

Marinice Teleginski

**EFEITOS DE CULTIVOS AGRÍCOLAS NO CRESCIMENTO DE
ÁRVORES FRUTÍFERAS EM SISTEMAS AGROFLORESTAIS
INICIAIS**

Dissertação submetida ao
Programa de Pós Graduação em
Agroecossistemas da Universidade
Federal de Santa Catarina para a
obtenção do Grau de Mestre em
Agroecossistemas.

Orientador: **Prof. PhD.Ilyas
Siddique**

Coorientador: **Prof. Dr. Fernando
Joner**

Florianópolis
2016

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

A ficha de identificação é elaborada pelo próprio autor
Maiores informações em:
<http://portalbu.ufsc.br/ficha>

RESERVADO PARA FICHA DE APROVAÇÃO

Dedico este trabalho aos meus pais, Pedro e Joana, que são base de incentivo para minhas conquistas e vitórias. Para Maria Eduarda minha afilhada, deixo aqui transparente minha alegria e incentivo, que esta obra possa ser minha contribuição para você buscar um mundo melhor com mais abundância em vida. Que você seja semente capaz de produzir bons frutos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade de estar viva e passar por tantas e maravilhosas experiências.

Gratidão ao professor Maurício S. dos Reis pela maneira como me fez recordar a estatística e aprender a gostar. Sua maneira de repassar conhecimento é impar. Quem dera o mundo tivesse professores tão dedicados e preocupados com a ciência como você. Gratidão por toda contribuição para que este trabalho ficasse cada vez melhor.

Professor Abdon Schmitt gratidão por toda dedicação em melhorar o trabalho. Suas importantes e cuidadosas considerações foram de grande valia para o enriquecimento do mesmo.

Samantha Fillipon sou muito grata pela pessoa que és. Todos os bons papos trocados e principalmente suas contribuições diretas para o trabalho fizeram toda a diferença.

Ao Ilyas Siddique minha gratidão eterna, por ser quem é, pelo jeito especial de orientar e compartilhar conhecimento, pela demonstração de amor e respeito à ciência, por cada palavra de incentivo e principalmente pela confiança em mim e em meu trabalho, que me deixou muito segura do meu potencial e do que eu estava fazendo. Sem você este trabalho não seria possível. Também sem você eu não teria coragem para enfrentar os desafios que enfrentei independente do resultado final. Você me mostrou o melhor caminho, Gratidão eterna.

Ao professor Fernando Joner que com toda a sua paciência e dedicação não mediu esforços para me mostrar caminhos paralelos de como conduzir um bom trabalho e deu o seu melhor para a conclusão desse, muito obrigada.

À professora Roberta Guedes pelas boas conversas, risadas e ótimos conselhos para me ajudar em momentos difíceis. Você fez a diferença nessa caminhada, gratidão.

A minha grande e amada família, meus pais Pedro e Joana, por toda a força, carinho e amor apesar de todas as minhas ausências. Obrigada por acreditarem tanto em mim e me trilharem pelo bom caminho. Claudinei, Uciléide, Beatriz e Lucas cada palavra de carinho, mensagem de incentivo e de saudade fez a diferença pra minha caminhada, gratidão. Sérgio, Joelma e Pedro Sérgio, a distância não impediu de me mandarem todas as energias que precisei, vocês fizeram a diferença. Élcio e Simone obrigada por estarem nesta caminhada. Reginaldo gratidão por ser um dos meus motivos de luta diária, seu incentivo me levou mais longe. Regiane e Maria Eduarda gratidão pelas

surpresas diárias, não tenho palavras que descrevam meu amor por vocês duas. Madrinha Têre, Denilson e Adilson, tia Ana Matilde, tio Antônio, Cristiano, Juliano e Adri, gratidão por cada oração e desejo de boa sorte. Sem a energia de vocês o caminho seria mais turvo. Estar longe de todos vocês é difícil, mas a satisfação é grande por saber que a torcida é ainda maior. Amo-os!

Aos colegas de profissão, os biólogos Max Levi e Diogo Costa por participarem de parte da pesquisa e auxiliarem no campo e planejamentos. A admiração conjunta do desenvolvimento do nosso SAF, os queijos e os banhos de cachoeira ficarão eternizados na memória. Gratidão eterna meninos, essa conquista também é de vocês.

Ao Adriel Ramos que desprendido de interesse e somente pela generosidade que mora em seu coração, colaborou para que o árduo trabalho de campo fosse vencido. Sem nenhuma dúvida esta etapa teria um peso imenso sem você. Gratidão também por todos os outros momentos de compreensão, incentivo e força durante a pesquisa. Os impulsos foram essenciais para a conquista.

Ao Marlon Dutra que implantou o experimento e pesquisou o primeiro ano de desenvolvimento do SAF. Gratidão por todos os conhecimentos que compartilhou comigo. Cada madrugada de trabalho será lembrada com alegria pelo sucesso. Tudo valeu a pena meu amigo.

Gratidão aos queridos e eternos amigos que me ajudaram também nas tarefas de campo: Gustavo Tramontin você foi com certeza a pessoa que mais me ajudou e surpreendeu por sempre estar pronto a servir. Ancelmo Xavier, Leila Bonfanti, Dalmo Venturieri, Giulia Venturieri, Vinicius Jubett, Jefferson Pietro Motta, Nicolás Zaslavsky, Thiago Nunes Teixeira, Mainá Souza, Bruna Amante, Luiz Henrique Coelho, Karine Nunes, saibam que cada ajuda de vocês fez a diferença para a conclusão do trabalho. Sem vocês a jornada seria muito mais árdua.

Gratidão aos amigos Giulia Venturieri, Bruno Jacobson, Luan Canabarro, Daisy Zambiasi, Giseli Simioni, Gabriela Bica, Tais Barbosa e Karine Nunes que compartilharam de muitos momentos dando a dose de energia necessária para que eu continuasse.

Aos meus colegas de turma e aos colegas de turmas anteriores e posteriores, Patrícia C., Nicole, Vladmir, Felipe, Monique, Luiz Henrique, Maurício, Leôncio, João Paulo, Adenor, Ana Paula, Giseli, André, Priscila, Ana Cecília, Paula, Luiz Fernando, Luiz André, Andrea, Mariane, Jairo, Natal, Felipe, Gefferson, Hanna, Diego, muito obrigada por cada palavra de motivação, leitura de trabalhos, momentos de descontração, bons papos, chimarrão, pizzas e preocupações na salinha

do PGA. Só as paredes seriam capazes de traduzir tudo o que vivemos juntos, gratidão e sucesso a todos nós.

Ao Laboratório de Sementes da UFSC que me acolheu com carinho: professora Roberta Guedes, Moisés Polak, Marília Shibatta, Amaranta Bellei, Vivian e Luiz. Pessoal vocês fizeram toda a diferença no meu caminhar. Cada dia com vocês, trocando ideias, contribuições, produção científica, boas gargalhadas, almoços e docinhos e principalmente o incentivo com as palavras certas para cada desafio, me fez sentir muito mais segura para enfrentar cada um deles. Gratidão e parceria eterna.

Às amigas do coração Giulia Rury, Gabriela Bica, Vanessa Alberton, Maria Christina Yunes, Iracema Maia, Isabela Barbosa, Carla Pacheco, Juliana Mayer, Fernanda Santos, Samara Borges e Gislaine Machado. Gratidão por toda torcida e preocupação com meu sucesso. Obrigada por entenderem minhas ausências e me encherem de vontade de continuar.

Ao Joe Naab por todo carinho que teve ao nos esperar no experimento nas manhãs quentes e geladas, cedendo a área experimental, germoplasma, ajuda financeira, bons papos, músicas e rangos. Gratidão meu amigo.

Ao agricultor Pedrinho, por todos os ensinamentos e dedicação em manter limpa a nossa área de pesquisa. Com certeza você foi uma das principais peças chave para que este experimento funcionasse. Gratidão e amizade eterna meu amigo.

Marlene e Fabiana, secretárias do PGA, sou muito grata a vocês por todo carinho que tem ao cuidar das burocracias, e que dedicam aos nossos momentos de defesas. Vocês são extremamente importantes para o nosso equilíbrio e sucesso. Gratidão.

Às moças da limpeza por manter nosso ambiente de estudos sempre limpo e agradável, muito obrigada.

Aos motoristas da UFSC: José Cláudio, Sergio, Nelson, Castro e Luiz Cláudio, gratidão por todas as viagens descontraídas e cheias de bom papo que tornavam o trabalho menos cansativo.

À UFSC por ceder o transporte. À CAPES por ceder a bolsa de estudos.

*“...Um poeta não poderia ajudar, mas suspirar
ao ver como o mundo está mudado
e perguntar a si mesmo, ou Deus nas alturas,
por que a humanidade está tão perturbada
que pode destruir, para tais fins pobres,
o mundo em que a sua vida depende...”*

(Gorden JL Ramel)

RESUMO

A produção de alimentos e fibras deve ser conciliada com a conservação dos recursos naturais dos quais a humanidade depende. Muitos estudos demonstram que consorciar plantio de árvores com cultivos vizinhos tem potencial para promover sinergias entre estas necessidades. Um dos fatores limitantes para que agricultores pratiquem este tipo de produção é o alto custo inicial de implantação, associado à mortalidade e/ou custos de controle de plantas invasoras que competem com os cultivos arbóreos. Consorciar árvores com cultivos vizinhos que tem capacidade de suprimir as plantas espontâneas e simultaneamente produzir alimentos pode ser uma alternativa para facilitar o desenvolvimento dos cultivos arbóreos de maneira eficaz e mais barata. Este trabalho objetivou avaliar os efeitos dos diferentes atributos funcionais das arbóreas e de cultivos vizinhos anuais e perenes sobre o crescimento das árvores no segundo ano de crescimento. O experimento foi realizado em São Pedro de Alcântara, região da grande Florianópolis, no período de março de 2014 a novembro de 2015. O Delineamento foi de Blocos Completos Casualizados com 4 repetições verdadeiras. Cada bloco (30x20m) possui 6 parcelas (8x8m) subdivididas em subparcelas que totalizam 192 unidades amostrais (UA). Cada UA tem em seu centro uma espécie arbórea e ao redor dela uma espécie de cultivo vizinho plantada em diferentes densidades. Tanto as espécies arbóreas como anuais e perenes foram selecionadas para abranger características funcionais que representam os gradientes de longevidade quanto ao tempo de vida e de concentrações foliares de nitrogênio (qualidades da biomassa) encontradas na regeneração das florestas. São três fatores cruzados que compõe o delineamento experimental: (i) qualidade de biomassa (alta, média e baixa); (ii) longevidade das espécies arbóreas no experimento (média, curta vida) e (iii) forma de crescimento dos cultivos vizinhos (arbusto, herbácea ereta, herbácea basal). Os resultados mostram que o crescimento das árvores foi melhor explicado pela sua longevidade; distância de plantio entre árvore e cultivo vizinho; e identidade das arbóreas. O crescimento dos vizinhos foi melhor explicado pela identidade de vizinhos, identidade arbórea e forma de crescimento dos vizinhos. Em geral, as árvores de curta vida amora e goiaba, cresceram mais quando plantadas com vizinhos mais próximos (0,3cm). No entanto, é necessário testar novos atributos funcionais para explicar o crescimento muito variável que ocorre em SAFs iniciais, além de obter resultados generalizáveis para outros locais e espécies visando

o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis e capazes de restaurar parte da biodiversidade dentro dos agroecossistemas.

Palavras chave: Agroecossistemas, atributos funcionais, plantas espontâneas, funcionamento dos ecossistemas, serviços dos ecossistemas, Agrofloresta.

ABSTRACT

The food and fiber production must be reconciled with the conservation of natural resources which humanity depends. A large number of studies show that planting trees consociated with neighboring plantations present potential to promote synergies between these needs. One of the factors that limited this system to the farmers is the high initial cost of implantation, combined with mortality rates and costs with weed control that compete with arboreal crops. A tree intercropping with neighboring plantations has capacity to suppress the spontaneous plants and simultaneously produce food. This can be an alternative to facilitate the development of arboreal crops making it effective and cheap. Hence, this study aimed to evaluate the effects of different functional traits of trees, annual and perennial crops on neighboring tree growth in the second year of growth. The experiment was conducted in São Pedro de Alcântara, Florianópolis grand region, in the period from March 2014 to November 2015. The treatments were designed in a complete randomized block with four replicates. Each block (30x20m) presents 6 plots (8x8m) subdivided in subplots, resulting in 195 sampling units (SU). Each SU presents an arboreal species individual in the center surrounded by a neighboring plant species planted with different densities. Both trees and neighboring species were selected to encompass functional characteristics that represent longevity gradients and leaf nitrogen concentration (biomass quality) found in forest regeneration. The experimental design was composed by three factors: (i) biomass quality (high, medium and low); (ii) tree species longevity (medium and short-lived) and (iii) neighboring growth-form (shrub, erect herbaceous and basal herbaceous). The results demonstrate that the trees growth was better explained by longevity; distance between tree and neighbor cultivation and identity of the tree. The growth of neighbors was better explained by the identity of neighbors, tree identity and neighbor growth form. In general, short lived trees, as mulberry and guava, grew more when were planted with nearest neighbors (0.3cm). However, it is necessary to evaluate new functional traits to explain the variability found in initial SAFs. Besides, obtaining more generalizable results to other sites and species for the development of sustainable production systems is important to restore part of the biodiversity within agricultural ecosystems.

Key words: Agroecosystems, functional traits, weeds, ecosystem functioning, ecosystem services, Agroforestry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Município de São Pedro de Alcântara no Estado de Santa Catarina.....	38
Figura 2 - Localização do Município de São Pedro de Alcântara na região da Grande Florianópolis	39
Figura 3 - Delimitação espacial do experimento.....	41
Figura 4 – Delineamento do bloco.....	42
Figura 5 - Esquema do delineamento experimental dentro de uma parcela no bloco.	43
Figura 6 - Esquema de uma subparcela (Unidade Amostral).....	43
Figura 7- Demonstração da medição de árvores e cultivos vizinhos	29
Figura 8 - Demonstração da medição de DAB das árvores com paquímetro digital. Fonte: a autora	29
Figura 9 – Crescimento absoluto das árvores ($m \cdot ano^{-1}$) em função da Identidade do vizinho (espécie de cultivo vizinho) e Identidade arbórea. Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.	41
Figura 10 – Relação altura-Diâmetro a altura da base (RelaçãoAltDab) das árvores ($m \cdot ano^{-1}$) em função da Identidade do vizinho (espécie de cultivo vizinho) e Identidade arbórea (sp árvore). Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.....	42
Figura 11 - Crescimento absoluto em altura ($m \cdot ano^{-1}$) a esquerda e DAB ($m \cdot ano^{-1}$) a direita, em função do N foliar arbóreo (g/Kg) e Longevidade arbórea. Longevidade caracterizada como curta (c) e média (m) vida. Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.	42
Figura 12 – Relação Altura-Diâmetro a Altura da Base (RelaçãoAltDab) ($m \cdot ano^{-1}$) arbóreo em função do Nitrogênio (N) foliar arbóreo (g/Kg) e Longevidade arbórea. Longevidade caracterizada como curta (c) e média (m) vida. Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.....	43
Figura 13 - RGR volume do tronco das árvores em função da RGR em altura do vizinho e Distância mínima de plantio entre vizinhos e árvores. Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.	44

Figura 14 - RGR volume do tronco das árvores em função da Distância mínima de plantio entre vizinho e árvore e Longevidade arbórea caracterizada como curta (c) e média vida (m). Significância de p e outras estatísticas na tabela 1. 44

Figura 15 - Altura absoluta das árvores (m/ano^{-1}) em função da Identidade do vizinho e Longevidade arbórea caracterizada como curta (c) e média vida (m). Significância de p e outras estatísticas na tabela 3.....47

Figura 16 - Relação Altura-Diâmetro a Altura da Base (RelaçãoAltDab) ($m.ano^{-1}$) em função da Identidade do vizinho e Longevidade arbórea caracterizada como curta (c) e média vida (m) . Significância de p e outras estatísticas na tabela 3.47

Figura 17 - Relação Altura-Diâmetro a altura da base (RelaçãoAltDab) ($m.ano^{-1}$) em função da Longevidade arbórea. Longevidade caracterizada como curta (c) e média vida (m). Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.48

Figura 18 - Altura absoluta dos vizinhos ($m.ano^{-1}$) em função da Identidade do vizinho. Significância de p e outras estatísticas na tabela 5.....50

Figura 19 - Altura absoluta vizinhos ($m.ano^{-1}$) em função da Identidade arbórea (espécies arbóreas) e hábito de crescimento dos vizinhos (Arbusto, herbácea basal e herbácea ereta). Significância de p e outras estatísticas na tabela 5.....51

Figura 20 - Altura absoluta dos vizinhos ($m.ano^{-1}$) em função da Identidade arbórea (espécie) e distância de plantio entre árvores e cultivos vizinhos (Distância vizinho.árvore). Significância de p e outras estatísticas na tabela 5. 51

Figura 21 - Altura absoluta dos vizinhos ($m.ano^{-1}$) em função da Taxa de crescimento relativo em altura da árvore ($RGR_{altura.árvore}(m.ano^{-1})$) e Hábito de crescimento do vizinho (Herbácea basal, herbácea ereta e arbusto). Significância de p e outras estatísticas na tabela 5.....52

Figura 22 – Altura absoluta dos vizinhos ($m.ano^{-1}$) em função da Distância de plantio entre árvores e cultivos vizinhos. Significância de p e outras estatísticas na tabela 5.....52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Limpezas realizadas nos blocos e subparcelas.....	40
Quadro 2- Detalhamento das espécies que compõe o experimento com suas identificações (nome comum e científico), família, forma de crescimento, qualidade de biomassa e forma de propagação utilizada para plantio.....	27
Quadro 3 – Variáveis incluídas nos modelos estatísticos testados a priori para as respostas das árvores. Respostas: Crescimento médio absoluto em altura ($Cres_{ABS}$) e diâmetro basal ($Cres_{ABS}$ DAB); Taxa de crescimento relativo da altura (RGR altura), diâmetro basal (RGR DAB) e volume do tronco (RGR volume do tronco); por último relação altura-diâmetro arbóreo (RelaçãoAltDab). Variáveis explicativas: Identidade das espécies arbóreas (Identidade _{ÁRV}), identidade dos cultivos vizinhos (Identidade _{VIZ}), Hábito/Modo de crescimento dos cultivos vizinhos, classificados como arbustos, herbácea basal e herbácea ereta (Modocres _{VIZ}), História de vida dos vizinhos (Hist-vida _{VIZ}), vizinho fixador de nitrogênio (N-fix _{VIZ}), vizinho gramínea Gramin _{VIZ}), distância mínima de plantio entre árvores e cultivos vizinhos (Dist _{ÁRV}), Forma de propagação classificado como muda ou semente (Fpropag), Quantidade de Nitrogênio foliar de árvores e dos vizinhos (N-foliar _{ÁRV} e N-foliar _{VIZ}), longevidade das árvores, caracterizadas para este experimento como média e curta vida (Longev _{ÁRV}), Qualidade de biomassa arbórea, caracterizado como alta, média e baixa qualidade (Qbiom _{ÁRV}).	30
Quadro 4 - Variáveis incluídas nos modelos estatísticos testados a priori para as respostas dos vizinhos. Respostas: Crescimento médio absoluto em altura ($Cres_{ABSVIZ}$) e Taxa de crescimento relativo da altura do vizinho (RGR altura _{VIZ}). Variáveis explicativas: Taxa de crescimento relativo da altura (RGRaltura _{ÁRV}), Identidade das espécies arbóreas (Identidade _{ÁRV}), identidade dos cultivos vizinhos (Identidade _{VIZ}), Hábito/Modo de crescimento dos cultivos vizinhos, classificados como arbustos, herbácea basal e herbácea ereta (Modocres _{VIZ}), História de vida dos vizinhos (Hist-vida _{VIZ}), vizinho fixador de nitrogênio (N-fix _{VIZ}), vizinho gramínea Gramin _{VIZ}), distância mínima de plantio entre árvores e cultivos vizinhos (Dist _{ÁRV}), Forma de propagação classificado como muda ou semente (Fpropag), Quantidade de Nitrogênio foliar de árvores e dos vizinhos (N-foliar _{ÁRV} e N-foliar _{VIZ}), longevidade das árvores, caracterizadas para este experimento como média e curta vida (Longev _{ÁRV}), Qualidade de biomassa arbórea, caracterizado como alta, média e baixa qualidade (Qbiom _{ÁRV}), Crescimento médio absoluto em altura ($Cres_{ABSÁRV}$).....	32
Quadro 5 - Variáveis utilizadas para compor os modelos com suas respectivas unidades de medição, classificação quanto a categórica ou numérica e a avaliação ou medição utilizada para obtenção da variável.....	33

Quadro 6 – Longevidade relacionada ao tempo de vida das espécies arbóreas .	34
Quadro 7 - Fatores e níveis experimentais.....	35

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Variáveis utilizadas nos modelos estatísticos em interações que explicam se o desenvolvimento das espécies arbóreas e a estimulação do crescimento arbóreo é melhor explicado pela presença e identidade da espécie arbórea e de cultivos vizinhos, ou pelos atributos funcionais das árvores e dos cultivos vizinhos. Preditores: Identidade da árvore ($Identidade_{\text{ÁRV}}$), Identidade dos cultivos vizinhos ($Identidade_{\text{VIZ}}$), Nitrogênio foliar arbóreo em g/Kg ($N_{\text{foliar}_{\text{ÁRV}}}$), Longevidade arbórea classificada como média e curta vida ($Longev$), distância mínima de plantio entre árvores e cultivos vizinhos ($Dist_{\text{ÁRV}}$), taxa de crescimento relativo dos vizinhos ($RGR_{\text{ALTURAVIZ}}$).....40
- Tabela 2 – Variáveis utilizadas nos modelos estatísticos que mostram se o crescimento da árvore difere entre espécies de árvore em interação com os tipos/atributos funcionais de vizinhos. Preditores: Identidade da árvore ($Identidade_{\text{ÁRV}}$), distância mínima de plantio entre árvores e cultivos vizinhos ($Dist_{\text{ÁRV}}$).45
- Tabela 3 – Variáveis utilizadas nos modelos estatísticos em interações que mostram se o crescimento da árvore é explicado pelos seus próprios tipos/atributos funcionais dependendo da espécie de vizinho. Preditores: Identidade dos cultivos vizinhos ($Identidade_{\text{VIZ}}$), Longevidade arbórea classificada como média e curta vida ($Longev$).45
- Tabela 4 - Modelos contendo os termos e interações que mostram se o crescimento da árvore é explicado pelo crescimento dos vizinhos ($Cres_{\text{ABSALTURA}}$ e RGR_{ALTURA}) dependendo dos seus próprios tipos/atributos funcionais (arbóreas). Preditores: Longevidade arbórea classificada como média e curta vida ($Longev_{\text{ÁRV}}$).48
- Tabela 5 - Preditores: Identidade dos cultivos vizinhos ($Identidade_{\text{VIZ}}$), Forma de crescimento dos cultivos vizinhos, classificados como arbustos, herbácea basal e herbácea ereta ($Modocres_{\text{VIZ}}$), Identidade da árvore ($Identidade_{\text{ÁRV}}$), distância de plantio entre árvores e cultivos vizinhos ($Dist_{\text{ÁRV}}$), taxa de crescimento relativo das árvore ($RGR_{\text{ÁRV}}$).49

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	27
1.1 Objetivo geral.....	30
1.2 Objetivos específicos.....	30
1.3 Hipóteses.....	30
1.3.1 Hipótese principal.....	30
1.3.2 Hipóteses secundárias.....	30
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
2.1 ATRIBUTOS FUNCIONAIS.....	34
2.2 TIPOS FUNCIONAIS.....	36
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	38
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	38
3.2 HISTÓRICO DA ÁREA.....	39
3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	40
3.4 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES.....	44
3.5 AMOSTRAGENS.....	27
3.6 FATORES EXPERIMENTAIS.....	33
3.7 ANÁLISE DOS DADOS.....	35
4 RESULTADOS.....	39
4.1 CRESCIMENTO DAS ÁRVORES.....	39
4.2 CRESCIMENTO DOS CULTIVOS VIZINHOS.....	49
5. DISCUSSÃO.....	53
5.1 CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS.....	53
5.2 RELAÇÃO ALTURA-DIÂMETRO ARBÓREO.....	57
5.3 CRESCIMENTO DOS CULTIVOS VIZINHOS.....	58

5.4 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS.....	60
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	63
APÊNDICE A – Detalhamento das espécies arbóreas e cultivos vizinhos, nº de propágulos por ponto de plantio, distância do alvo, nº de propágulos por ponto de plantio e profundidade de plantio por subparcela (planilha 2).....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

A agricultura moderna tem sido dirigida para maximizar a produção, realizada em larga escala e baseada principalmente na utilização de energia barata, agroquímicos e mecanização (TILMAN et al., 2002) para solucionar problemas de produção imediatos sem se preocupar com a resiliência ou sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Os resultados negativos dessas abordagens são observados através de perda de biodiversidade, erosão e perda de nutrientes do solo, além da contaminação das águas superficiais e subterrâneas com nutrientes e toxinas e resistência de pragas e doenças (GOMIERO et al., 2011). Outras realidades associadas são os trabalhadores rurais intoxicados e evidências do uso dos agrotóxicos associado a várias doenças, dependência de combustíveis fósseis e emissão de gases de efeito estufa, ausência de alimentos diversos e saudáveis (MALÉZIEUX, 2012), que apontam para a necessidade de novos métodos de produção de alimentos para a construção de agroecossistemas sustentáveis.

A agricultura sustentável é o desejo para sistemas agroalimentares, já que o ser humano depende diretamente da produção de alimentos e fibras (serviços ecossistêmicos de provisão) e por isso deve ser conciliada com a conservação dos recursos naturais (serviços ecossistêmicos de regulação). É importante planejar a produtividade para garantir a segurança alimentar da população global crescente e, ao mesmo tempo, garantir que este aumento se dará em bases sustentáveis (FOLEY et al., 2011).

Pensar na recuperação de agroecossistemas degradados e principalmente sustento da população exige planejamento no desenho de sistemas integrados, sendo necessário o estudo de composições de plantas para permitir que estes sistemas de produção cumpram mais funções e serviços ecossistêmicos (SANDERSON et al., 2013). Porém, na composição e manejo desses sistemas as plantas espontâneas têm se mostrado um dos principais limitantes. Plantas espontâneas são aquelas que nascem em diferentes locais, sem serem semeadas/cultivadas e são consideradas invasoras ou daninhas (aquelas que causam danos).

Uma alternativa para controlar a germinação, desenvolvimento e competição destas, pode ser o plantio de espécies de cultivos (alimentícios ou adubos verdes) como vizinhos próximos das árvores, para competir com as espontâneas, estimular o desenvolvimento das árvores, e dar retorno econômico enquanto as árvores ainda não estão produzindo (RODRIGUES et al., 2008).

Os Sistemas Agroflorestais (SAFs) são uma opção importante e têm se mostrado cada vez mais eficientes como alternativas que contribuem para mitigar desafios ambientais (MALEZIEUX, et al., 2009; KELTY, 2006) além de oferecer oportunidades de reforçar sinergias entre objetivos agroecológicos (JOSE & GORDON et al., 2008) aliados à produção e conservação dos recursos naturais. Porém é importante conhecer as características das espécies determinantes para o desenho de agroecossistemas.

O crescimento inicial de árvores em SAFs é um bom indicador do seu desempenho a médio e longo prazo (MARTÍNEZ-GARZA et.al, 2013) e as taxas de crescimento de espécies arbóreas podem variar ao longo de gradientes ambientais (PAINE et al., 2015). Isso pode determinar o sucesso de implantação de um sistema agroflorestal. O sucesso do desenvolvimento inicial de árvores em ecossistemas degradados está associado à capacidade de adaptação das espécies a uma grande variação de condições locais, especialmente condições físicas e químicas do solo, aliado a altas taxas de crescimento (ENGEL et al, 2001).

As características de indivíduos da mesma espécie ou de espécies diferentes constituem atributos funcionais que podem ser medidas e relacionadas com processos ecológicos importantes. Os atributos funcionais são qualquer característica morfológica, fisiológica e/ou fenológica das plantas, que devem ser mensuráveis por indivíduo, sem referência ao ambiente ou qualquer outro nível de organização (VIOLLE et al., 2007).

Vários estudos demonstram que atributos funcionais dos organismos têm grande potencial para generalizar o nosso entendimento sobre como os organismos afetam e são afetados pelo ecossistema (DÍAZ et al., 2007; DIAZ et al., 2004; CASTRO-DÍEZ, 2012; GARNIER; NAVAS, 2012). Eles são divididos em duas grandes categorias: atributos de resposta; associados a respostas dos organismos aos fatores ambientais e atributos de efeito; que são características dos organismos que podem afetar processos ecossistêmicos (LAVOREL; GARNIER, 2002). Os valores dos atributos, embora obtidos no nível do indivíduo, são expressos em nível populacional, como médias dos valores individuais (CORNELISSEN et al., 2003).

Existem limitações no uso de atributos, se pensarmos na dificuldade de agricultores e técnicos em realizar medições e observações mais apuradas sobre a dinâmica do ecossistema devido à complexidade de classificar atributos funcionais por pessoas com pouca experiência. Dessa forma Violle et al., (2007) definem tipos funcionais

como sendo um agrupamento de características (atributos) morfológica, fisiológica ou fenológica diferentes. Os tipos funcionais proporcionam a chance de agricultores, por exemplo, realizarem medições simples e avaliarem os efeitos que ocorrem no ambiente. Algumas destas características são: forma de crescimento das espécies definida pelo modo como ela cresce em altura e as estruturas que ela forma, com diferentes estratégias dentro do ambiente, como sistemas radiculares, caules e folhas diferentes para competição por espaço, nutrientes e luz (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).

Para que haja combinações relevantes a determinadas condições ambientais, faz-se necessário selecionar tipos funcionais de cultivos vizinhos, com potencial para facilitar o crescimento de tipos funcionais de árvores. A classificação de tipos funcionais adaptada de PÉREZ-HARGUINDEGUY et al. (2013), conta com quatro grupos: herbácea basal, herbáceas eretas, arbustos e árvores que facilita a coleta de dados, interpretação e generalização dos resultados.

É importante estudar e compreender as composições de plantas a fim de gerar informações que auxiliem como instrumento para desenho de sistemas integrados que cumpram mais funções e serviços ecossistêmicos, (SANDERSON et al., 2013) servindo como alternativa sustentável para produção de alimentos.

Em um estudo que comparou a estrutura de comunidades arbóreas através de atributos funcionais versus abundância e riqueza de espécies como melhores preditores para analisar o desempenho dessa comunidade, Baraloto et al., (2012) concluíram que os atributos funcionais são bons indicadores para o desenvolvimento da estrutura da comunidade de plantas, porém esses resultados são dependentes da escolha do conjunto de comunidades e que estudos em grande escala e de longo prazo seriam necessários para resolver ambas as questões. Em comunidades construídas, o uso de atributos funcionais pode não apresentar os mesmos resultados, no entanto isso não descaracteriza o uso de atributos como bons preditores de desempenho em comunidades florestais.

Existem lacunas para o entendimento na implantação de sistemas agroflorestais de baixo custo, com otimização de recursos e diminuição do uso de mão de obra. Há necessidade de testar combinações de plantas e mensurar seus atributos para verificar se os mesmos padrões encontrados em sistemas de recuperação ambiental se confirmam em SAFs.

O objetivo geral desse trabalho é estudar e avaliar os efeitos que os diferentes atributos funcionais das espécies arbóreas e de cultivos

vizinhos têm sobre o desenvolvimento das árvores em um Sistema Agroflorestal jovem, implantado em 2013.

1.1 Objetivo geral

Compreender as relações de efeito dos diferentes atributos funcionais da árvore e seu cultivo vizinho sobre o desenvolvimento da árvore no período de 12 a 24 meses após o plantio em Sistema Agroflorestal.

1.2 Objetivos específicos

1.2.1 Compreender o efeito dos atributos funcionais das árvores sobre o seu próprio desenvolvimento e sobrevivência.

1.2.2 Compreender o efeito dos atributos funcionais e desenvolvimento dos cultivos vizinhos sobre o desenvolvimento das árvores.

1.2.3 Compreender se as taxas de crescimento e de sobrevivência dos cultivos vizinhos são afetadas pelos seus atributos funcionais.

1.3 Hipóteses

1.3.1 Hipótese principal

Atributos funcionais simplificados são capazes de prever o crescimento arbóreo juvenil em um SAF com consórcios alimentícios.

1.3.2 Hipóteses secundárias

As hipóteses levantadas para avaliar os fatores que podem explicar o crescimento das árvores foram:

H1: O desenvolvimento das espécies arbóreas e a estimulação do crescimento arbóreo é melhor explicado pela presença e identidade da espécie arbórea e de cultivos vizinhos, ou pelos atributos funcionais das árvores e dos cultivos vizinhos.

H2: O crescimento da árvore difere entre espécies de árvore (efeito principal espécie de árvore), mas essa diferença depende dos tipos/atributos funcionais de vizinhos plantados do lado (interação espécie de árvore: preditor).

H3: O crescimento da árvore é explicado pelos tipos/atributos funcionais da árvore (efeito principal do atributo da árvore), mas essa

relação depende da espécie de vizinho adjacente (interação espécie de vizinho: preditor)

H4: O crescimento da árvore é suprimido pelo crescimento do vizinho (efeito principal da espécie de vizinho), por algumas espécies de vizinho mais do que por outras (interação taxa de crescimento relativo arbóreo : identidade da árvore)

H5: O crescimento da árvore é explicado pelo crescimento do vizinho adjacente (efeito principal do crescimento vizinho), mas esse efeito depende dos tipos/atributos funcionais da árvore (interação taxa de crescimento relativo arbóreo: preditor/atributo funcional arbóreo)

As hipóteses levantadas para avaliar os fatores que podem explicar o crescimento dos cultivos vizinhos foram:

H1: O crescimento do vizinho difere entre espécies de vizinho (efeito principal identidade do vizinho), mas essa diferença depende do crescimento e dos tipos/atributos funcionais de árvores plantadas do lado (interação identidade vizinho * outros preditores).

H2: O crescimento do cultivo vizinho é explicado pelos tipos/atributos funcionais do vizinho (efeito principal do atributo de vizinho), mas essa relação depende da espécie de árvore adjacente (interação Identidade da árvore: outros preditores dos vizinhos).

H3: O crescimento ou a sobrevivência do vizinho é suprimido pelo crescimento arbóreo (efeito principal da identidade da árvore), por algumas espécies de árvores mais do que por outras (interação crescimento arbóreo: Identidade da árvore).

H4: O crescimento ou a sobrevivência do vizinho é (negativamente) afetado pelo crescimento da árvore adjacente (efeito principal do crescimento arbóreo), mas esse efeito depende dos tipos/atributos funcionais do vizinho (interação crescimento arbóreo: outros preditores do vizinho).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção agrícola moderna tem sido baseada no industrialismo, realizada em larga escala e baseada principalmente na utilização de energia barata, agroquímicos e mecanização (TILMAN et al., 2002), onde há simplificação dos sistemas agrícolas, com grandes áreas de cultivos extensos e homogêneos, principalmente com utilização elevada de agrotóxicos e mecanização. Porém este modelo de produção resulta em gargalos inesperados como pragas e doenças resistentes aos agrotóxicos, compactação do solo, salinização, conflitos sociais, variações climáticas, perda da biodiversidade, etc. Isto é, ao trabalhar com agricultura, o homem muitas vezes simplifica sistemas vivos, onde interações complexas ocorrem e há respostas a esta simplificação (EHLERS, 1996).

Sistemas Agroflorestais (SAFs) são defendidos por muitos pesquisadores como potenciais para a produção de alimentos diversos, de maneira saudável e sustentável e também como uma forma de preservação de ecossistemas. SAFs são sistemas produtivos vivos que de maneira intencional integram cultivos lenhosos com outros cultivos agrícolas, perenes e/ou anuais nas mesmas unidades de manejo (OLIVEIRA, et. al., 2012). São apresentados como uma alternativa eficiente que contribui para mitigar vários desafios ambientais (VANDERMEER et. al, 2007, MALEZIEUX, e.t. al., 2009) por promover uso e ocupação do solo colaborando com a composição de uma alta diversidade de espécies e interação entre estes componentes. Alguns autores demonstram ainda que SAFs tem potencial para a conservação da biodiversidade (BHAGWAT et al., 2008), sequestro de carbono no solo e na vegetação (LAGANIERE, et al., 2010) entre outros benefícios ambientais (serviços ecossistêmicos de regulação).

É importante conciliar a produtividade de alimentos e fibras (serviços ecossistêmicos de provisão) com a conservação dos recursos naturais (serviços ecossistêmicos de regulação), com a garantia de segurança alimentar da população global crescente e, ao mesmo tempo, garantir que este aumento se dará em bases sustentáveis (FOLEY et al., 2011). Cultivos em consórcios e sistemas integrados de produção se apresentam como uma ótima alternativa para essa lacuna.

No entanto, o alto custo de implantação e manutenção, em parte devido à variabilidade na sobrevivência e crescimento inicial, associado com intensa competição de árvores com a vegetação espontânea faz com que este modelo (SAF) de produção seja pouco adotado.

Uma alternativa de baixo custo é o plantio de cultivos companheiros (neste estudo são chamados de cultivos vizinhos ou simplesmente vizinhos) para facilitar o desenvolvimento das árvores e simultaneamente produzir alimentos que podem ser colhidos antes das árvores iniciarem a produção de frutos, alimentando a família e gerando renda enquanto os cultivos arbóreos ainda estão em desenvolvimento inicial (RODRIGUES et al., 2008). Outro benefício do plantio de cultivos vizinhos é a competição destes por espaço e luz com as plantas espontâneas, que são um dos principais limitantes.

Entretanto, alguns cultivos plantados como vizinhos competem com as árvores juvenis podendo reduzir a sobrevivência e crescimento destas espécies de interesse econômico ou ecológico (GÓMEZ-APARICIO, 2009). Por este motivo se faz necessário estudar as composições de plantas que farão parte do desenho de sistemas integrados a fim de cumprir mais funções e serviços ecossistêmicos (SANDERSON et al., 2013). Um estudo recente mostra que a diversidade de espécies em policultivos em Iowa/EUA resultou numa exclusão competitiva de plantas espontâneas (PICASSO et al., 2008).

As combinações capazes de produzir sinergias entre árvores e cultivos vizinhos são pouco conhecidas e os resultados pouco generalizáveis. Dessa forma, com o plantio de diversas combinações de árvores alimentícias com cultivos vizinhos (anuais e perenes) objetivamos a busca de consórcios promissores para estimular o desenvolvimento das árvores e ao mesmo tempo gerar produtos alimentícios e compostos agroecológicos a curto e médio prazo. Porém, há centenas de espécies vegetais derivadas da Mata Atlântica, um número impossível de analisar em experimentos.

O grande número de espécies de cultivos alimentícios que podem ser consorciados em SAFs inviabiliza a experimentação de todas as combinações relevantes em busca dos mecanismos ecofisiológicos responsáveis por complementariedade ou facilitação. Abordagens baseadas nos atributos dos organismos vegetais têm sido cada vez mais utilizadas nestes estudos e representam uma forte ferramenta de trabalho para generalizar seus efeitos (DÍAZ et al., 2004; DÍAZ et al., 2007; CASTRO-DÍEZ, 2012; GARNIER; NAVAS, 2012).

2.1 ATRIBUTOS FUNCIONAIS

Atributos funcionais são quaisquer características morfológicas (área foliar, hábito de crescimento), fisiológicas (fotossíntese, respiração, Nitrogênio foliar) ou fenológicas (frutificação), que devem

ser mensuráveis nos níveis individuais, e que apresentam relação com a fisiologia do vegetal. Estas características podem ser medidas e relacionadas com processos ecológicos importantes e fornecer dados para avaliar os efeitos que ocorrem nos indivíduos, que potencialmente afetam o seu desenvolvimento ou a capacidade de adaptação e ajudam a explicar os mecanismos de resposta nos agroecossistemas (VIOLLE et al., 2007).

Mcgill et al. (2006), também definem atributo funcional como sendo uma propriedade bem definida e mensurável de organismos, medido em nível individual, usado comparativamente entre as espécies e que influencia fortemente o desempenho do organismo.

Assim, admite-se que atributo funcional é a característica de um indivíduo capaz de ser medida e que potencialmente afeta seu desempenho ou sua adaptação ao ambiente (CADOTTE; CARSCADDEN; MIROTCHNICK, 2011), ou seja, tem potencial de fornecer informações ecofisiológicas.

Vários estudos demonstram que o efeito comparativo de atributos funcionais das plantas com efeitos e respostas em nível ecossistêmico, têm grande potencial para generalizar o nosso entendimento sobre como os organismos afetam e são afetados pelo ecossistema (DÍAZ et. al., 2007; DIAZ et al., 2004; CASTRO-DÍEZ, 2012; GARNIER; NAVAS, 2012). Eles são divididos em duas grandes categorias: atributos de resposta; associados a respostas dos organismos aos fatores ambientais e atributos de efeito, que são características dos organismos podem exercer e afetar processos ecossistêmicos (LAVOREL; GARNIER, 2002). Os valores dos atributos, embora obtidos no nível do indivíduo, são expressos em nível populacional, como médias dos valores individuais (CORNELISSEN et al., 2003).

A partir do momento em que possuímos dados de atributos funcionais de espécies cultivadas e espontâneas, podemos combinar estas características e analisar o impacto da diversidade funcional sobre as propriedades do agroecossistema (GARNIER, et. al., 2012).

A concentração foliar de nitrogênio (muitas vezes usado como qualidade da biomassa), área foliar específica e pH foliar, dentre outros, são atributos funcionais que afetam funções biogeoquímicas do ecossistema, incluindo a mineralização da matéria orgânica e retenção de nutrientes no ecossistema terrestre, com implicações para produtividade líquida primária, competição entre cultivos e plantas espontâneas, cobertura do solo, acúmulo de carbono no solo e qualidade das águas subterrâneas e superficiais (GARNIER; NAVAS, 2012; CORNELISSEN et al., 2006).

Mas existem limitações no uso de atributos, por exemplo, a dificuldade de agricultores e técnicos para realizar medições e observações mais apuradas sobre a dinâmica do ecossistema devido à complexidade de classificar atributos funcionais por pessoas com pouca experiência. Violle et al., (2007), define tipos funcionais como sendo um agrupamento generalizado de características diferentes morfológica, fisiológica ou fenológica de combinações de espécies vegetais, eficientes para pesquisar mecanismos de complementaridade.

2.2 TIPOS FUNCIONAIS

Tipos funcionais de plantas podem ser classificados como grupos de espécies que tem funcionamento similar no ecossistema, respostas similares aos filtros ambientais e efeito/relação similares nos ecossistemas ou biomas, (CORNELISSEN et al., 2003). Essas similaridades seriam baseadas no fato dessas espécies tenderem a compartilhar entre si uma série de características funcionais chave, o que faz com que sejam úteis ao funcionamento de comunidades e ecossistemas, pois variam mais entre diferentes espécies do que entre membros do mesmo grupo (MCGILL et al., 2006).

Os tipos funcionais proporcionam a chance de agricultores, por exemplo, realizarem medições simples e avaliarem as relações que ocorrem no ambiente. Algumas destas características são: forma de crescimento das espécies definida pelo modo como ela cresce em tamanho e as estruturas que ela forma, com diferentes estratégias dentro do ambiente, como sistemas radiculares, caules e folhas diferentes para competição por espaço, nutrientes e luz (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013).

A combinação de tipos funcionais mais pesquisados envolve consórcios de leguminosas fixadoras de nitrogênio com cultivos que não têm essa capacidade (SIDDIQUE, et.al., 2008). Combinações experimentais de diferentes formas de vida têm gerado entendimento dos mecanismos de complementariedade (EWEL; MAZZARINO, 2008).

Uma meta-análise de 165 estudos analisados (baseados em 674 estudos de caso), sugeriu que arbustos plantados próximos a árvores alvo para restauração ecológica são a forma de crescimento mais promissora para facilitar o estabelecimento de árvores (GÓMEZ-APARICIO, 2009). Para que haja combinações relevantes a determinadas condições ambientais, faz-se necessário selecionar tipos

funcionais de vizinhos, com potencial para facilitar o crescimento de árvores.

A classificação de tipos funcionais adaptada de Cornelissen et al., (2003), conta com quatro grupos: herbácea basal, herbácea ereta, arbusto e árvore, o que facilita coleta de dados, interpretação e generalização dos resultados. Estes quatro grupos são utilizados nesse trabalho. As Herbáceas basais são classificadas também por Cornelissen et al., (2003) como espécies com caules eretos muito curtos, caules subterrâneos, caules prostrados e caules laterais próximos ao solo. Plantas herbáceas com caule ereto e folhas concentradas no meio e alto da planta foram classificadas como Herbáceas eretas. Já as plantas herbáceas gigantes com tamanho e forma de crescimento arbustivo, plantas lenhosas com copa principal perto do solo e geralmente ramificadas na base, ou plantas lenhosas geralmente consideradas árvores, mas que são forçados pela poda em forma de crescimento arbustivo foram classificadas como Arbustos. Por fim, o hábito Arbóreo, que é composto de árvores caducifólias, perenifólias e palmóides.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido no período de setembro de 2014 a junho de 2015, na propriedade particular de Joseph Patrick Naab, no bairro Barro Branco município de São Pedro de Alcântara. O município de São Pedro de Alcântara está situado no Estado de Santa Catarina, Brasil, (figura 1) na região da grande Florianópolis, a 50 km da capital, entre os paralelos 27° e 28° S e os meridianos 48° e 49° W. Tem área de 139.635 km² e 140 Km² de extensão territorial. O clima é classificado como mesotérmico úmido (Cfa), com verão quente. A temperatura anual é de 20°C, a média de temperatura do mês mais quente é de 25°C e a do mês mais frio é de 16°C (SIMINSKI, A. et. al.,2004; KLEIN, et. al., 1986; IBGE, 2010).

A precipitação pode variar de 1.220 a 1.660 mm/anuais, com 102 a 150 dias anuais e a umidade relativa do ar varia de 81,4 a 82,2%. Pode ocorrer de 0,3 a 9 geadas anuais com 164 a 437 horas/frio/ano (horas com temperatura abaixo de 7,2 °C), e insolação de 1.855 a 2.182 horas/anuais. O solo que forma esta região em sua maioria é granitóides foliados. O relevo da região é fortemente ondulado sendo o limitante a declividade com altitude na área do experimento de aproximadamente 500 m. A floresta Ombrófila Densa é a vegetação original do local que sofreu a exploração mais intensiva na década de 50, atualmente está em estágio de regeneração da vegetação (SIMINSKI, et. al.,2004; KLEIN, et. al., 1986).



Figura 1 - Localização do Município de São Pedro de Alcântara no Estado de Santa Catarina

Fonte: Site Prefeitura Municipal de São Pedro de Alcântara (2016)



Figura 2 - Localização do Município de São Pedro de Alcântara na região da Grande Florianópolis

Fonte: Site Prefeitura Municipal de São Pedro de Alcântara

O município de São Pedro de Alcântara possui uma variação de altitude de 100 m (Limite Leste – Rio Maruim) a 805 m (Limite Oeste-Rio das Antas).

3.2 HISTÓRICO DA ÁREA

Na área em que está implantado o experimento, em 2010 houve plantio de Palmeira Real (*Archontophoenix cunninghami*), com utilização de adubação química (sem mais informações). Após o plantio, o cultivo permaneceu sem cuidados e manejo por aproximadamente dois anos, e em 2012 houve a primeira colheita do palmito. Em agosto de 2013, houve a compra da propriedade (Joseph) e retirada das palmeiras que ainda existiam no local, delimitando assim a área para implantação do experimento, deixando somente os troncos fixados na terra para posterior adubação natural, na medida em que estes fossem apodrecendo.

O trabalho de implantação deste experimento, foi constituído por plantio de espécies arbustivas, herbáceas e arbóreas resistentes aos fatores limitantes identificados no local (pH baixo, ventos frios, solo compactado) para a formação de um sistema agroflorestal (SAF). A

sistematização e preparo da área para o plantio das espécies ocorreu em setembro/outubro de 2013, com alunos da disciplina de sistema agroflorestais da UFSC, voluntários, proprietário do terreno e pessoas contratadas pelo proprietário, para a pesquisa de mestrado de Marlon Dutra que avaliou o período de 0 a 12 meses de desenvolvimento do SAF.

A medição do pH em água, da área em que estão instalados os blocos, foi de 4,49 (baixo pH) e o índice SMP para elevar o pH foi de 6,05.

No início da sistematização da área e plantio das espécies, o solo não apresentava cobertura vegetal, possuía cor avermelhada sem presença de insetos e outros animais. Atualmente, há uma camada considerável de matéria orgânica cobrindo o solo, devido à presença dos cultivos e ao manejo empregado para realizar as limpezas de plantas espontâneas nas subparcelas e nos blocos. Entre uma subparcela e outra foram realizadas roçadas com roçadeira costal nos períodos descritos no quadro 1. Dentro das subparcelas (entre a árvore e os vizinhos) nos mesmos períodos das roçadas, foram realizadas capinas ou limpeza manual das espontâneas. Além destas limpezas, desde o início do experimento em 2013, foram incorporados ao solo restos de cultivos anuais colhidos e restos de podas realizadas nos cultivos vizinhos para permitir a entrada de luz para a árvore central. As podas realizadas foram acamadas, devolvendo ao solo a parte aérea, colaborando para incorporação da matéria orgânica.

Quadro 1- Limpezas realizadas nos blocos e subparcelas

ROÇADAS E CAPINAS	DATA DA LIMPEZA
Todos os blocos e todas as subparcelas	Agosto de 2014
Todos os blocos e todas as subparcelas	Novembro de 2014
Todos os blocos e todas as subparcelas	Dezembro de 2014
Todos os blocos e todas as subparcelas	Fevereiro de 2015
Todos os blocos e todas as subparcelas	Março de 2015
Todos os blocos e todas as subparcelas	Mai de 2015

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento estatístico foi de Blocos Completos Casualizados (600 m²) com três fatores cruzados (forma de crescimento de cultivos vizinhos, qualidade da biomassa de cultivos vizinhos e espécies arbóreas

e longevidade das espécies arbóreas) e quatro repetições verdadeiras, conforme representado na figura 3.



Figura 3 - Delimitação espacial do experimento

Fonte: Google Earth, 2015. Legenda: R1: bloco 1; R2: bloco 2; R3: bloco 3; R4: bloco 4.

Cada bloco é composto por seis parcelas com área de 8m^2 , que são divididas conforme a qualidade de biomassa. Dentro de cada bloco há duas parcelas de qualidades iguais de biomassa, ou seja, duas parcelas de alta qualidade, duas de baixa qualidade e duas de média qualidade de biomassa. A posição das parcelas foi sorteada, porém houve cuidado para ter as três qualidades nas parcelas superiores e igualmente nas inferiores. Essa determinação de ter duas parcelas da mesma qualidade foi feita para testar diferentes espécies dentro do mesmo grupo de qualidade de biomassa, a fim de obter resultados de efeito de vizinhos de uma grande diversidade de espécies sobre o crescimento das árvores. A qualidade da biomassa foi definida pela quantidade de nitrogênio foliar como: **ALTA** $> 2,5 \text{ g/kg}$, **MÉDIA** $= 2,0 \sim 2,5 \text{ g/kg}$ e **BAIXA** $< 2,0 \text{ g/kg}$. Uma demonstração da disposição das parcelas dentro do bloco pode ser vista na figura 4.

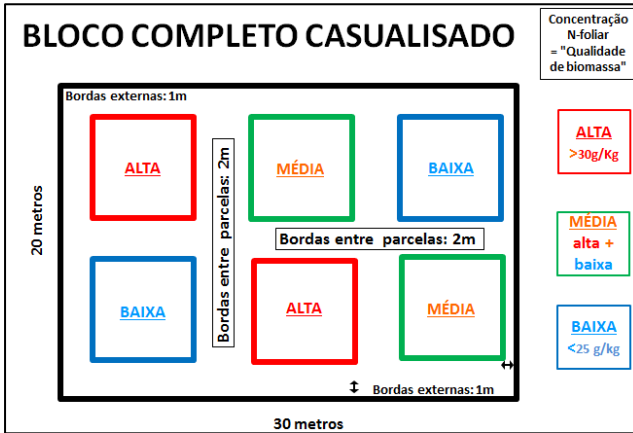


Figura 4 – Delineamento do bloco

As parcelas superiores representadas na figura acima possuem as mesmas formas de crescimento que as inferiores, no entanto, as espécies que compõem as parcelas superiores diferem das espécies das parcelas inferiores (figura 4), mas isso não influenciará nos resultados, pois todas fazem parte do mesmo tipo funcional e foram escolhidas com características muito próximas.

Cada parcela é composta por oito subparcelas com 1,5 m de diâmetro (figura 5). No total são 192 subparcelas distribuídas conforme os seguintes fatores: (i) qualidade de biomassa (alta, média e baixa); (ii) longevidade das espécies arbóreas (média vida 10 anos e curta vida 5 anos); (iii), forma de crescimento dos vizinhos (arbusto, herbácea ereta, herbácea basal) e composição de espécies (A e B).

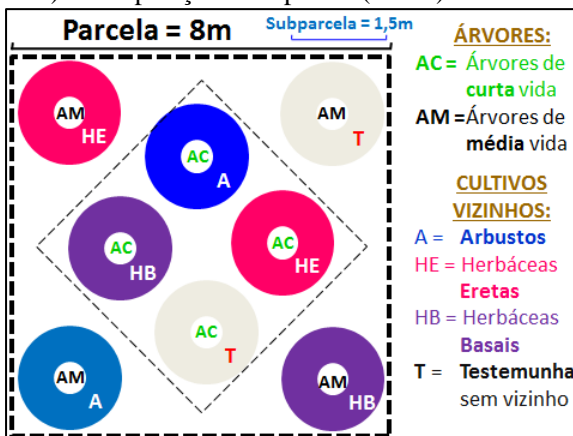


Figura 5 - Esquema do delineamento experimental dentro de uma parcela no bloco.

Cada subparcela contém uma árvore central acompanhada de uma espécie de cultivo vizinho, plantados em diferentes densidades e distâncias dependendo da forma de crescimento da espécie de cultivo vizinho. Um exemplo pode ser verificado na figura 6.

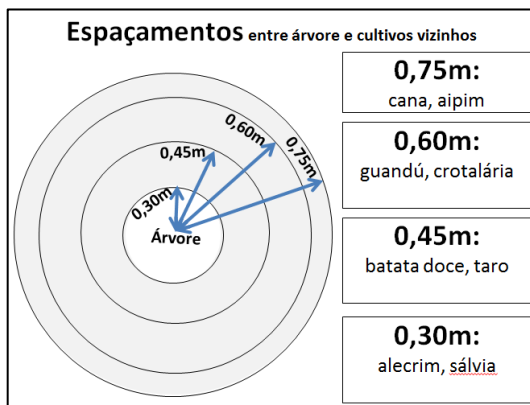


Figura 6 - Esquema de uma subparcela (Unidade Amostral)

O espaçamento dos corredores entre parcelas é de dois metros para evitar interferências experimentais ou outros fatores não controláveis.

Antes da instalação do experimento, no ano de 2013, com objetivo de correção do pH do solo, foi realizada aplicação de calcário dolomítico na área de subparcelas (0,57 kg de calcário com PRNT 100%), e para o plantio das espécies arbóreas foi realizada adubação com o substrato Bokashi que trata-se de uma mistura balanceada de origem vegetal e/ou animal, submetida a processo de fermentação controlada (SIQUEIRA & SIQUEIRA, 2013). O Bokashi foi utilizado na proporção de 6 kg/subparcela no plantio das espécies arbóreas em outubro de 2013, quando houve a implantação do experimento na área e início da pesquisa de mestrado do mestre Marlon Dutra.

Para avaliação do trabalho em questão, o plantio dos cultivos vizinhos aconteceu em setembro de 2014, com utilização do Bokashi, na quantidade de 8 kg/subparcela, divididos igualmente entre os pontos de plantio das espécies vizinhas. O Bokashi foi preparado na propriedade, por pessoas envolvidas com o experimento. Os insumos utilizados para o preparo do Bokashi foram recolhidos na propriedade e em

propriedades próximas. Alguns dos insumos utilizados foram diferentes horizontes de solo (A e B), bagaço de cana, melado, leite de vaca, palha de arroz, etc.

3.4 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES

As espécies arbóreas foram escolhidas com base nas características que as tornam capazes de se estabelecer neste agroecossistema, como: boas competidoras por luz, tolerantes ao sombreamento, tolerantes à seca, adaptadas aos nutrientes disponíveis, etc.

Os cultivos vizinhos foram selecionados a partir da pesquisa anterior que avaliou o período de 0 a 12 meses quando cada subparcela era composta de duas espécies de vizinho e uma árvore central. Para a pesquisa atual, que avaliou o período de 12 a 24 meses, foram mantidas as escolhas das espécies com melhor resposta de adaptação ambiental no experimento anterior e aquelas com baixa resposta de adaptação local foram modificadas. As espécies foram caracterizadas pela qualidade de biomassa e hábito de crescimento demonstrado no quadro 2. As mudas obtidas tinham altura de 20 a 60 cm, sempre com a menor variação possível dentro de cada espécie. Não levou-se em consideração, para a escolha das espécies, a resposta de efeito destas sobre o desenvolvimento das árvores no experimento anterior, pois a conclusão destas análises se deu em novembro de 2015, muito após o período de plantio (setembro de 2014) para a avaliação deste estudo.

Quadro 2- Detalhamento das espécies que compõe o experimento com suas identificações (nome comum e científico), família, forma de crescimento, qualidade de biomassa e forma de propagação utilizada para plantio.

ESPÉCIES ARBÓREAS					
Nome científico	Nome comum	Família	Forma crescimento	Qualidade biomassa	Forma de propagação
<i>Morus nigra</i>	Amora	Noraceae	Arbóreo	Alta	Muda
<i>Inga vera=uruguensis</i>	Ingá	Fabaceae			Muda
<i>Citrus × limon</i>	Limão-cravo	Rutaceae			Muda
<i>Citrus reticulata</i>	Tangerina	Rutaceae			Muda
<i>Psidium guajava</i>	Goiaba	Myrtaceae		Baixa	Muda
<i>Eugenia uniflora</i>	Pitanga	Myrtaceae			Muda
<i>Diospyros kaki</i>	Caqui Fuyu	Ebenaceae			Muda
<i>Malpighia glabra</i>	Acerola	Malpighiaceae			Muda
ESPÉCIES DE CULTIVO VIZINHO					
Nome científico	Nome comum	Família	Forma crescimento	Qualidade biomassa	Forma de propagação
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão guandu	Fabaceae	Arbustos	Alta	Sementes
<i>Manihot esculenta</i>	Mandioca	Euphorbiaceae			Sementes
<i>Rosmarinus officinalis</i>	Alecrim	Lamiaceae		Baixa	Mudas
<i>Salvia officinalis</i>	Sálvia	Lamiaceae			Mudas
<i>Crotalaria spectabilis</i>	Crotalária	Fabaceae	Herbácea Ereta	Alta	Sementes
<i>Canavalia ensiformis</i>	Feijão de porco	Fabaceae			Sementes
<i>Saccharum officinarum</i>	Cana de açúcar	Poaceae		Baixa	Sementes
<i>Zea mays</i>	Milho	Poaceae			Sementes
<i>Colocasia esculenta</i>	Taro	Araceae	Herbácea Basal	Alta	Sementes
<i>Ipomoea batatas</i>	Batata-doce	Convolvulaceae			Mudas
<i>Ananas comosus</i>	Abacaxi	Bromeliaceae		Baixa	Mudas
<i>Curcuma longa</i>	Açafrãodaterra	Zinziperaceae			Sementes

A distância estabelecida entre as árvores e os cultivos vizinhos (30, 45, 60 e 75 cm) foi utilizada para que as espécies pudessem desenvolver-se e ao mesmo tempo apresentar algum tipo de interação entre si, até o final do ciclo de vida dos cultivos vizinhos anuais (parte aérea) ou da coleta de dados para esta análise. As árvores testemunhas (aquelas sozinhas dentro da subparcela, sem presença de cultivo vizinho) receberam doses iguais de Bokashi à 45 cm de distância em quatro pontos de plantio, de maneira a receber o mesmo tratamento que as demais no que se refere a adubação. A densidade de plantio dos vizinhos foi planejada para que todo o espaço livre dentro da subparcela fosse ocupado de modo que plantas com alturas finais menores, ou com crescimento mais lento, ocupassem seu espaço e desempenhassem seu papel ambiental além de tentar evitar o desenvolvimento das plantas espontâneas dentro da subparcela, competindo com estas por luz.

Houve diferentes meios de propagação para os cultivos vizinhos, devido às características de desenvolvimento de cada espécie. Todas as espécies foram plantadas a partir de mudas ou sementes. Admite-se como semente todas as espécies que foram colocadas inteiras debaixo da terra como, por exemplo, o açafrão da terra, milho ou a mandioca, e mudas todas as que apresentavam algum tipo de parte aérea com folhas, temos como exemplo a sálvia ou o alecrim.

O feijão guandú e a cana de açúcar que estavam plantados no experimento anterior permaneceram nas subparcelas, pois estavam estabelecidos, porém tiveram suas folhas e galhos podados até 5 centímetros acima do solo, aproximadamente, quando as demais espécies plantadas apresentaram germinação a esta altura (5 cm).

Devido ao sistema radicular destas duas espécies já estarem estabelecidos, e também por apresentarem resposta de crescimento em altura mais rápido do que as demais espécies, durante o período de avaliação receberam podas com o mesmo critério. A mandioca se encaixa no critério de desenvolvimento mais rápido e também recebeu poda. Foram podados folhas e galhos das espécies na parte central da subparcela, aqueles que estavam mais próximos ou impedindo a árvore de receber luz, com a finalidade de evitar que a árvore ficasse abafada e sem luz.

3.5 AMOSTRAGENS

O tamanho em altura, diâmetro a altura da base (DAB) e sobrevivência de todas as espécies foram monitorados a cada três meses. As medições foram realizadas em dezembro de 2014 (final da primavera

logo após a emergência dos vizinhos – três meses após plantio dos vizinhos), março de 2015 (verão, em plena fase vegetativa – seis meses após plantio dos vizinhos) e junho de 2015 (outono, finalizando o ciclo dos cultivos anuais- nove meses após plantio dos vizinhos).

A altura até o ápice e o diâmetro a altura da base (DAB) foram medidos para todas as plantas vivas em cada censo. As taxas de crescimento e crescimento médio absoluto em altura foram calculadas para todos os indivíduos (arbóreos e vizinhos), taxas de crescimento e crescimento médio absoluto em DAB e volume do tronco foram calculadas para as árvores através da equação:

$$= \text{LN}(T_2+1) - \text{LN}(T_1+1) * 365 / t_2 - t_1 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

LN = Logaritmo neperiano

T_2 ; T_1 = Tamanho em altura da árvore ou DAB ou volume do tronco no censo t_2 ; t_1

t_2 ; t_1 = Data do último censo t_2 ; data do primeiro censo t_1 ($t_2 - t_1$ expresso em dias)

365 = 1 ano

+ 1 = valor adequado à equação para evitar que cultivos com germinação inicial igual a 0 (zero) pudessem ser interpretados nas equações.

Os detalhes sobre as coletas dos dados de todos os indivíduos são:

Altura (cm): A altura tanto para as árvores como para os cultivos vizinhos, foi considerada desde o colo da planta até o ponto fotossintético mais alto, ou seja, até o ponto com tecido vegetativo vivo mais alto (sem levantar a planta) com o motivo de capturar a altura máxima de tecido fotossintético para interpretação comparativa de competição por luz com a medição equivalente dos vizinhos cultivados (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013). A medida de altura foi realizada com régua como mostra a figura 7.



Figura 7- Demonstração da medição de árvores e cultivos vizinhos
Fonte: a autora

Diâmetro altura da base (DAB - mm): O diâmetro das árvores foi tomado a 1cm do nível do solo (Siebeneichler et al., 2008) e medido com paquímetro digital conforme figura 8.



Figura 8 - Demonstração da medição de DAB das árvores com paquímetro digital. Fonte: a autora

Volume do tronco (cm³): Calculado a partir dos dados de DAB para todas as árvores através da seguinte equação:

$$\text{Vol. Tronco} = (\text{arv.alt} * \text{arv.ab})/2 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

Vol. Tronco = Volume do tronco

arv.alt = Altura da árvore

arv.ab = Área basal da árvore

*Área basal da árvore = $\text{PI} * (\text{diâmetro altura da base da árvore} / 2)^2$

Sobrevivência: a sobrevivência das árvores e cultivos vizinhos foi verificada a cada senso. Foram considerados vivos os indivíduos presentes, com tecido fotossintético e gemas com plena capacidade de brotação, e mortos os ausentes ou sem tecidos fotossintéticos, sem folhas, com gemas axilares e/ou tronco seco/morto. Os dados coletados foram divididos em duas categorias distintas de respostas e preditores. Os quadros 3 e 4 são referentes aos modelos estatísticos a priori, testados para as respostas das árvores e dos cultivos vizinhos. E no quadro 5 são apresentadas as unidades de medição das variáveis utilizadas. Para os resultados foram utilizados os modelos finais (reduzidos) compostos apenas pelos termos que melhor explicam o crescimento tanto de árvores como de cultivos vizinhos.

Relação Altura – DAB: Calculado a partir de da equação

$$\text{RelaçãoAltDab} = (\text{dALT}\{i\} + \mu\{\text{dALT}\}) / (\text{dDAB}\{i\} + \mu\{\text{dDAB}\}) - (\mu\{\text{dALT}\} / \mu\{\text{dDAB}\}) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

RelaçãoAltDab = Relação entre a altura e o diâmetro a altura da base das espécies arbóreas

dALT{i} = crescimento absoluto em altura (m) do indivíduo i

mu{dALT} = média da altura absoluta (m) de todas as espécies dos experimento

dDAB{i} = crescimento absoluto em DAB (m) do indivíduo i

mu{dDAB} = média do DAB absoluto (m) de todas as espécies dos experimento

mu = denota média

{ } = denota subscrito

As repostas testadas para árvore e vizinhos são diferentes, apesar do grupo de preditores (variáveis) ser o mesmo, diferindo somente no agrupamento destes, conforme hipóteses a serem respondidas. Conforme pode ser visto nos quadros 3 e 4.

Quadro 3 – Variáveis incluídas nos modelos estatísticos testados a priori para as respostas das árvores. **Respostas:** Crescimento médio absoluto em altura (Cres_{ABS}) e diâmetro basal (Cres_{ABS} DAB); Taxa de crescimento relativo da altura (RGR altura), diâmetro basal (RGR DAB) e volume do tronco (RGR volume do tronco); por último relação altura-diâmetro arbóreo

(RelaçãoAltDab). **Variáveis explicativas:** Identidade das espécies arbóreas (Identidade_{ÁRV}), identidade dos cultivos vizinhos (Identidade_{VIZ}), Hábito/Modo de crescimento dos cultivos vizinhos, classificados como arbustos, herbácea basal e herbácea ereta (Modocres_{VIZ}), História de vida dos vizinhos (Hist-vida_{VIZ}), vizinho fixador de nitrogênio (N-fix_{VIZ}), vizinho gramínea Gramin_{VIZ}), distância mínima de plantio entre árvores e cultivos vizinhos (Dist_{ÁRV}), Forma de propagação classificado como muda ou semente (Fpropag), Quantidade de Nitrogênio foliar de árvores e dos vizinhos (N-foliar_{ÁRV} e N-foliar_{VIZ}), longevidade das árvores, caracterizadas para este experimento como média e curta vida (Longev_{ÁRV}), Qualidade de biomassa arbórea, caracterizado como alta, média e baixa qualidade (Qbiom_{ÁRV}).

RESPOSTAS	PREDITORES	
ÁRVORES	MODELOS COM INTERAÇÃO 2 PREDITORES	
RGR altura (m ano ⁻¹); RGR DAB (mm ano ⁻¹); RGR volume do tronco (m ³ ano ⁻¹); Cres _{ABS} (m ano ⁻¹); Cres _{ABS} DAB (mm ano ⁻¹); Volume tronco absoluto (m ³ ano ⁻¹); RelaçãoAltDab	✓ N-foliar _{ÁRV} × Identidade _{ÁRV}	✓ Identidade _{ÁRV} × Modocres _{VIZ}
	✓ N-foliar _{ÁRV} × Longev _{ÁRV}	✓ Identidade _{ÁRV} × Dist _{ÁRV}
	✓ N-foliar _{VIZ} × Hist-vida _{VIZ}	✓ Identidade _{ÁRV} × Gramin _{VIZ}
	✓ N-foliar _{VIZ} × Modocres _{VIZ}	✓ Identidade _{ÁRV} × N-fix _{VIZ}
	✓ N-foliar _{VIZ} × Gramin _{VIZ}	✓ Identidade _{ÁRV} × N-foliar _{VIZ}
	✓ N-foliar _{VIZ} × N-fix _{VIZ}	✓ Identidade _{ÁRV} × Histvida _{VIZ}
	✓ Dist _{ÁRV} × Longev _{ÁRV}	✓ Identidade _{ÁRV} × Fpropag
	✓ Cres _{ABSVIZ} × Dist _{ÁRV}	✓ Identidade _{VIZ} × Longev _{ÁRV}
	✓ Cres _{ABSVIZ} × Identidade _{ÁRV}	✓ Identidade _{VIZ} × Qbiom _{ÁRV}
	✓ Cres _{ABSVIZ} × Identidade _{VIZ}	✓ Identidade _{VIZ} × N-foliar _{ÁRV}
✓ RGRaltura _{ÁRV} × Longev _{ÁRV}	✓ Identidade _{VIZ} × Cres _{ABSVIZ}	
✓ RGRaltura _{ÁRV} × Qbiom _{ÁRV}	✓ Identidade _{VIZ} × RGRaltura _{ÁRV}	
✓ RGRaltura _{ÁRV} × N-foliar _{ÁRV}		
	MODELOS SEM INTERAÇÃO 2 PREDITORES	
	✓ Identidade _{ÁRV} + Identidade _{VIZ}	✓ Identidade _{ÁRV} + N-foliar _{ÁRV}
	✓ Identidade _{ÁRV} + Gramin _{VIZ}	✓ Cres _{ABSVIZ} + Identidade _{VIZ}
	✓ Identidade _{ÁRV} + N-fix _{VIZ}	✓ Cres _{ABSVIZ} + Identidade _{ÁRV}
	✓ Identidade _{ÁRV} + Hist-vida _{VIZ}	
	MODELOS SIMPLES 1 PREDITOR	
	✓ Identidade _{VIZ}	✓ N-foliar _{VIZ}
	✓ Identidade _{ÁRV}	✓ Hist-vida _{VIZ}
	✓ Modocres _{VIZ}	✓ Fpropag
	✓ Dist _{ÁRV}	✓ N-foliar _{ÁRV}
	✓ Gramin _{VIZ}	✓ Longev _{ÁRV}
	✓ N-fix _{VIZ}	✓ Qbiom _{ÁRV}

Quadro 4 - Variáveis incluídas nos modelos estatísticos testados a priori para as respostas dos vizinhos. **Respostas:** Crescimento médio absoluto em altura ($Cres_{ABS_{VIZ}}$) e Taxa de crescimento relativo da altura do vizinho ($RGR_{altura_{VIZ}}$). **Variáveis explicativas:** Taxa de crescimento relativo da altura ($RGR_{altura_{ARV}}$), Identidade das espécies arbóreas ($Identidade_{\acute{A}RV}$), identidade dos cultivos vizinhos ($Identidade_{VIZ}$), Hábito/Modo de crescimento dos cultivos vizinhos, classificados como arbustos, herbácea basal e herbácea ereta ($Modocres_{VIZ}$), História de vida dos vizinhos ($Hist-vida_{VIZ}$), vizinho fixador de nitrogênio ($N-fix_{VIZ}$), vizinho gramínea ($Gramin_{VIZ}$), distância mínima de plantio entre árvores e cultivos vizinhos ($Dist_{\acute{A}RV}$), Forma de propagação classificado como muda ou semente ($Fpropag$), Quantidade de Nitrogênio foliar de árvores e dos vizinhos ($N-foliar_{\acute{A}RV}$ e $N-foliar_{VIZ}$), longevidade das árvores, caracterizadas para este experimento como média e curta vida ($Longev_{\acute{A}RV}$), Qualidade de biomassa arbórea, caracterizado como alta, média e baixa qualidade ($Qbiom_{\acute{A}RV}$), Crescimento médio absoluto em altura ($Cres_{ABS_{ARV}}$).

RESPOSTAS	PREDITORES	
VIZINHOS	MODELOS COM INTERAÇÃO 2 PREDITORES	
RGR altura (m ano ⁻¹); Cres _{ABS} (m ano ⁻¹);	✓ $RGR_{altura_{ARV}} \times Modocres_{VIZ}$	✓ $Identidade_{\acute{A}RV} \times N-fix_{VIZ}$
	✓ $RGR_{altura_{ARV}} \times Dist_{\acute{A}RV}$	✓ $Identidade_{\acute{A}RV} \times Nfoliar_{VIZ}$
	✓ $RGR_{altura_{ARV}} \times Gramin_{VIZ}$	✓ $Identidade_{\acute{A}RV} \times Histvida_{VIZ}$
	✓ $RGR_{altura_{ARV}} \times N-fix_{VIZ}$	✓ $Identidade_{\acute{A}RV} \times Fpropag$
	✓ $RGR_{altura_{ARV}} \times N-foliar_{VIZ}$	✓ $Identidade_{VIZ} \times Longev_{\acute{A}RV}$
	✓ $RGR_{altura_{ARV}} \times Hist-vida_{VIZ}$	✓ $Identidade_{VIZ} \times Qbiom_{\acute{A}RV}$
	✓ $RGR_{altura_{ARV}} \times Fpropag$	✓ $Identidade_{VIZ} \times Nfoliar_{\acute{A}RV}$
	✓ $Identidade_{\acute{A}RV} \times Modocres_{VIZ}$	✓ $Identidade_{VIZ} \times Cres_{ABS_{ARV}}$
	✓ $Identidade_{\acute{A}RV} \times Dist_{\acute{A}RV}$	✓ $Identidade_{VIZ} \times RGR_{altura_{ARV}}$
	✓ $Identidade_{\acute{A}RV} \times Gramin_{VIZ}$	
	MODELOS SIMPLES 1 PREDITOR	
✓ Identidade _{VIZ}	✓ N-foliar _{VIZ}	
✓ Identidade _{ÁRV}	✓ Hist-vida _{VIZ}	
✓ Modocres _{VIZ}	✓ Fpropag	
✓ Dist _{ÁRV}	✓ N-foliar _{ÁRV}	
✓ Gramin _{VIZ}	✓ Longev _{ÁRV}	
✓ N-fiX _{VIZ}	✓ Qbiom _{ÁRV}	

No quadro 5 estão apresentadas as variáveis utilizadas nos modelos estatísticos bem como a classificação das mesmas em categórica ou numérica, qual a unidade de medição e método de coleta destas variáveis.

Quadro 5 - Variáveis utilizadas para compor os modelos com suas respectivas unidades de medição, classificação quanto a categórica ou numérica e a avaliação ou medição utilizada para obtenção da variável.

VARIÁVEL	UNIDADE DE MEDIÇÃO	TIPO	AVALIAÇÃO/MEDIÇÃO
Identidade arbórea	Nome das espécies	Categórico	Nome das espécies
Identidade do vizinho	Nome das espécies	Categórico	Nome das espécies
Altura	Metros	Numérico	Medida até o ápice
Diâmetro a altura da base	Milímetros	Numérico	Medido a 1 cm acima do solo
Sobrevivência	TRUE ou FALSE	Categórico	Presença ou ausência
N foliar	Porcentagem (%)	Numérico	g/Kg N foliar
Longevidade	Média ou curta vida (arvores), anual ou perene (vizinhos)	Categórico	Máximo potencial de meses de crescimento
Testemunha	TRUE ou FALSE	Categórico	Presença ou ausência
Forma de crescimento	Arbusto, Herbácea basal, Herbácea Ereta	Categórico	Arbusto, Herbácea basal, Herbácea Ereta
Grupo Funcional (gramínea)	TRUE ou FALSE	Categórico	TRUE ou FALSE
Historia de vida	Anual ou Perene	Categórico	Anual ou Perene
Distância de plantio entre árvores e vizinhos	Centímetros	Numérico	Centímetros de distância
Forma de propagação	Muda ou Semente	Categórico	Muda ou Semente

3.6 FATORES EXPERIMENTAIS

O experimento possui um delineamento fatorial em parcelas subdivididas com três fatores: 1) qualidade de biomassa, 2) longevidade das espécies relacionada ao tempo de vida e 3) formas de crescimento dos cultivos vizinhos em relação à espécie arbórea.

Dentro de cada fator há diferentes níveis. O primeiro fator conta com três níveis: i) alta qualidade de biomassa que é definida sendo > 30 g/kg de N foliar para herbáceas e > 25 g/kg de N foliar para arbustos e árvores, ii) média qualidade que é definida pela mistura de espécies de

baixa e alta qualidade dentro da subparcela, ou seja, uma composição equilibrada de espécies de alta e baixa qualidade, e iii) baixa qualidade de biomassa definida por < 25 g/kg de N foliar para herbáceas e < 20 g/kg de N foliar para arbustos e espécies arbóreas.

O segundo fator é composto de dois níveis: média e curta longevidade das espécies arbóreas. O termo longevidade foi utilizado para dividir no experimento as espécies arbóreas quanto a velocidade de crescimento e produtividade além dos valores para aquisição destas. Todas as espécies foram agrupadas em curta ou média vida para serem facilmente reconhecíveis pelos agricultores. As espécies de curta vida foram assim classificadas por produzirem precocemente (aproximadamente cinco anos), tolerarem sombreamento durante a fase de produção, aceitarem bem podas regulares ou terem mudas com baixo valor de aquisição. As espécies de média vida ficarão mais tempo produzindo no ambiente. Assim, com o passar do tempo, árvores classificadas como sendo de curta vida serão cortadas e darão espaço para que as árvores de média vida continuem com o seu desenvolvimento de crescimento e produção.

Quadro 6 – Longevidade relacionada ao tempo de vida das espécies arbóreas

TEMPO DE VIDA	ESPÉCIES ARBÓREAS	NOME CIENTÍFICO
Curta Vida	Ingá Pitanga Amora Goiaba	<i>Inga vera</i> <i>Eugenia uniflora</i> <i>Morus nigra</i> <i>Psidium guajava</i>
Média Vida	Tangerina Limão Caqui Acerola	<i>Citrus reticulata</i> <i>Citrus limon</i> <i>Diospyrus kaki</i> <i>Malpighia glabra</i>

O terceiro fator apresenta quatro níveis: árvore x arbusto, árvore x herbácea basal, árvore x herbácea ereta, árvore x sem plantio (testemunha). As formas de crescimento utilizadas foram adaptadas da metodologia proposta por Cornelissen et al., (2003), onde espécies com caules eretos muito curtos, caules subterrâneos, caules prostrados e caules laterais próximos ao solo foram classificadas no grupo das herbáceas basais. Plantas herbáceas com caule ereto e folhas concentradas no meio e alto da planta foram classificadas como herbáceas eretas. Plantas herbáceas gigantes com tamanho e forma de crescimento arbustivo, plantas lenhosas com copa principal perto do

solo e geralmente ramificadas na base, ou plantas lenhosas geralmente consideradas árvores, mas que são forçados pela poda em forma de crescimento arbustivo são classificadas como arbusto e por último o hábito arbóreo que é composto de árvores caducifólias, perenifólias e palmóides. Os fatores e os níveis são apresentados no quadro 6.

Dentro de cada bloco há duas parcelas com a mesma qualidade de biomassa, (duas de alta qualidade, duas de baixa e duas de média qualidade de biomassa) totalizando três superiores e três inferiores. Uma demonstração sobre a disposição das parcelas pode ser vista na figura 4. As parcelas superiores possuem cultivos vizinhos com as mesmas formas de crescimento que as inferiores, no entanto, as espécies que compõem as parcelas superiores diferem das espécies que compõe as parcelas inferiores.

Quadro 7 - Fatores e níveis experimentais.

FATORES	NÍVEIS
Qualidade de Biomassa	Alta
	Média
	Baixa
Longevidade das espécies arbóreas	Curta vida
	Média vida
Hábito de crescimento dos cultivos vizinhos	Arbusto
	Herbácea Basal
	Herbácea Ereta

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software R versão 3.2.0 (2015). Os pressupostos foram verificados através da análise explanatória dos resíduos, e houve violação dos mesmos. Na busca de métodos que independem de distribuição normal e homogeneidade dos resíduos escolhemos os modelos lineares mistos generalizados (GLMM), com utilização dos pacotes lme4 (BATES et al., 2015) e predictmeans (DONGWEN, et al., 2014). O pacote predictmeans foi escolhido por ser potente em usar diretamente a estrutura de GLMM além de implementar os testes de hipóteses nulas com permutações e conseguir representar os fatores experimentais com interação, assim como a estrutura de auto correlação (não-independência) espacial (indivíduos aninhados dentro das parcelas e parcelas aninhadas dentro dos blocos(random=~1|bloco/Subparcela)) e

temporal (medições repetidas da mesma árvore). Para ajuste dos modelos lineares mistos (LMM) foram utilizadas as funções `lme()` para as respostas de crescimento do pacote `lme4`. O exemplo de um modelo de crescimento em altura das árvores em função de outro preditor, por exemplo, identidade das árvores, pode ser visto abaixo:

```
lme(altura.arborea~identidade.arborea, random=~1|bloco/
subparcela, na.action=na.exclude, data=data)
```

A partir dessa modelagem foram aplicados os testes de permutações (livres de pressupostos distribucionais) com a função `permmodels()` do pacote `predictmeans` para testar as hipóteses dos efeitos dos termos especificados nos LMM.

```
permmodels(model=mod1, covariate="identidade.arborea",
block="bloco", group="subparcela", nsim=9999, data=data,
prt=F)
```

```
permlme$ANOVA
```

Também do pacote `predictmeans` utilizamos a função `covariatemeans()` para os gráficos das previsões dos modelos para estruturação e interpretação dos resultados.

```
covariatemeans(model=mod1, ci=F, modelterm="identidade.
arborea", covariate="altura.arborea", jitterv=0.8)
```

OU

```
predictmeans(model=mod1, modelterm="identidade.arborea",
pairwise=T, atvar="altura.arborea", adj="BH",
permlist=permlme, barplot=T, plot=T)
```

Segundo Garcia et al., (2012) os GLMM podem ser definidos a partir da especificação de três componentes: i) um componente aleatório, representado pelas variáveis aleatórias independentes pertencentes a uma mesma distribuição da família exponencial, tais como normal, binomial e Poisson; ii) um componente sistemático denominado preditor linear, no qual as variáveis explicativas são

representadas como uma soma linear de seus efeitos; iii) uma função de ligação que relaciona os componentes aleatório e sistemático, ou seja, associando a média ao preditor linear. Portanto, os efeitos fixos e aleatórios, que influenciam a característica de interesse, são modelados a partir do preditor linear.

Os modelos que não tiveram preditores com resultados suficientes para explicar o desenvolvimento da árvore e dos cultivos vizinhos foram desconsiderados. Portanto, iniciou-se com um modelo completo, mas manteve-se o modelo com os preditores que explicaram a variação. O critério adotado foi de número mínimo de espécies com valores diferentes (3), disponíveis de atributo/tipo funcional dentro de cada nível do fator (preditor categórico) dentro do mesmo modelo.

A seleção dos modelos não exclui a possibilidade de que qualquer um dos preditores pode ser mais importante que os outros no mesmo modelo. Os resultados significativos dos modelos estatísticos finais reduzidos (parcimoniosos) com os termos que melhor explicaram o crescimento médio absoluto da árvore ($Cres_{ABS}$) podem ser verificados nas tabelas ao longo da apresentação dos resultados. Foram selecionadas as estatísticas resumidas para cada termo significativo ($p < 0,05$) através de: Graus de liberdade do enumerador (DF_{ENUM}), do denominador (DF_{DEN}), valor F (F) e a probabilidade por permutações (p).

Foram propostos os seguintes modelos genéricos alternativos.

Os modelos comparados contém o mesmo número de termos:

$$Cres_{ABS\text{ÁRVORE}} = \alpha + T_{\text{arvore}} + \gamma_j + \varepsilon \quad (\text{Equação 4})$$

$$RGR_{\text{ÁRVORE}} = \alpha + T_{\text{vizinho}} + \gamma_j + \varepsilon \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

$RGR_{\text{árvore}}$ = Taxa de Crescimento Relativo da árvore alvo (PÉREZ-HARGUINDEGUY et al., 2013) ou Taxa de DAB Relativo ou Taxa de volume do tronco. $Cres_{ABS\text{ÁRVORE}}$ = Crescimento médio absoluto da árvore. Ambos calculados pela fórmula:

$$= (\text{LN}(T_2 + 1) - \text{LN}(T_1 + 1)) * 365 / t_2 - t_1 \quad (\text{Equação 6})$$

Onde:

LN = logaritmo neperiano

$T_2; T_1$ = Tamanho da árvore (altura ou DAB) no censo t_2 ; t_1

t_2 ; t_1 = Data do último censo t_2 ; data do primeiro censo t_1 ($t_2 - t_1$ expresso em dias)

365 = 1 ano

α = Intercepto no eixo Y

$T_{\text{árvore}}$ = identidade e atributos/tipos funcionais das espécies arbóreas (as árvores foram avaliadas pela longevidade, qualidade de biomassa, Identidade de espécie arbórea e crescimento de altura absoluta).

T_{vizinho} = Identidade e atributos funcionais dos cultivos vizinhos.

γ_j = Efeito aleatório do bloco jj

ε = Erro aleatório

A equação utilizada e adaptada para cada conjunto de preditores das hipóteses sobre o crescimento dos cultivos vizinhos foi a seguinte:

$$RGR_{\text{vizinho}} = \alpha + T_{\text{vizinho}} * T_{\text{árvore}} + \gamma_j \quad (\text{Equação 7})$$

$$Cres_{\text{ABSvizinho}} = \alpha + T_{\text{vizinho}} * T_{\text{árvore}} + \gamma_j \quad (\text{Equação 8})$$

Onde:

RGR_{vizinho} = Taxa de Crescimento Relativo (Pérez-Harguindeguy et al., 2013) do vizinho e $Cres_{\text{ABSvizinho}}$ = Crescimento médio absoluto do vizinho, dados pela seguinte fórmula:

$$= (\text{LN}(T_2 + 1) - \text{LN}(T_1 + 1)) * 365 / t_2 - t_1 \quad (\text{Equação 9})$$

Onde:

Ln = logaritmo neperiano

$T_2; T_1$ = Tamanho do vizinho (altura) no censo t_2 e t_1

$t_2 ; t_1$ = Data do último censo t_2 ; data do primeiro censo t_1 ($t_2 - t_1$ expresso em dias)

365 = um ano

α = Intercepto no eixo Y

T_{vizinho} = atributos/tipos funcionais dos cultivos vizinhos (Os vizinhos foram avaliados por Hábito de crescimento, Distância mínima de plantio entre ele e a árvore, Identidade de vizinho).

$T_{\text{árvore}}$ = atributos/tipos funcionais das espécies arbóreas (as árvores foram avaliadas pela longevidade, qualidade de biomassa, Identidade de espécie arbórea e crescimento de altura absoluta).

γ_j = Efeito aleatório do bloco jj

ε = Erro aleatório

4 RESULTADOS

O crescimento absoluto em altura das espécies arbóreas ($Cres_{ABS\grave{A}RVORE}$) não foi explicado pela identidade do cultivo vizinho, ou seja, as árvores cresceram em altura, em DAB e em volume do tronco na presença de qualquer vizinho. As variáveis que apresentaram algum tipo de efeito explicativo sobre o crescimento das árvores foram: identidade arbórea, crescimento médio em altura absoluta dos vizinhos, longevidade arbórea e o método de plantio distância mínima entre vizinhos e árvores.

O crescimento em altura dos cultivos vizinhos ($Cres_{ABS\grave{A}VIZINHO}$) diferiu entre espécies de vizinhos independente dos atributos funcionais das árvores que foram testados. Os atributos funcionais dos vizinhos também não explicaram o seu próprio crescimento. As variáveis capazes de explicar este crescimento foram: a forma de crescimento, o método de plantio de distância entre árvores e vizinhos dependendo da espécie arbórea com que o vizinho era plantado e o crescimento médio absoluto em altura das árvores. O crescimento das árvores não suprimiu o crescimento dos cultivos vizinhos por nenhuma espécie de árvore.

A sobrevivência das árvores não foi analisada, mas o resultado dos censos realizados para coleta dos dados, revela que a espécie com maior índice de mortalidade (10 de 24 indivíduos) foi o caqui, seguido da acerola (5 de 24 indivíduos), limão e tangerina (1 indivíduo de cada espécie morreu).

Todos os modelos foram calculados com crescimento médio absoluto ($Cres_{ABS}$) e taxa de crescimento relativo (RGR) para todas as respostas das árvores e dos vizinhos. Mas, como os resultados de ambos ($Cres_{ABS}$ e RGR) foram muito parecidos, então nesse trabalho são apresentados somente os resultados do crescimento médio absoluto ($Cres_{ABS}$). Com exceção da taxa de crescimento relativo (RGR) do volume do tronco que foi a que melhor explicou, ou apresentou efeito sobre o crescimento volumétrico das espécies arbóreas.

4.1 CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

Na tabela 1 estão representados os modelos estatísticos finais (reduzidos) com os termos que melhor explicaram o crescimento das espécies arbóreas ($Cres_{ABS\grave{A}RVORE}$).

Tabela 1 – Variáveis utilizadas nos modelos estatísticos em interações que explicam se o desenvolvimento das espécies arbóreas e a estimulação do crescimento arbóreo é melhor explicado pela presença e identidade da espécie arbórea e de cultivos vizinhos, ou pelos atributos funcionais das árvores e dos cultivos vizinhos. Preditores: Identidade da árvore ($Identidade_{\text{ÁRV}}$), Identidade dos cultivos vizinhos ($Identidade_{\text{VIZ}}$), Nitrogênio foliar arbóreo em g/Kg ($N\text{-foliar}_{\text{ÁRV}}$), Longevidade arbórea classificada como média e curta vida ($Longev$), distância mínima de plantio entre árvores e cultivos vizinhos ($Dist_{\text{ÁRV}}$), taxa de crescimento relativo dos vizinhos ($RGR_{\text{ALTURAVIZ}}$).

Resposta	Preditores	DF _{NUM}	DF _{DEN}	F
Cres _{ABSÁRVORE} em altura (m.ano ⁻¹)	$Identidade_{\text{ÁRV}}$	7	152	35,7***
	$Identidade_{\text{VIZ}}$	12	152	3,6***
	$N\text{-foliar}_{\text{ÁRV}}$	1	168	5,0**
	$Longev$	1	168	57,3***
Cres _{ABS} em DAB (mm.ano ⁻¹)	$Identidade_{\text{ÁRV}}$	12	152	13,0***
	$N\text{-foliar}_{\text{ÁRV}}$	1	168	0,8
	$Longev_{\text{ÁRV}}$	1	168	53,4***
	$Longev_{\text{ÁRV}} \times N\text{-foliar}_{\text{ÁRV}}$	1	168	18,6***
RGR volume (m ³ .ano ⁻¹)	$Identidade_{\text{ÁRV}}$	7	152	12,6***
	$Dist_{\text{ÁRV}}$	1	106	0,4
	$RGR_{\text{altura}}_{\text{VIZ}}$	1	106	0,1
	$RGR_{\text{altura}}_{\text{VIZ}} \times Dist_{\text{ÁRV}}$	1	106	13,7***
	$Longev_{\text{ÁRV}}$	1	168	5,5*
	$Dist_{\text{ÁRV}}$	1	168	0,01
	$Longev_{\text{ÁRV}} \times Dist_{\text{ÁRV}}$	1	168	3,8*
RelaçãoAltDab	$Identidade_{\text{ÁRV}}$	7	164	11,6**
	$N\text{-foliar}_{\text{ÁRV}}$	1	168	2,3
	$Longev_{\text{ÁRV}}$	1	168	4,5*
	$Longev_{\text{ÁRV}} \times N\text{-foliar}_{\text{ÁRV}}$	1	168	5,6*
	$Longev_{\text{ÁRV}}$	1	170	6,5**

Valores de F seguidos de *, **, *** denotam diferenças significativas de p ao nível de 0,05; 0,01; 0,001, respectivamente. Estatísticas resumidas para cada termo significativo ($p < 0,05$): Graus de liberdade do enumerador (DF_{NUM}), do denominador (DF_{DEN}), valor F (F) e a probabilidade por permutações (p).

Subscritos ($\bar{A}RV$) e ($\bar{V}IZ$) se referem à árvore e aos vizinhos da mesma subparcela, respectivamente.

O crescimento absoluto em altura das espécies arbóreas não foi explicado pela identidade do cultivo vizinho. As espécies arbóreas que obtiveram maior crescimento em altura foram a amora (cerca de 3,5m) e a goiaba (cerca de 2,8m) na presença de qualquer vizinho, enquanto as espécies caqui e acerola tiveram altura máxima inferior a 1m (figura 9). Porém, há muita variabilidade no crescimento da maioria das árvores e não houve nessa avaliação outros fatores para explicar essa variação no crescimento em altura. As respostas de crescimento médio absoluto em DAB, RGR volume do tronco e relação altura-diâmetro das espécies arbóreas, foram explicadas pela Identidade arbórea ($p < 0,001$) independente de outro termo nos modelos. As espécies com maior crescimento absoluto médio anual em DAB foram a amora (cerca de 80mm), o ingá (cerca de 78mm) e alguns indivíduos da espécie caqui (de 78mm a 120 mm). Já as espécies que apresentaram menor crescimento em DAB foram acerola (cerca de 36mm), limão (cerca de 39mm) e pitanga (cerca de 39mm). As espécies que tiveram maior relação Altura-Diâmetro foram goiaba (0,40m), amora (39), pitanga (38) e limão (29) e as que tiveram relação menor foram caqui (8) e ingá (5) (figura 10).

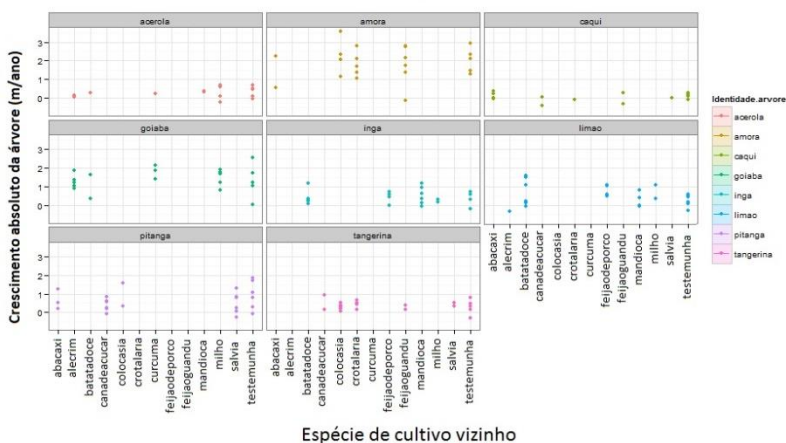


Figura 9 – Crescimento absoluto das árvores ($m \cdot ano^{-1}$) em função da Identidade do vizinho (espécie de cultivo vizinho) e Identidade arbórea. Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.

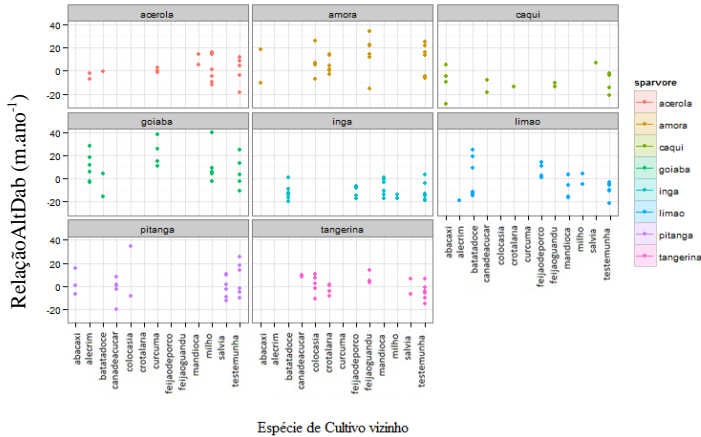


Figura 10 – Relação altura-Diâmetro a altura da base (RelaçãoAltDab) das árvores (m.ano^{-1}) em função da Identidade do vizinho (espécie de cultivo vizinho) e Identidade arbórea (sp árvore). Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.

Os resultados obtidos o N foliar das árvores testado em interação com a longevidade arbórea explicou o crescimento das árvores. Há uma tendência de que em árvores de curta vida o N foliar ($p < 0,001$) é positivamente correlacionado com o seu crescimento em altura, mas em árvores de longa vida isso não acontece. Dependendo da quantidade de N foliar as árvores de curta vida crescem mais em DAB ($p < 0,001$) do que as de longa vida (figura 11). Mas as árvores de longa vida apresentaram mais relação Altura-Diâmetro do que as de curta vida dependendo do seu N foliar (figura 12), ou seja, as árvores de longa vida crescem mais em altura do que em diâmetro do tronco basal.

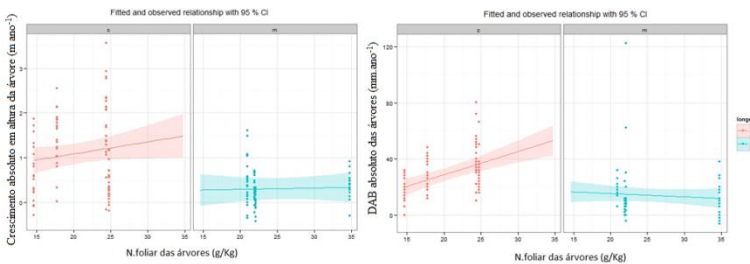


Figura 11 - Crescimento absoluto em altura (m.ano^{-1}) à esquerda e DAB (m.ano^{-1}) à direita, em função do N foliar arbóreo (g/Kg) e Longevidade

arbórea. Longevidade caracterizada como curta (c) e média (m) vida. Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.

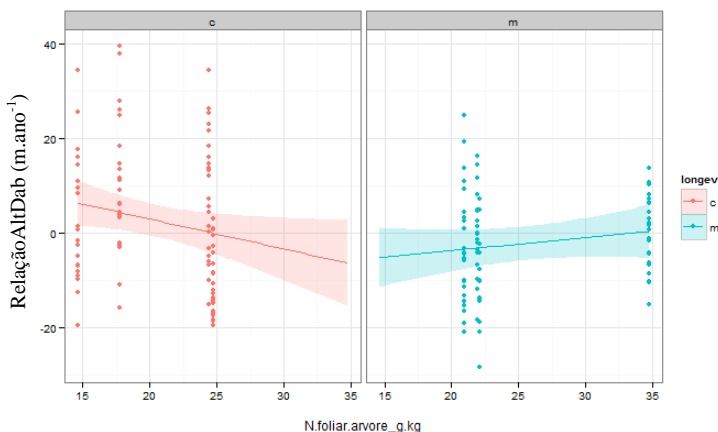


Figura 12 – Relação Altura-Diâmetro a Altura da Base (RelaçãoAltDab) (m.ano^{-1}) arbóreo em função do Nitrogênio (N) foliar arbóreo (g/Kg) e Longevidade arbórea. Longevidade caracterizada como curta (c) e média (m) vida. Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.

O método de plantio de distância mínima entre vizinho e árvore foi testado em interação com o crescimento do vizinho (RGR) ($p < 0,001$) e com a longevidade arbórea ($p < 0,05$), e explicou parte do crescimento volumétrico das árvores. O crescimento dos vizinhos plantados mais próximos das árvores (3cm) teve um efeito negativo (leve) sobre o crescimento volumétrico destas, enquanto que o crescimento dos vizinhos plantados mais distantes (45cm e 6cm) não apresentou efeito sobre o volume do tronco (Figura 13). E quanto mais distante foi o plantio dos vizinhos (6cm) mais as árvores de curta vida cresceram em volume, ao contrário nas árvores de longa vida, as distâncias tiveram um efeito negativo sobre o crescimento volumétrico delas (Figura 14).

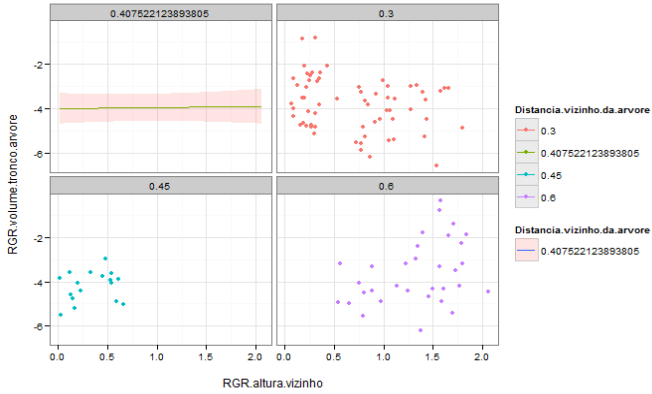


Figura 13 - RGR volume do tronco das árvores em função da RGR em altura do vizinho e Distância mínima de plantio entre vizinhos e árvores. Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.

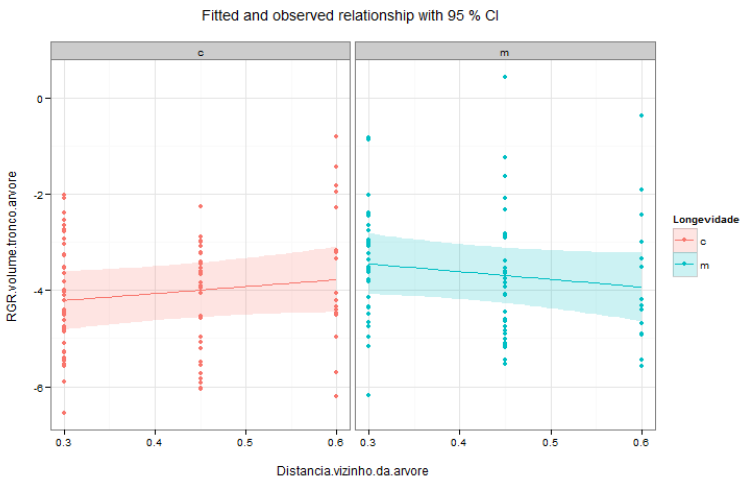


Figura 14 - RGR volume do tronco das árvores em função da Distância mínima de plantio entre vizinho e árvore e Longevidade arbórea caracterizada como curta (c) e média vida (m). Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.

Tabela 2 – Variáveis utilizadas nos modelos estatísticos que mostram se o crescimento da árvore difere entre espécies de árvore em interação com os tipos/atributos funcionais de vizinhos. Preditores: Identidade da árvore ($Identidade_{\hat{A}RV}$), distância mínima de plantio entre árvores e cultivos vizinhos ($Dist_{\hat{A}RV}$).

Resposta	Preditores	DF _{NUM}	DF _{DEN}	F
Cres _{ABS} em altura (m.ano ⁻¹)	$Identidade_{\hat{A}RV}$	7	164	41,3***
	$Dist_{\hat{A}RV}$	1	163	7,6**
	$Identidade_{\hat{A}RV}$	7	163	40,1***
Cres _{ABS} em DAB (mm.ano ⁻¹)	$Identidade_{\hat{A}RV}$	7	164	14,0***
RGR volume (m ³ .ano ⁻¹)	$Identidade_{\hat{A}RV}$	7	164	12,9***
RelaçãoAlt- Dab (m.ano ⁻¹)	$Identidade_{\hat{A}RV}$	7	164	11,5***

Valores de F seguidos de *, **, *** denotam diferenças significativas de p ao nível de 0,05; 0,01; 0,001, respectivamente. Estatísticas resumidas para cada termo significativo ($p < 0,05$): Graus de liberdade do enumerador (DF_{NUM}), do denominador (DF_{DEN}), valor F (F) e a probabilidade por permutações (p). Subscritos ($\hat{A}RV$) e (\hat{VIZ}) se referem à árvore e aos vizinhos da mesma subparcela, respectivamente.

O crescimento das espécies arbóreas diferiu entre as espécies de árvores ($p < 0,001$), independente dos tipos ou atributos funcionais dos cultivos vizinhos. O método de plantio distância mínima entre vizinho e árvore, apresentou um efeito principal ($p < 0,01$) sobre o crescimento em altura média absoluta das árvores. Dependendo da distância de plantio dos vizinhos as árvores tiveram maior ou menor crescimento em altura.

Tabela 3 – Variáveis utilizadas nos modelos estatísticos em interações que mostram se o crescimento da árvore é explicado pelos seus próprios tipos/atributos funcionais dependendo da espécie de vizinho. Preditores: Identidade dos cultivos vizinhos ($Identidade_{\hat{VIZ}}$), Longevidade arbórea classificada como média e curta vida (Longev).

Resposta	Preditores	DF _{NUM}	DF _{DEN}	F
Cres _{ABS} em altura (m.ano ⁻¹)	Longev _{ÁRV}	1	146	79,2**
	Identidade _{VIZ}	12	146	2,6**
	Identidade _{VIZ} x Longev _{ÁRV}	12	146	3,7**
Cres _{ABS} em DAB (mm.ano ⁻¹)	Longev _{ÁRV}	1	146	47,3***
RGR volume (m ³ .ano ⁻¹)	Longev _{ÁRV}	1	146	6,6**
	Identidade _{VIZ}	12	146	2,4**
	Identidade _{VIZ} x Longev _{ÁRV}	12	146	2,5***
RelaçãoAlt- Dab (m.ano ⁻¹)	Longev _{ÁRV}	1	146	7,9**
	Identidade _{VIZ}	12	146	2,1**
	Identidade _{VIZ} x Longev _{ÁRV}	12	146	2,7**

Valores de F seguidos de *, **, *** denotam diferenças significativas de p ao nível de 0,05; 0,01; 0,001, respectivamente. Estatísticas resumidas para cada termo significativo ($p < 0,05$): Graus de liberdade do enumerador (DF_{NUM}), do denominador (DF_{DEN}), valor F (F) e a probabilidade por permutações (p). Subscritos (_{ÁRV}) e (_{VIZ}) se referem à árvore e aos vizinhos da mesma subparcela, respectivamente.

O tipo funcional longevidade arbórea explicou parte do crescimento em altura das árvores dependendo da espécie de vizinho com que estas árvores foram plantadas ($p < 0,01$). As árvores de curta vida cresceram mais na presença dos cultivos vizinhos colócásia (mais de 3,5m/ano) crotalária e feijão guandú (próximo de 3 m/ano). As testemunhas de curta vida tiveram um ótimo crescimento se aproximando de 3 metros. As árvores de média vida cresceram menos na presença de cultivos vizinhos, as maiores alturas foram na presença dos vizinhos batata doce (~ 1,6m/ano), feijão de porco (1,1m/ano) e milho (1,2m/ano) (figura 15).

A longevidade teve um efeito principal sobre o crescimento absoluto do DAB das árvores ($p < 0,001$), onde a maioria das árvores de curta vida cresceu mais em DAB (80mm/ano) em relação à maioria das árvores de média vida que atingiram um máximo de 40mm/ano.

Colócásia, cúrcuma, feijão guandu e milho foram os vizinhos que promoveram maior relação Altura-Diâmetro das árvores de curta vida, ultrapassando 3,5m/ano de altura. Já as árvores de média vida tiveram

menor relação Altura-Diâmetro e somente na presença do vizinho, batata doce atingiram um máximo de 1,7m/ano (figura 16).

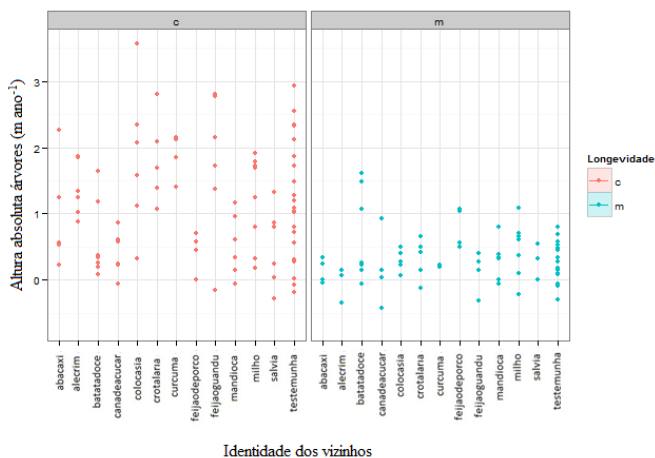


Figura 15 - Altura absoluta das árvores (m/ano^{-1}) em função da Identidade do vizinho e Longevidade arbórea caracterizada como curta (c) e média vida (m). Significância de p e outras estatísticas na tabela 3.

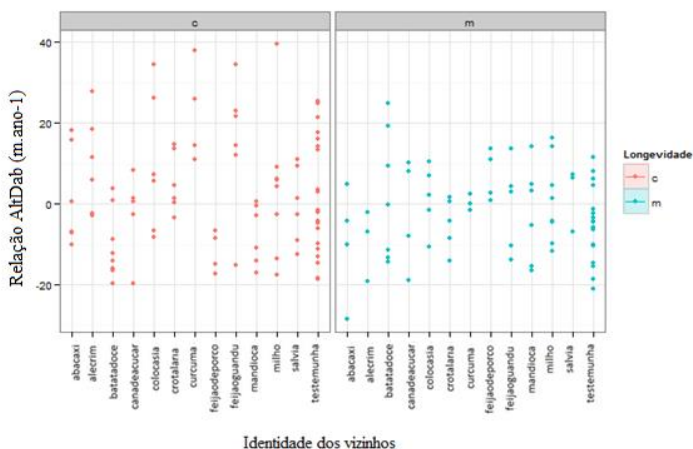


Figura 16 - Relação Altura-Diâmetro a Altura da Base (RelaçãoAltDab) (m.ano^{-1}) em função da Identidade do vizinho e Longevidade arbórea caracterizada como curta (c) e média vida (m). Significância de p e outras estatísticas na tabela 3.

Tabela 4 - Modelos contendo os termos e interações que mostram se o crescimento da árvore é explicado pelo crescimento dos vizinhos ($Cres_{ABSALTURA}$ e RGR_{ALTURA}) dependendo dos seus próprios tipos/atributos funcionais (arbóreos). Preditores: Longevidade arbórea classificada como média e curta vida ($Longev_{ÁRV}$).

Resposta	Preditores	DF_{NUM}	DF_{DEN}	F
(RelaçãoAltDab) ($m \cdot ano^{-1}$)	$Longev_{ÁRV}$	1	100	4,4**

Valores de F seguidos de *, **, *** denotam diferenças significativas de p ao nível de 0,05; 0,01; 0,001, respectivamente. Estatísticas resumidas para cada termo significativo ($p < 0,05$): Graus de liberdade do enumerador (DF_{NUM}), do denominador (DF_{DEN}), valor F (F) e a probabilidade por permutações (p). Subscritos ($ÁRV$) e (VIZ) se referem à árvore e aos vizinhos da mesma subparcela, respectivamente.

O crescimento dos cultivos vizinhos não explicou o crescimento arbóreo quando relacionados com os atributos funcionais arbóreos. Somente a longevidade arbórea teve um efeito principal ($p < 0,01$) para explicar a relação Altura-Diâmetro das árvores. As árvores de curta vida apresentaram maior relação Altura-Diâmetro (4m/ano) do que as árvores de média vida (1,9m/ano), conforme mostra a figura 17.

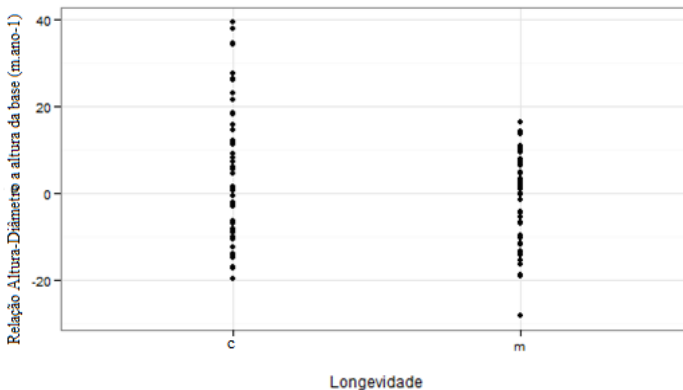


Figura 17 - Relação Altura-Diâmetro a altura da base ($RelaçãoAltDab$) ($m \cdot ano^{-1}$) em função da Longevidade arbórea. Longevidade caracterizada como curta (c) e média vida (m). Significância de p e outras estatísticas na tabela 1.

O crescimento das árvores não é suprimido pelo crescimento dos vizinhos. Não houve fatores que pudessem explicar qualquer tipo de supressão.

4.2 CRESCIMENTO DOS CULTIVOS VIZINHOS

Na tabela abaixo estão as variáveis que fizeram parte dos modelos estatísticos finais (reduzidos) com os termos que melhor explicaram o crescimento médio absoluto dos cultivos vizinhos ($Cres_{ABS}$).

Tabela 5 - Preditores: Identidade dos cultivos vizinhos ($Identidade_{VIZ}$), Forma de crescimento dos cultivos vizinhos, classificados como arbustos, herbácea basal e herbácea ereta ($Modocres_{VIZ}$), Identidade da árvore ($Identidade_{ÁRV}$), distância de plantio entre árvores e cultivos vizinhos ($Dist_{ÁRV}$), taxa de crescimento relativo das árvores ($RGR_{ÁRV}$).

Resposta	Preditores	DF _{NUM}	DF _{DEN}	F
Cres _{ABS} em altura (m ano ⁻¹)	Identidade _{VIZ}	11	90	67,3***
	Modocres _{VIZ}	2	99	55,8**
	Identidade _{ÁRV}	7	99	6,6**
	Identidade _{ÁRV} × Modocres _{VIZ}	14	99	8,1**
	Dist _{ÁRV}	1	107	213,2**
	Identidade _{ÁRV}	7	107	17,8**
	Identidade _{ÁRV} × Dist _{ÁRV}	7	107	46,6**
	Modocres _{VIZ}	1	96	0,1
	RGR _{ÁRV}	2	96	21,7***
	RGR _{ÁRV} × Modocres _{VIZ}	2	96	4,3**
	Dist _{ÁRV}	1	100	64,8***

Valores de F seguidos de *, **, *** denotam diferenças significativas de p ao nível de 0,05; 0,01; 0,001, respectivamente. Estatísticas resumidas para cada termo significativo ($p < 0,05$): Graus de liberdade do enumerador (DF_{NUM}), do denominador (DF_{DEN}), valor F (F) e a probabilidade por permutações (p). Subscritos (_{ÁRV}) e (_{VIZ}) se referem à árvore e aos vizinhos da mesma subparcela, respectivamente.

O crescimento dos cultivos vizinhos ($Cres_{ABS}$) diferiu entre espécies de vizinhos ($p < 0,001$) independente dos atributos funcionais

das árvores que foram testados. Ou seja, as espécies de cultivos vizinhos cresceram, algumas mais do que outras, mas o crescimento foi independente dos atributos funcionais arbóreos. Os vizinhos que tiveram maior crescimento absoluto foram as herbáceas cana de açúcar e o arbusto feijão guandú, diferente do arbusto sálvia e as herbáceas batata doce, colocásia e abacaxi que apresentaram menor crescimento independente (figura 18).

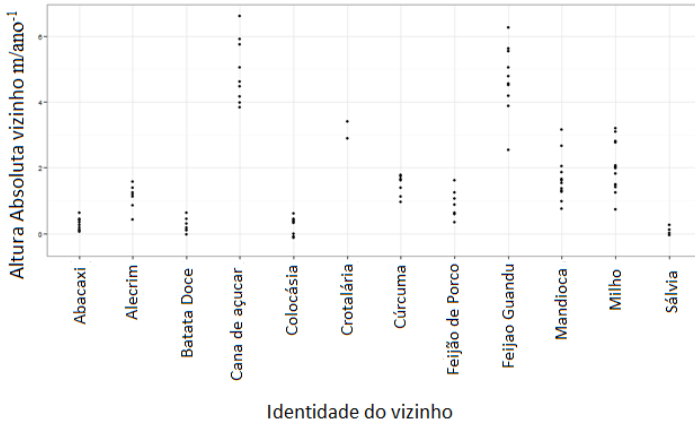


Figura 18 - Altura absoluta dos vizinhos ($m \cdot ano^{-1}$) em função da Identidade do vizinho. Significância de p e outras estatísticas na tabela 5.

Os atributos funcionais dos vizinhos não explicaram o seu próprio crescimento. Dependendo da identidade arbórea adjacente o tipo funcional forma de crescimento ($p < 0,001$) e o método de plantio de distância entre árvores e vizinhos ($p < 0,001$) explicam parte da variabilidade de crescimento.

Em média as herbáceas eretas cresceram mais que arbustos e herbáceas basais quando plantadas com as espécies arbóreas amora, caqui, pitanga e tangerina. Quando foram plantadas com acerola, ingá e limão não houve diferença de crescimento entre as herbáceas eretas e os arbustos. Com a espécie arbórea goiaba não houve diferença em nenhum dos hábitos de crescimento. As herbáceas basais em geral tiveram menor crescimento. Mesmo assim quando plantadas com acerola e goiaba apresentam melhor desempenho (figura 19) mas quando plantadas com as outras seis espécies arbóreas tiveram o pior desempenho entre as três formas de crescimento. Já os arbustos apresentaram um bom crescimento em geral algumas vezes próximo aos resultados das

herbáceas eretas e o melhor resultado foi com as espécies arbóreas amora, caqui e tangerina (figura 19).

Na distância de plantio, em interação com a identidade da espécie arbórea apresentou maior crescimento dos cultivos quando plantados mais próximos (30 cm e 45 cm) de acerola, amora, goiaba e limão. Os vizinhos plantados mais distantes das demais árvores tiveram um menor crescimento (figura 20). Portanto a hipótese foi confirmada especialmente pelas variáveis: tipo funcional, forma de crescimento do vizinho e pelo método de plantio de distância entre vizinho e árvore.

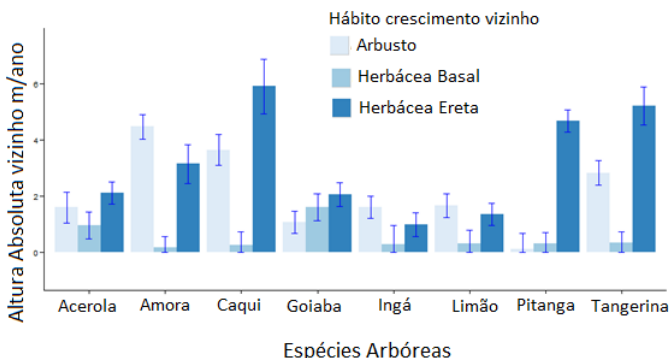


Figura 19 - Altura absoluta vizinhos ($m \cdot ano^{-1}$) em função da Identidade arbórea (espécies arbóreas) e hábito de crescimento dos vizinhos (Arbusto, herbácea basal e herbácea ereta). Significância de p e outras estatísticas na tabela 5.

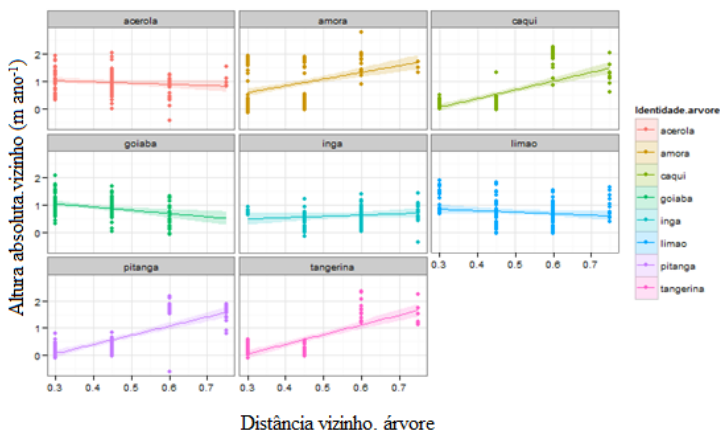


Figura 20 - Altura absoluta dos vizinhos ($m \cdot ano^{-1}$) em função da Identidade arbórea (espécie) e distância de plantio entre árvores e cultivos vizinhos (Distância vizinho.árvore). Significância de p e outras estatísticas na tabela 5.

O crescimento das árvores afetou o crescimento do vizinho, dependendo da forma de crescimento destes vizinhos ($p < 0,05$). Os arbustos e as herbáceas basais foram favorecidos, já as herbáceas eretas foram afetadas negativamente com o crescimento das árvores adjacentes (figura 21).

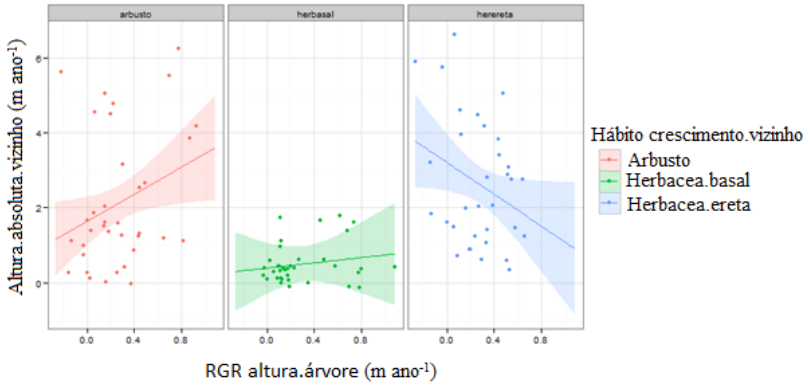


Figura 21 - Altura absoluta dos vizinhos (m.ano-1) em função da Taxa de crescimento relativo em altura da árvore ($RGR_{altura.árvore}(m.ano-1)$) e Hábito de crescimento do vizinho (Herbácea basal, herbácea ereta e arbusto). Significância de p e outras estatísticas na tabela 5.

O método de plantio de distância entre árvores e vizinhos teve um efeito principal ($p < 0,0001$) para responder se o crescimento dos vizinhos era suprimido pelo crescimento arbóreo. No geral os vizinhos cresceram mais quando plantados mais distantes das árvores (60 cm), ou foram menos suprimidos, do que os plantados mais próximos (30 cm e 45cm) (figura 22).

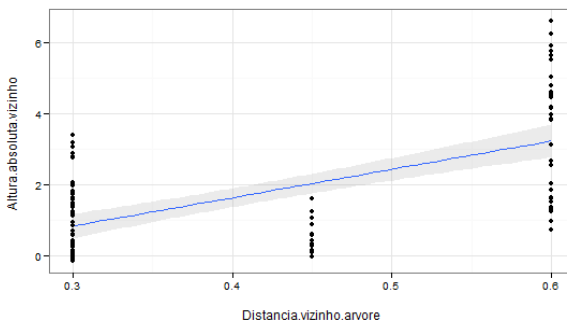


Figura 22 – Altura absoluta dos vizinhos (m.ano-1) em função da Distância de plantio entre árvores e cultivos vizinhos. Significância de p e outras estatísticas na tabela 5.

5. DISCUSSÃO

5.1 CRESCIMENTO DAS ESPÉCIES ARBÓREAS

O objetivo deste trabalho era encontrar atributos/tipos funcionais para explicar a variabilidade de crescimento das espécies arbóreas utilizadas nesse experimento, mas foram a identidade arbórea, identidade dos vizinhos, crescimento em altura absoluta dos vizinhos, longevidade arbórea e o método de plantio distância mínima entre vizinhos e árvores que explicaram parte dessa variabilidade.

A grande variabilidade no crescimento das árvores, que foi explicada pelo fator identidade arbórea independente de outros fatores já era esperada, pois cada espécie tem suas próprias características que as tornam capazes de se desenvolver. Uriarte et al., (2010) descreve que efeitos finos da identidade das espécies alvo são facilmente perceptíveis sobre seu próprio crescimento.

A longevidade arbórea apresentou efeito significativo para o desenvolvimento das árvores. As espécies de curta vida desempenharam melhor sobre o crescimento em altura e incremento de volume do tronco em relação às espécies de longa vida quando correlacionadas com o N foliar arbóreo. Mas para o atributo nitrogênio foliar arbóreo deve ser considerado apenas como leve tendência, devido ao pequeno número de dados de N foliar encontrado da literatura para as espécies arbóreas desse estudo. A longevidade das árvores dependendo do N foliar mostra que as árvores de curta vida o N foliar pode ser positivamente correlacionado com seu crescimento em altura e DAB, o mesmo não ocorre com árvores de média vida. Talvez ao fazer a análise laboratorial de N foliar com as espécies desse experimento, seja possível confirmar essa tendência sobre os resultados. As espécies de longevidade curta vida tiveram maior crescimento em altura e DAB (amora, goiaba e ingá) do que as espécies de média vida (caqui e acerola, limão e pitanga). A longevidade também apresentou efeito quando relacionada com o método de plantio distância mínima entre árvores e vizinhos. Quanto mais distante foi o plantio dos vizinhos (60 cm) mais as árvores de curta vida cresceram em volume e para as árvore de média vida parece que as distâncias tiveram um efeito negativo sobre o crescimento volumétrico delas.

Martínez-Garza et.al, 2003 concluiu que em sistemas em início de restauração pode haver uma forte presença inicial de espécies de curta vida pelos atributos que essas espécies apresentam, chamados de

“deserto de pioneiras”. O conjunto de características desse tipo de planta são alta taxa de crescimento em altura e diâmetro do tronco, altura máxima e atributos foliares que conferem grande capacidade de competição e explicam o melhor desempenho dessas espécies.

No método de plantio da distância mínima entre árvores e cultivos vizinhos, cada espécie de vizinho foi plantada num espaçamento fixo, uma distância ótima recomendada pela literatura dependendo da cultura, em todo o experimento. Isso impossibilita separar o efeito da espécie de vizinho do efeito de sua distância até a árvore. A distância mínima teve efeito no crescimento das árvores quando em interação com o crescimento em altura dos vizinhos. Os cultivos plantados mais próximos das árvores (30 cm) apresentaram um leve efeito negativo sobre o crescimento volumétrico destas, enquanto que o crescimento dos vizinhos plantados mais distantes (45 e 60 cm) não apresentou efeito. Isso pode ser porque houve uma competição por nutrientes e luz e as árvores investiram energia em crescer em altura maior do que os cultivos próximos a si antes de desenvolver o crescimento do tronco.

A Longevidade também explicou parte do crescimento em altura das árvores dependendo da identidade de vizinho com que estas árvores eram plantadas. As árvores de curta vida cresceram mais na presença de cultivos vizinhos colocásia, crotalária e feijão guandú. As árvores de média vida cresceram menos na presença de qualquer cultivo vizinho sendo as maiores alturas foram na presença dos vizinhos batata doce, feijão de porco e milho.

Como único fator no modelo, a longevidade teve efeito principal sobre o crescimento absoluto do DAB das árvores, onde a maioria das árvores de curta vida cresceu mais em DAB do que as árvores de média vida.

Muitos estudos buscam analisar quais características podem prever maior sucesso de estabelecimento e crescimento de espécies em plantios heterogêneos para compor uma restauração florestal. Gomes-Aparício (2009) avaliaram os efeitos de cultivos vizinhos (arbustos e herbáceas) sobre árvores, em uma meta análise de 165 estudos, para quantificar diferenças generalizáveis de efeitos de diferentes tipos funcionais de vizinho sobre o crescimento de árvores em uma restauração florestal de árvores não alimentícias.

A forma de crescimento de cultivos vizinhos (arbustos, herbáceas basal e ereta) não apresentou resultado significativo para explicar algum tipo de influência negativa (competição por exemplo) no crescimento das espécies arbóreas, diferente do que Gómez-Aparicio

(2009) encontrou em sua pesquisa, que relata que há efeito positivo (facilitação) dos arbustos sobre espécies de árvores. Apesar de não haver resultados significativos da forma de crescimento dos vizinhos sobre o crescimento das árvores, os resultados da longevidade em interação com a identidade dos cultivos vizinhos mostra que colocásia, crotalária, batata doce, feijão de porco e milho, que são todos herbáceas (basais e eretas) não prejudicaram o crescimento em altura de árvores de curta ou média vida. Independente da longevidade as espécies apresentaram um bom crescimento na presença desses vizinhos e do arbusto feijão guandu. Pode-se inferir a partir desse resultado que as herbáceas, identificadas a partir da identidade dos vizinhos, foram boas companheiras para o crescimento em altura das árvores.

Callaway et al., (2002) analisaram o crescimento e sobrevivência de plantas em 11 montanhas ao redor do mundo, de 800m a 3.600m de altitude. Fizeram um estudo sobre facilitação e competição e ao analisar se o gradiente de estresse (vento, temperatura e perturbações do solo) após a retirada da vegetação vizinha, promove interações positivas entre plantas alpinas, encontraram que a instabilidade ambiental pode limitar o crescimento das plantas mais do que a disponibilidade de recursos em altas altitudes, e são menos limitantes ao crescimento destas em baixas altitudes. Mas, os mesmos autores acreditam que a presença de cultivos vizinhos é mais positiva para o crescimento das plantas do que competitivo por recurso pelos mesmos vizinhos.

As plantas apresentam geralmente comportamento ecológico parecido em uma floresta madura, enquanto que durante o seu estabelecimento, as espécies apresentam uma gama de padrões para alocação de recursos quando expostas a diferentes condições de luz, alocando biomassa preferencialmente para a parte da planta especializada na obtenção do recurso que mais limita o crescimento durante o estágio de plântula (POORTER et.al, 2000; SALDAÑA-ACOSTA et.al, 2009).

Geralmente são encontrados efeitos negativos nas relações entre árvores e seus vizinhos, e a intensidade desse efeito pode ser aumentada por filtros ambientais, principalmente quando ocorrem estresses ambientais (URIARTE et al., 2010). A partir do ambiente físico, as diferentes espécies que compõem um desenho agroflorestal, especialmente em áreas degradadas, podem ter características ecológicas de desenvolvimento parecidas, ou seja, pode haver um filtro ambiental na época de adaptação das espécies no campo. A área experimental desse estudo, possui os blocos em disposições diferentes em relação a luz do

sol. Os blocos recebem sol em diferentes horários do dia devido a declividade do terreno. Por isso, e por outros efeitos de bloco comuns em experimentos a campo, para todas as análises foi incluído o efeito de bloco para evitar que essas questões não interferissem nos resultados. Mas a incidência do sol sobre as espécies pode ser um fator importante sobre o seu desempenho.

O atributo nitrogênio foliar arbóreo (g/Kg) apresentou apenas leves tendências de efeito positivo sobre o crescimento das árvores, devido ao pequeno número de dados de N foliar encontrado da literatura para as espécies arbóreas desse estudo. A longevidade das árvores dependendo do N foliar mostra que em árvores de curta vida o N foliar pode ser positivamente correlacionado com seu crescimento em altura e DAB, o mesmo não ocorre com árvores de média vida. Mas é necessário ampliar a pesquisa na literatura para confirmar estes resultados. Como na literatura é difícil encontrar dados de N foliar para as mesmas condições do experimento em estudo (sem adubação, diversificado, somente frutíferas, alta declividade), ao fazer a análise laboratorial de N foliar com as espécies desse experimento, pode haver maiores chances de confirmar essa tendência sobre os resultados. As espécies de curta vida tiveram maior crescimento em altura e DAB (amora, goiaba e ingá) do que as espécies de média vida (caqui e acerola, limão e pitanga). Reich (2014) sintetizou muitas pesquisas sobre sinergias e *tradeoffs* de atributos funcionais vegetais de forma muito genérica. Ele concluiu que o gradiente econômico vegetal que ele chama de 'rápido-lento' integra atributos funcionais entre folhas, caules e raízes, e ajuda a explicar as estratégias ecológicas individuais, que no caso do nosso trabalho pode ser a escolha de cultivos melhor adaptados. Ajuda a explicar também a estruturação de comunidades que podemos adaptar para o manejo da composição de agroflorestas e ainda o explica o funcionamento dos ecossistemas que podemos considerar em como conservar recursos naturais e produzir benefícios socioeconômicos.

Em uma pesquisa que testou efeitos de diversidade de árvores do clima temperado, Tobner et al., (2016), mostraram que a identidade funcional (a média na comunidade de um atributo) pode ser muito importante para o crescimento inicial de árvores. O autor vincula os conceitos de seleção versus efeitos de complementaridade da biodiversidade, identidade versus diversidade funcional. Embora suas abordagens sejam de experimentação e análise robustas sobre os conceitos citados não há muita evidência de aplicação para agroflorestas e/ou agroecologia. Desta maneira este trabalho e outros dessa área experimental entram como suporte para essa lacuna.

Neste trabalho não foi realizada análise de sobrevivência das espécies arbóreas, no entanto a espécie arbórea aqui foi a que teve maior mortalidade (10 de 24 indivíduos morreram) e menor crescimento em altura. Há chance da espécie (decídua) ter que competir mais com os cultivos vizinhos e vegetação espontânea por nutrientes e luz, em relação às demais árvores ou especialmente porque não possui características capazes de adaptação se plantadas em locais mais altos (500m altitude).

5.2 RELAÇÃO ALTURA-DIÂMETRO ARBÓREO

A relação Altura-Diâmetro das árvores foi melhor explicado pela identidade arbórea e longevidade das árvores no sistema. As espécies arbóreas com mais relação Altura-Diâmetro foram na maioria as de curta vida (goiaba, amora, pitanga) e apenas uma espécie de média vida (limão). Estas espécies apresentaram maior crescimento em altura do que em volume do tronco. Isso pode ser porque são espécies que tem características de desenvolver altura mais rapidamente, como o comportamento das pioneiras, para depois utilizar dos recursos e reservas nutricionais para aumentar a espessura do tronco. Os cultivos vizinhos colocásia, cúrcuma, feijão guandu e milho promoveram maior relação Altura-Diâmetro das árvores de curta vida, ultrapassando 3,5m/ano de altura. Já as árvores de média vida apresentaram menor relação Altura-Diâmetro, e somente na presença do vizinho batata doce atingiram um máximo de 1,7m/ano.

Por outro lado, as árvores plantadas com feijão guandu, cana de açúcar e mandioca demonstraram menor eficiência para a resposta de incremento de volume, e a biomassa da planta e o diâmetro do tronco são medidas diretamente correlacionadas com o crescimento (PAINE et al., 2015). A presença de vizinhos sugere uma competição por luz, e a espécie arbórea direcionou suas reservas para buscar a luz que era o recurso limitante para a espécie, e somente depois desenvolver crescimento em diâmetro.

Paine et al., (2015) testaram 3 atributos para determinar o poder de predição global de atributos funcionais sobre o crescimento juvenil de espécies arbóreas, e curiosamente encontraram uma forte consistência entre área foliar específica, densidade do lenho e tamanho da semente, porém o poder de explicação das taxas de crescimento foi pequeno, principalmente quando analisados subconjuntos geográficos mais homogêneos, árvores juvenis de maior estatura, de taxa de crescimento maiores ou dados coletados localmente.

5.3 CRESCIMENTO DOS CULTIVOS VIZINHOS

Os fatores que explicaram o crescimento em altura dos cultivos vizinhos foram identidade do vizinho, identidade da árvore, o tipo funcional forma de crescimento dos vizinhos e método de distância de plantio. Não houve atributos funcionais (arbóreos ou de vizinhos) capazes de explicar o crescimento dos vizinhos. Assim como as árvores, a variabilidade de crescimento dos cultivos mostra que eles foram capazes de crescer a partir de suas próprias características (identidade da espécie).

Devido a capacidade de competição das plantas herbáceas, era esperado encontrar alguns efeitos negativos destas sobre o crescimento em altura, mas algumas herbáceas (milho e crotalária) tiveram baixo índice de germinação e conseqüentemente menor número de indivíduos nas subparcelas para receber efeito das árvores adjacentes.

A identidade arbórea em interação com a forma de crescimento dos vizinhos explica parte da variabilidade de crescimento. Cultivos herbáceos eretos quando estavam plantados com determinadas árvores (amora, caqui, pitanga e tangerina) cresceram mais do que as outras duas formas de crescimento (herbácea basal e arbusto). Pode ser devido ao plantio das herbáceas eretas de rápido crescimento (cana de açúcar e crotalária) com estas espécies arbóreas, em relação a arbustos (sálvia) e herbácea basais (abacaxi e colocásia) de lento crescimento.

Gómez-Aparício (2009) realizou uma meta-análise, para quantificar as diferenças generalizáveis dos efeitos de diferentes tipos funcionais de vizinhos sobre crescimento e sobrevivência de árvores em ecossistemas degradados, para a sua recuperação. Encontrou efeitos de competição entre árvores e cultivos herbáceos como vizinhos, e facilitação entre árvores e arbustos, sobre o crescimento das espécies arbóreas. Neste trabalho não houve diferença no crescimento em altura dos vizinhos herbáceos eretos e arbustos quando foram plantadas com algumas árvores (ingá, limão e acerola), não indicando competição, mas estes vizinhos podem ser melhor analisados em SAFs iniciais, pois o objetivo é buscar espécies que colaborem com o desenvolvimento de ambas, promovendo a complementaridade.

Recursos naturais como disponibilidade de água, luz, nutrientes e espaço são requeridos por muitas espécies vegetais, especialmente em fases de estabelecimentos nos sistemas de plantio, isso pode ocasionar a competição entre as espécies. Apesar dos arbustos terem apresentado um crescimento inferior em relação às herbáceas, tiveram um bom

desempenho no geral, mas em especial com as árvores amora, caqui e tangerina. Já as herbáceas basais foram as que menor cresceram em altura com qualquer espécie arbórea. Como houve pouca de chuva durante o período de avaliação desse experimento, esse pode ter sido um recurso natural limitante para um melhor desenvolvimento dos cultivos. Gómez-Aparício (2009) apresenta os arbustos como plantas que facilitam o crescimento de árvores. É possível que estes efeitos de facilitação encontrados por Gómez-Aparício (2009), sejam encontrados em SAFs para produção de alimentos.

A interação da identidade arbórea com a distância de plantio entre árvores e cultivos, teve efeito significativo para explicar o crescimento dos vizinhos. Quando algumas árvores (acerola, amora, goiaba e limão) estavam plantadas mais próximas dos vizinhos, a altura destes foi maior. Mesmo plantamos muito próximo das arbóreas algumas espécies de vizinhos que são boas competidoras, conseguiu se desenvolver bem com a presença de outra espécie que também requer os mesmos recursos. Era esperado que os vizinhos plantados mais distantes crescessem mais, mas isso não aconteceu quando relacionados com a identidade arbórea. Entretanto, a distância de plantio teve um efeito principal, como fator único no modelo, sobre os crescimento dos vizinhos. No geral os vizinhos foram menos suprimidos, quando estavam mais distantes das árvores (60 cm). O desenvolvimento das espécies de cultivos vizinhos quando plantadas com algumas árvores mais competitivas, tende a ser melhor quanto mais distante estiver da árvore.

Callaway et al., (2002), citados anteriormente pelo seu estudo do crescimento e sobrevivência de plantas alpinas, concluíram também que as plantas podem ter efeitos positivos umas sobre as outras. Por exemplo, o acúmulo de nutrientes, fornecimento de sombra, resistência a distúrbios, proteção contra herbivoria, etc. , por algumas espécies, pode melhorar o desempenho de espécies vizinhas. Assim, a noção de que as distribuições e abundâncias de espécies de plantas são independentes de outras espécies pode ser inadequada para compreender o benefício da diversidade de plantas. Portanto, é importante analisar a identidade das espécies para estabelecer a distância e densidade de plantio entre elas, pois em SAFs isso pode determinar um bom crescimento, baixa mortalidade, complementaridade entre as espécies e evitar uso de insumos e mão de obra na fase de estabelecimento. A escolha das distâncias e densidades pode evitar que as plantas espontâneas dominem o espaço a ser cultivado competindo com as espécies por recursos naturais.

A taxa de crescimento relativo das árvores em interação com a forma de crescimento dos vizinhos afetou o crescimento dos cultivos vizinhos. Houve favorecimento por parte da altura das árvores sobre arbustos e herbáceas basais e efeito negativo para as herbáceas eretas. Isso demonstra que as herbáceas eretas competiram com as árvores por recursos, e o crescimento das árvores pode ter impedido a entrada de luz para estas. Já as herbáceas basais conseguiram se desenvolver em altura de maneira positiva, mesmo em um sistema de recuperação inicial. Em algumas subparcelas o arbusto feijão guandú, já estava estabelecido e foi podado a 0,5cm para acompanhar o crescimento das demais espécies de cultivos vizinhos. Porém, o fato de fá ter um sistema radicular desenvolvido e aceitar bem a poda, pode ter favorecido o crescimento dessa espécie de arbusto, isso merece ser considerado nesses resultados.

5.4 LIMITAÇÕES METODOLÓGICAS

O uso de atributos funcionais apresentou algumas limitações. Neste estudo alguns atributos não puderam ser utilizados nas análises estatísticas, devido a não atenderem o gradiente de número mínimo adotado para diferentes valores de atributo/tipo funcional de cada espécie dentro de cada nível dos fatores.

O efeito do N-foliar tanto dos cultivos vizinhos como das espécies arbóreas não pôde ser avaliado. Não foram realizadas análises laboratoriais das folhas neste trabalho, houve busca na literatura de dados de N foliar, porém o número de dados foi insuficiente para incluir nas análises as espécies que fazem parte deste trabalho. Não há na literatura dados que correspondam exatamente às mesmas condições desse experimento, portanto foram considerados os valores mais próximos da realidade do trabalho, o que gerou um número variado de valores a serem considerados. Para algumas espécies alimentícias como a cana de açúcar, por exemplo, foi fácil encontrar muitos dados, mas para aquelas que são adubos verdes como feijão de porco ou feijão guandu e para as que são consideradas medicinais como sálvia e alecrim, é ainda mais difícil encontrar estudos sobre o N foliar. Uma alternativa seria coletar as folhas das espécies da área experimental em questão e analisar a quantidade de N foliar para obter resultados sobre os crescimentos de árvores e vizinhos. Para as espécies arbóreas tivemos a mesma dificuldade de encontrar dados suficientes para serem analisados.

A forma de propagação foi outro fator não utilizado. Caracterizado por muda das espécies de vizinhos que já continham parte aérea ao serem levadas ao campo e como semente todas aquelas que foram plantadas abaixo do solo, enquadra-se aqui rizomas, tubérculos e sementes. Propomos para futuras pesquisas separar pela caracterização específica de rizoma, tubérculo, estaca ou semente para que seja possível atender ao número mínimo de dados para cada espécie.

De maneira igual as espécies foram divididas em fixadoras de Nitrogênio pelas raízes ou não fixadoras, e a sua história de vida como anuais ou perenes. Também não foi possível utilizar estas variáveis, pois há muito mais espécies de vizinhos não fixadores de nitrogênio e muitas anuais, não havendo um equilíbrio e por isso entra no mesmo problema de número mínimo igual a três para permanecer nos modelos. Decidimos isso para evitar concluirmos um erro grave de resultados falsos positivos (Erro tipo I).

Essas lacunas ficam como sugestão para futuros trabalhos a serem realizados nesse SAF.

A representação gráfica dos modelos indica uma grande variabilidade que não foi explicada pelos atributos/tipos funcionais testados. Especulamos que pode haver outras respostas entre os atributos/tipos funcionais acima citados e o crescimento arbóreo, que podem justificar o porquê de neste trabalho a identidade arbórea ter definido os modelos mais parcimoniosos. Por isso propusemos o ajuste dos modelos de crescimento a partir de regressão múltipla comparando sempre a resposta com apenas uma interação de preditores, excluindo os fatores não significativos e encontrando o modelo parcimonioso.

Apesar disso, essas constatações não invalidam a pesquisa, apenas exigiram cautela na interpretação dos resultados, devido ao gradiente de valores dos atributos/tipos funcionais não ser bem representado pelo conjunto de espécies em cada tratamento. Mas, avaliar um experimento controlado, que testou o desempenho das espécies num escala temporal é positivo para contribuir com conhecimentos científicos sobre as espécies que o compõem, e que são pouco estudadas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral os atributos funcionais testados não apresentaram efeitos significativos para permitir uma interpretação generalizável sobre sinergias entre tipos funcionais de cultivos, que sejam os mais prováveis de proporcionar um estabelecimento exitoso de SAFs em condições ambientais adversas com baixo uso de insumos externos. Alguns atributos funcionais podem ser recomendados, pois foram capazes de explicar o crescimento, como as características das árvores (longevidade arbórea) e dos cultivos vizinhos (forma de crescimento). A distância de plantio entre árvores e cultivos vizinhos também foi uma das principais variáveis explicativas do crescimento das árvores no sistema. Porém, a identidade das espécies (árvores e vizinhos) foi o preditor que, em termos estatísticos comparando com diferentes modelos com a mesma resposta, melhor explicou o crescimento. Isso provavelmente sugere que os atributos funcionais testados neste trabalho não foram os mais indicados para as combinações de espécies e condições ambientais do experimento.

A proposta a partir desta pesquisa é escolher atributos e/ou tipos funcionais que melhor expliquem os mecanismos ecofisiológicos influentes na competição e facilitação entre árvores e plantas arbustivas ou herbáceas adjacentes. Por exemplo, sugiro que em futuras pesquisas seja analisado o potencial explicativo de N foliar, espécies fixadoras ou não fixadoras de nitrogênio, tipo de germoplasma utilizado para plantio no sistema, com um maior número de espécies, de modo que o gradiente de valores desses atributos seja melhor representado.

Mas, também para agricultores a recomendação é a escolha de espécies de vizinhos das árvores, entre aquelas que têm maior capacidade de competição com as plantas espontâneas e têm rápido crescimento, e que neste estudo não demonstraram competir com as árvores por recursos como é o caso da cana de açúcar, feijão guandu, feijão de porco, cúrcuma, mandioca. Em geral as herbáceas eretas e os alguns arbustos testados nesse experimento podem ser recomendados como bons companheiros de árvores em SAFs.

Foi possível observar que a presença dos cultivos vizinhos colaborou muito para a cobertura viva do solo, mas especialmente aqueles cultivos que foram plantados em alta densidade ou aqueles que têm capacidade de ocupar todo o espaço de subparcela com poucos indivíduos, como exemplo dos arbustos. Quanto mais indivíduos havia dentro de cada subparcela, menor foi a presença de espontâneas, durante o manejo de limpeza de subparcela. Sem a presença de vizinhos

cultivados as espontâneas também poderiam ter um bom ou até maior resultado de grau de cobertura do solo, mas talvez não seriam boas companheiras das árvores por competir mais por recursos do que vizinhos cultivados.

As distâncias de plantio merecem cuidado de planejamento, pois apesar de terem sido encontrados resultados de efeitos positivos em interação com a longevidade arbórea, dependendo do cultivo vizinho algumas árvores tendem a ter uma relação Altura-Diâmetro maior do que outras, e os vizinhos cresceram mais quando foram plantados mais distantes das árvores mais competitivas por recursos. Portanto a densidade de plantio dos vizinhos deve ser pensada de maneira a ocupar todo o espaço no entorno da árvore para limitar o desenvolvimento de plantas espontâneas, ou seja, a alta densidade de plantio desse experimento se mostrou eficaz para o estabelecimento de SAFs.

Pode-se concluir que escolher os grupos de vizinhos adaptados à região de cultivo, com características similares, de fácil reconhecimento por agricultores (herbáceos e arbustos) e plantá-los a distâncias de 30 cm e 45cm das árvores, mas que estes vizinhos resistam a podas durante o seu ciclo, pode gerar um efeito de complementaridade e beneficiar tanto o desenvolvimento dos cultivos (arbóreos e vizinhos) quanto diminuir mão de obra do agricultor.

APÊNDICE A – Detalhamento das espécies arbóreas e cultivos vizinhos, nº de propágulos por ponto de plantio, distância do alvo, nº de propágulos por ponto de plantio e profundidade de plantio por subparcela (planilha 2).

Nome comum	Nº de pontos de plantio/subparcela	Distância em cm	Propágulos/pontos de plantio	Profundidade de plantio/cm
Amora	1	Plantadas no ponto central das subparcelas	1	Substrato ao nível do solo
Ingá				
Limão				
Tangerina				
Goiaba				
Pitanga				
Caqui				
Acerola	6	3 x 60 3 x 75	8	3
Feijão guandu		3 x 60 3 x 75	2	5
Mandioca	6	3 x 60 3 x 75	2	5
Alecrim	24	6 x 30 8 x 45 10 x 60	1	substrato ao nível do solo
Sálvia	20	4 x 30 6 x 45 10 x 60	1	substrato ao nível do solo
Crotalária	24	6 x 30 8 x 45 10 x 60	6	2
Feijão de porco	8	4 x 45 4 x 60	3	4
Cana de açúcar	6	2 x 60 4 x 75	2	5
Milho	16	4 x 30 4 x 45 8 x 60	10	3
Taro	13	4 x 30 4 x 45 5 x 60	2	5
Batata doce	8	4 x 45 4 x 60	2	5
Abacaxi	8	4 x 30 4 x 45 8 x 60	1	5
Cúrcuma	8	4 x 30 6 x 45 8 x 60	2	substrato ao nível do solo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BARALOTO, C. et al. Using functional traits and phylogenetic trees to examine the assembly of tropical tree communities. **Journal of Ecology**, v. 100, n. 3, p. 690–701, 2012.
- BATES, D. et al. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. **Journal of Statistical Software**, v. 67(1), p. 1–48, 2015.
- BHAGWAT, S. A. et al. Agroforestry: a refuge for tropical biodiversity? **Trends in Ecology and Evolution**, v. 23, n. 5, p. 261–267, 2008.
- CADOTTE, M. W.; CARSCADDEN, K.; MIROTCNICK, N. Beyond species: Functional diversity and the maintenance of ecological processes and services. **Journal of Applied Ecology**, v. 48, n. 5, p. 1079–1087, 2011.
- CALLAWAY, R. M. et al. Positive interactions among alpine plants increase with stress. **Nature**, v. 417, n. June, p. 844–848, 2002.
- CASTRO-DÍEZ, P. Functional traits analyses: Scaling-up from species to community level. **Plant and Soil**, v. 357, n. 1, p. 9–12, 2012.
- CORNELISSEN, J. H. C. et al. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 51, n. 4, p. 335–380, 2003.
- CORNELISSEN, J. H. C. et al. Functional traits of woody plants: correspondence of species rankings between field adults and laboratory-grown seedlings? **Journal of Vegetation Science**, v. 14, n. 3, p. 311–322, 2006.
- DIAZ, S. et al. The plant traits that drive ecosystems: Evidence from three continents. **Journal of Vegetation Science**, v. 15, n. 3, p. 295–304, 2004.
- DÍAZ, S. et al. Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. **Proceedings of the National Academy**

of Sciences of the United States of America, v. 104, n. 52, p. 20684–20689, 2007.

DONGWEN, L.; GANESH, S.; KOOLAARD, J. **Predictmeans: Calculate Predicted Means for Linear Models**. Disponível em: <<http://cran.r-project.org/package=predictmeans>>.

EHLERS, E. Agricultura Sustentável. Origens e perspectivas de um novo paradigma. **Livros da Terra, São Paulo.**, p. 178, 1996.

ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 152, p. 169–181, 2001.

EWEL, J. J.; MAZZARINO, M. J. Competition from below for light and nutrients shifts productivity among tropical species. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, n. 48, p. 18836–41, 2008.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, n. 7369, p. 337–342, 2011.

GARCIA, D. A. et al. precoce na raça Nelore. p. 675–682, 2012.

GARNIER, E.; NAVAS, M. L. **A trait-based approach to comparative functional plant ecology: Concepts, methods and applications for agroecology. A review**. [s.l: s.n.]. v. 32

GÓMEZ-APARICIO, L. The role of plant interactions in the restoration of degraded ecosystems: A meta-analysis across life-forms and ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 97, n. 6, p. 1202–1214, 2009.

GOMIERO, T.; PIMENTEL, D.; PAOLETTI, M. G. Environmental Impact of Different Agricultural Management Practices: Conventional vs. Organic Agriculture. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v. 30, n. 1-2, p. 95–124, 2011.

JOSE, S. et al. **Toward Agroforestry Design**. [s.l: s.n.]. v. 4

KELTY, M. J. The role of species mixtures in plantation forestry. **Forest Ecology and Management**, v. 233, n. 2-3, p. 195–204, 2006.

KLEIN, R.M.; PASTORE, U.; COURA NETO, A. B. Vegetação. In: Atlas de Santa Catarina. Santa Catarina. Florianópolis: Gabinete do planejamento e Coordenação Geral de Santa Catarina, 1986, p.35-36.

LAGANIERE, J.; ANGERS, D.; PARE, D. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. **Global Change Biology**, v. 16, p. 439–453, 2010.

LAVOREL, S.; GARNIER, E. Predicting changes in community composition and ecosystem functioning from plant traits: revisiting the Holy Grail. **Functional Ecology**, v. 16, n. Essay Review, p. 545–556, 2002.

MALÉZIEUX, E. Designing cropping systems from nature. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 15–29, 2012.

MALEZIEUX, E. , Y. CROZAT, C. DUPRAZ, M. LAURANS, D. MAKOWSKI, H. O.-L.; B. RAPIDEL, S. DE TOURDONNET, M. V.-M. ET. AL. Review article Mixing plant species in cropping systems : concepts , tools and models . A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 29, n. 1, p. 43–62, 2009.

MARTÍNEZ-GARZA, C.; BONGERS, F.; POORTER, L. Are functional traits good predictors of species performance in restoration plantings in tropical abandoned pastures? **Forest Ecology and Management**, v. 303, p. 35–45, 2013.

MARTÍNEZ-GARZA, C.; HOWE, H. F. Restoring tropical diversity: Beating the time tax on species loss. **Journal of Applied Ecology**, v. 40, n. 3, p. 423–429, 2003.

MCGILL, B. J. et al. Rebuilding community ecology from functional traits. **Trends in ecology & evolution (Personal edition)**, v. 21, n. 4, p. 178–85, 2006.

OLIVEIRA, C. J. F. J.; CABREIRA, P. P. Sistemas Agroflorestais : potencial econômico da biodiversidade vegetal a partir do conhecimento tradicional ou local. **Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil)**, v. 7, n. 1, p. 212–224, 2012.

PAINE, C. E. T. et al. Globally, functional traits are weak predictors of juvenile tree growth, and we do not know why. **Journal of Ecology**, v. 103, n. 4, p. 978–989, 2015.

PÉREZ-HARGUINDEGUY, N. et al. New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**, v. 61, n. 3, p. 167–234, 2013.

PICASSO, V. D. et al. Crop Species Diversity Affects Productivity and Weed Suppression in Perennial Polycultures under Two Management Strategies.pdf. **Crop Science**, v. 48, p. 331 – 342, 2008.

POORTER, H.; NAGEL, O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review (vol 27, pg 595, 2000). **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 27, n. 12, p. 1191, 2000.

REICH, P. B. The world-wide “ fast – slow ” plant economics spectrum : a traits manifesto. **Journal of Ecology**, v. 102, p. 275–301, 2014.

RODRIGUES, E. R. et al. O uso do sistema agroflorestal Taungya na restauração de reservas legais: indicadores econômicos. **Floresta**, v. 38, n. 3, p. 517–525, 2008.

SALDAÑA-ACOSTA, A.; MEAVE, J. A.; SÁNCHEZ-VELÁSQUEZ, L. R. Seedling biomass allocation and vital rates of cloud forest tree species: Responses to light in shade house conditions. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 7, p. 1650–1659, 2009.

SANDERSON, M. A. et al. Diversification and ecosystem services for conservation agriculture: Outcomes from pastures and integrated crop–livestock systems. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 28, n. 02, p. 129–144, 2013.

SIMINSKI, A.; MANTOVANI, M.; REIS, M. S.; FANTINI, A. C. Sucessão Florestal Secundária no município de São Pedro de Alcântara, litoral de Santa Catarina: estrutura e diversidade. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 14, p. 21–33, 2004.

SIQUEIRA, A. P. P. DE; SIQUEIRA, M. F. B. DE. Bokashi Adubo Orgânico Fermentado. **Programa Rio Rural**, v. 40, n. 1983-5671, p. 16, 2013.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671–677, 2002.

TOBNER, C. M. et al. Functional identity is the main driver of diversity effects in young tree communities. **Ecology Letters**, p. 1–10, 2016.

URIARTE, M. et al. Trait similarity, shared ancestry and the structure of neighbourhood interactions in a subtropical wet forest: implications for community assembly. **Ecology Letters**, v. 13, n. 12, p. 1503–1514, 2010.

VANDERMEER, J.; PERFECTO, I. The Agricultural Matrix and a Future Paradigm for Conservation. **Conservation Biology**, v. 21, n. 1, p. 274–277, 2007.

VIOLE, C. et al. Let the concept of trait be functional! **Oikos**, v. 116, n. 5, p. 882–892, 2007.