
- DUBOIS, J.C.L. Manual Agroflorestal para a Amazônia, Rio de Janeiro: **REBRAF**, 1996. v. 1. 264p.
- DURIGAN, G.; SIMÕES, J. W. Quebra-ventos de *Grevillea robusta* (A. Cunn): efeitos sobre a velocidade do vento, umidade do solo e produção do café. **IPEF**, Piracicaba, n. 36, p. 27-34, 1987.
- EISWERT, M.E.; HANEY, J.C. Maximizing conserved biodiversity: why ecosystem indicators and tresholds matter. **Ecological Economics**, v.38, p.259-274, 2001.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.
- FAVETTA, M.M.S. **Ação bioindicadora da entomofauna em canavial plantado entre aleias de essências florestais nativas**. 78p. Dissertação. Universidade Federal de São Carlos, Araras, SP. 2013.
- FELFILI, J.M.; CARVALHO, F.A.; HAIDAR, R.F. **Manual para o monitoramento de parcelas permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal**. Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2005.
- FERREIRA, L.; CHALUB, D.; MUXFELD, R. Ipê-amarelo *Handroanthus serratifolia* (Vahl) Nichols. Fundação de tecnologia do Acre, 2004. 3p. (**Informativo Técnico. Rede de Sementes da Amazônia, 5**).
- FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e o papel do Instituto Agrônômico no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L.L. VASCONCELOS, A.C. M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. de. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2008.
- FLOYD, D.A.; ANDERSON, J.E. A Comparison of three methods for estimating plant cover. **Journal of Ecology**, v.75, p.221-228, 1987.

- FRANCO, F. S. et al. Quantificação de erosão em sistemas agroflorestais e Convencionais na zona da mata de minas gerais. Sociedade de Investigações Florestais. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.751-760, 2002.
- FURNESS, R.W.; CAMPHUYSEN, K.C.J. Seabirds as monitors of the marine environment. **ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil**, v. 54, n. 4, p. 726-737, 1997.
- GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia**: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: UFRGS, 659 p. 2005.
- GÓES-SILVA, L.R.; CORRÊA, B.S.; MOURA, A.S. Potencial de árvores frutíferas para a atração de aves. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 1, 2012.
- GREIG-SMITH, P. **Quantitative plant ecology**. 2 ed. London: Butterworths, 1983. 256p.
- HADDAD, N.M. et al. Corridor use by diverse taxa. **Ecology**, v. 84, n. 3, p. 609-615, 2003.
- HERINGER, H.; MONTENEGRO, M. M. Avaliação e ações prioritárias para a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica e Campos Sulinos. **Ministério do Meio Ambiente, Brasília**, 2000.
- HOLANDA, F. S. R. A gestão dos recursos hídricos e a sustentabilidade de agroecossistemas. **Informe UFS**, São Cristóvão, ano IX. nº312. jan. 2003.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – **IBAMA**. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/>> Acesso em 20 mar. 2013.
- INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS – **IPEF**. Disponível em: <<http://www.ipef.br/identificacao/nativas/>>. Acesso em 20 mar. 2013.
- IUCN - INTERNATIONAL UNION FOR CONSERVATION OF NATURE (2012). IUCN red list of threatened species. World Conservation Union. IUCN Species Survival Commission, Gland, Suíça e Cambridge, Reino Unido. Versão 2012.2. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org>> Acesso em 10 jan 2013.
- IPCC. 2006. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch5ref1.pdf>> Acesso em 04 de mar. de 2013.
- IPCC. 2000. **Land Use, Land Use Change, and Forestry**. R.T. Watson, I.R.Noble, B.Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo, D.J. Dokken. IPCC Special Report . Cambridge Press.

- IVANCHECHEN, S. L. **Estudo morfológico e terminológico do tronco e "casca" de 30 espécies arbóreas em floresta ombrofila mista**. 1988. 221f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.
- JAKSIĆ, F.M. Abuse and misuse of the term "guild" in ecological studies. **Oikos**, p. 397-400, 1981.
- JENNINGS, S.B.; BROWN, N.D.; SHEIL, D. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. **Forestry**, v.72, n.1, p.59-73, 1999.
- JESUS, R. M. de Restauração florestal na Mata Atlântica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3., 1997, Ouro Preto. **Do substrato ao solo: trabalhos voluntários**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 544-557, 1997.
- KAGEYAMA, P.Y. Reflexos e potenciais da resolução SMA-21 de 21/11/2001 na conservação da biodiversidade específica e genética. In: SEMINÁRIO TEMÁTICO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. **Anais do seminário temático sobre recuperação de áreas degradadas**, p. 7-12, 2003.
- KANG, B.T. et al. Alley cropping: soil productivity and nutrient recycling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.91, n.1, p.7582, 1997.
- KARR, J. R. The impact of nearstream vegetation and stream morphology on water quality and stream biota. **Springfield, US Office of Research and Development**, 83p, 1977.
- KAYA, B.; NAIR, P.K.R. Soil fertility and crop yields under improved fallow systems in Southern Mali. **Agroforestry Systems**, The Netherlands, v.52, p.111, 2001.
- KLEIN, R. M. **Meliaceas**. Itajai: Herbario Barbosa Rodrigues, 1984. 140p. (Flora Ilustrada Catarinense).
- KOH, L.P. Can oil palm plantations be made more hospitable for forest butterflies and birds? **Journal of Applied Ecology**, v. 45, n. 4, p. 1002-1009, 2008.
- KÖPPEN, Wilhelm. Climatologia. México. **Fundo de Cultura Econômica**, 1948.
- LEAL, A. C. Quebra-ventos arbóreos: aspectos fundamentais de uma técnica altamente promissora. Curitiba: IAPAR, (**Informe de Pesquisa**, n. 67) 1986.
- LEAL, I.R., A. VICENTE M. TABARELLI. Herbivoria por caprinos na caatinga: uma estimativa preliminar. In: I.R. Leal, M. Tabarelli & J.M.C. Silva (eds.),

Ecologia e conservação da Caatinga. pp. 695-715. Editora Universitária, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brasil, 2003.

LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K. E. **Forest inventory.** Munich: BLV, 1973. v.2. 469p.

LOMBARDI, J.A. et al . Líquens e outros organismos epifílicos em *Conchocarpus macrophyllus* J.C. Mikan no Parque Estadual do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Rev. bras. Bot.**, São Paulo, v. 22, n. 3, Dec. 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil Nova Odessa: Plantarum, 1992.

LUIZÃO, F.J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 31-36, 2007.

MACDICKEN, K.G.; VERGARA, N.T. Introduction to agroforestry. In:_____. (Ed.). **Agroforestry:** classification and management. New York: John Wiley e Sons, 1990. p.1-30.

MACHADO, A.B.M.; DRUMMOND, G.M.; PAGLIA, A.P. **Livro vermelho da fauna brasileira ameaçada de extinção.** MMA; Fundação Biodiversitas, 2008.

MAFRA, H.L. et al. Soil Nutrient inputs in a agrofloforetry system using alley cropping in cerrado at Botucatu, SP. **Scientia Forestalis**, n. 54, p. 41 – 54 , dez.1998.

MANOLIADIS, O.G. Development of ecological indicators – a metodologia framework usina comprimisse programming. **Ecological Indicators**, v.2, p.169-176, 2002.

MARGARIDO, L.A. C. et al. Avaliação da fitotoxicidade de três espécies florestais nativas: *cedrela fissilis*, *schizolobium parahyba* e *calophyllum brasiliensis*, a herbicidas utilizados na cultura da cana-de-açúcar. In: HERBOLOGÍA E BIODIVERSIDADE NUMA AGRICULTURA SUSTENTÁVEL: LISBOA, 10 A 13 DE NOVEMBRO DE 2009. **Anais..** Universidade Tecnica de Lisboa, 2009. p. 835-838.

MARGARIDO, L.A.C.; MACHADO, R.; ALVES, J. Sugarcane production system most sustainable in tree rows systems. In: SAFETY AND ENVIRONMENTAL WORLD CONGRESS. **Anais..** 2008, Rio de Janeiro. Shewc 2008, v.3 2008.

MARIN, A.M.P.; MENEZES, R.S.C.; SALCEDO, I.H. Produtividade de milho solteiro ou em aléias de gliricídia adubado com duas fontes orgânicas. **Pesquisa agropecuaria brasileira.**, Brasília, v.42, n.5, p.669-677, maio 2007

- MARQUES, M.V.R. et al. Health assessment of captive tinamids (Aves, Tinamiformes) in Brazil. **Journal of Zoo and Wildlife Medicine**, v. 43, n. 3, p. 539-548, 2012.
- MARQUES, T. C. L. de S. M.; MOREIRA, F. M. de S.; SIQUEIRA, J. O. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p. 121-132, 2000.
- MARTINS, S.V. Recuperação de matas ciliares. Viçosa: MG. **Aprenda Fácil**, 146 p. 2001.
- MASERA, O. A.; M LÓPEZ-RIDAURA, S. **Sustentabilidad y manejo de recursos naturales el marco de evaluación MESMIS**. Ediciones Mundi-Prensa, 1999.
- MAY, P. H. et al. Sistemas agroflorestais e reflorestamento para captura de carbono e geração de renda. . In: **VI Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**. Brasília, 2005.
- MENDONÇA, L.B.; DOS ANJOS, L. Beija-flores (Aves, Trochilidae) e seus recursos florais em uma área urbana do Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 22, n. 1, p. 51-59, 2005.
- MIRANDA, R.J.; AVELLAR, M. L. Sistemas agrícolas sustentáveis e biodiversidade faunística. **Interfacehs-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 3, n. 2, 2011.
- MORELLATO, L. P. C. **Estudo da fenologia de árvores, arbustos e lianas de uma floresta semidecídua no Sudeste do Brasil**. 1991. 176 f. Tese (Doutorado em Biologia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- NAIR, P.K.R. An **Introduction to agroforestry**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993.
- NAKA, L.N. et al. Bird conservation on Santa Catarina island, southern Brazil. **Bird Conservation International**, v. 12, n. 2, p. 123-150, 2002.
- NASTRI, V. D. et al. Estudos fitossociológicos em uma área do Instituto de Botânica de São Paulo utilizados em programas de educação ambiental. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 4, pt. 1, p. 219-225, 1992.
- NILSON, T. 1999. Inversion of gap frequency data in forest stands. **Agric.For. Meteorol.**, 98-99: 437-448.
- NOBRE, C.P. et al. Fungos micorrizicos em sistema de aleias no Estado do Maranhão, Brasil. **Acta Amazônica**. v. 40, n.4, p.641 – 646, 2010.

- NOSS, R.F. Assessing and monitoring forest biodiversity: a suggested framework and indicators. **Forest Ecology and Management**, v.115, p.135-146, 1999.
- ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara Koogan, 424 p. 1998.
- OLIVEIRA, D. M. T. Morfologia de plântulas e plantas jovens de 30 espécies arbóreas de leguminosae. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 13, n. 3, p. 263-269, 1999.
- PAIVA AV; POGGIANI F. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas plantadas no sub-bosque de um fragmento florestal. **Scientia Forestalis** v. 57, p. 141-151, 2000.
- PETIT, L.J. et al. Bird communities of natural and modified habitats in Panama. **Ecography**, v. 22, n. 3, p. 292-304, 1999.
- PETIT, L.J.; PETIT, D.R. Evaluating the Importance of Human-Modified Lands for Neotropical Bird Conservation. **Conservation Biology**, v. 17, n. 3, p. 687-694, 2003.
- PIÑA-RODRIGUES, F.C.M.; FONSECA, V.H.; BRANCO, C. Proposta de protocolo de monitoramento de áreas degradadas e sistemas agroflorestais. **Ciência Rural**, 2012 (submetido).
- PINTO, L.F.G. **Avaliação do cultivo da cana-de-açúcar em sistema agroflorestais em Piracicaba-SP**. 2002, 113f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- PIRATELLI, A. et al. Searching for bioindicators of forest fragmentation: passerine birds in the Atlantic forest of southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 2, p. 259-268, 2008.
- PIRATELLI, A.; ANDRADE, V. A.; LIMA FILHO, M. Aves de fragmentos florestais em área de cultivo de cana-de-açúcar no sudeste do Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, v. 95, n. 2, p. 223-224, 2005.
- PIZO, M.A.; GABRIEL, V.A. Cercas-vivas e o movimento de aves frugívoras e sementes em áreas degradadas. In: VI SIMPÓSIO NACIONAL E CONGRESSO LATINO AMERICANO SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS. Curitiba. **Anais**. 2005.
- PORTELA, R.C.Q. SANTOS, F.A.M., 2007. Produção e espessura da serapilheira na borda e interior de fragmentos florestais de mata atlântica de diferentes tamanhos. **Revista Brasileira de Botânica**, vol. 30, p. 271-280.
- POZZA, D.D.; PIRES, J. S. R. Bird communities in two fragments of semideciduous forest in rural São Paulo state. **Brazilian Journal of Biology**, v. 63, n. 2, p. 307-319, 2003.

- PRIMACK, R.B.; RODRIGUES, E. **Biologia da conservação**. Londrina: Rodrigues, 2001. 328 p.
- READ, R. A. Tree windbreakers for the central great plains. Washington, USDA, Forest service, 1964, 68p. (USDA. Forest Service. **Agriculture Handbook**, 250).
- RENNER, R.M. **Sequestro de carbono e a viabilização de novos reflorestamentos no Brasil**. 132p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004
- RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de formações ciliares In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Universidade de São Paulo/Fapesp, p.235-247, 2000.
- RODRIGUES, W. A. Correção ortográfica do nome científico do guapuruvu (*Schizolobium parahybae* (Vell.) S.F.Blake). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 48., 1997,Crato. **Resumos...** Crato: Universidade Regional do Cariri; Sociedade Botânica do Brasil, p. 304, 1997.
- ROSSETO, R. A cana-de-açúcar e a questão ambiental. In: MIRANDA, L.L.D.; VASCONVELOS, A.C.M.; LANDELL, M.D.A. (Eds) **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 869-882.
- SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barreto et al. Regeneração da vegetação de caatinga após corte e queima, em Serra Talhada, PE. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 5, p. 621-632, 1998.
- SANQUETTA, CR; BALBINOT, R.; ZILLOTTO, M. A. Fixação de carbono: Atualidades, Projetos e Pesquisa. **2º Simpósio Latino Americano sobre Fixação de Carbono**. Curitiba. ed. AM Impressos. p. 211. 2004.
- SANTANA, A. C. et al. Influência do desmatamento no mercado de madeira em tora da região Mamuru-Arapiuns, Sudoeste do Pará. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 54, n. 1, p. 42-51, 2011.
- SANTOS, A.M.M. et al. Biogeographical relationships among tropical forests in north-eastern Brazil. **Journal of Biogeography**, v.34, p.437-446, 2007.
- SANTOS, M. J. C. **Avaliação econômica de quatro modelos agroflorestais em áreas degradadas por pastagens na Amazônia ocidental**. 2000. 75f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- SANTOS, R.H.S. **Princípios Ecológicos para a Agricultura**. Viçosa, UFV, 44p (Cadernos Didáticos, 103), 2004.

- SCHNABEL, S. Using botanical evidence for the determination of erosion rates in semi-arid tropical areas. in: BRYAN, R.B. (Editor) Soil erosion, land degradation and social transition: geocological analysis of semi-arid tropical region, Kenya. **Catena, Advances in Geocology**, n. 27, p. 31-45, 1994.
- SICK, H. **Ornitologia brasileira**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997.
- SIGRIST, T. **Guia de campo Avis Brasilis: avifauna brasileira**. São Paulo: Avis brasilis, 2009.
- SILVA, J.R. et al. Comparação de métodos indiretos para medição de abertura do dossel no cerrado, utilizando observações obtidas nos trabalhos de campo e fotos hemisféricas digitais. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14 (SBSR)**, p. 3059-3064, 2009.
- SILVA, M.R.G. et al. Fixação de carbono por árvores nativas da floresta estacional semi-decidual plantadas em canavial no sistema de aleias: um estudo de caso. **Revista Agrogeoambiental**, v. 4, n. 2, 2012.
- SILVA, W.R. et al. Bases para o diagnóstico e o monitoramento de Aves no Estado de São Paulo. **Biodiversidade do Estado de São Paulo, Brasil: síntese do conhecimento ao final do século XX**, v. 6, p. 39-50, 1998.
- SILVEIRA, C.J.A. **Proposta de indicadores para avaliação de projetos de restauração de ecossistemas no alto Jequitinhonha**. 2012. 130p. Dissertação. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG.
- SIMÕES, L.O. de C., MAROTTA, H., PIRES, B.B.M., UMBELINO, L. F., COSTA, A.J.S.T. Índices de Arborização em espaço urbano: um estudo de caso no bairro de Vila Isabel, Rio de Janeiro, RJ. **Anais do IX ENAU**. Brasília, 2001.
- SOARES, E.S. et al. **Plano de ação nacional para a conservação de aves de rapina**. Brasília, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (Série Espécies Ameaçadas, 5). 136p, 2008.
- SOUZA, V.C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2005.
- SZMRECSÁNYI, T. Tecnologia e degradação ambiental: o caso da agroindústria canavieira no Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, São Paulo, v.24, n10, out. 1994.
- TERBORGH, J. Maintenance of diversity in tropical forests. **Biotropica**, v. 24, n. 2, p. 283-292, 1992.

- THOMAZ, E.L.; ANTONELI, V. Erosão e degradação do solo em área cultivada com erva-mate (*Ilex paraguariensis*), Guarapuava-PR. **Geociências (São Paulo)**, v. 27, n. 1, p. 21-30, 2008.
- UEZU, A.; METZGER, J.P.; VIELLIARD, J.M.E. Effects of structural and functional connectivity and patch size on the abundance of seven Atlantic Forest bird species. **Biological Conservation**, v. 123, n. 4, p. 507-519, 2005.
- UNICA. **Estatísticas de produção de açúcar no Brasil. 2012.** Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br>> Acesso em 07/02/2013.
- VELOSO, P.H.; RANGEL-FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. **Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal.** IBGE, Rio de Janeiro, 1991.
- VEZZANI, F.M.; MIELNICZUK, J. Uma visão sobre qualidade do solo. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 33, p.743-755, 2009.
- VIANA, V.M. et al. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998.
- VIEIRA, A.L.M. **Potencial econômico-ecológico de sistemas agroflorestais para conexão de fragmentos da Mata Atlântica.** 62p. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. 2007.
- VIELLIARD, J.M.E.; SILVA, W.R. Nova metodologia de levantamento quantitativo da avifauna e primeiros resultados no interior de São Paulo, Brasil. In: Azevedo, S.M. Jr. (Ed.), **Anais do IV Encontro Nacional de Anilhadores de Aves.** Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Brasil, p. 117-151, 1990.
- YOUNG, A. et al. **Agroforestry for soil conservation.** Wallingford, UK: Cab International, 1994.
- ZANNE, A. E. et al. Global wood density database. **Dryad. Identifier:** <http://hdl.handle.net/10255/dryad>, v. 235, 2009.
- ZIMMERMANN, T.G. et al. Consumo e dispersão secundária de sementes de *Mucuna urens* (Fabaceae) em Floresta Atlântica no Sul do Brasil. **Rodriguésia-Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, v. 63, n. 4, p. 1139-1145, 2013.
- Zoneamento agroambiental para o setor sucroalcooleiro do Estado de São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/>> Acesso em: 23 nov. 2012.