

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais - CFT

**PLANTIO DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS PARA ENRIQUECIMENTO
DE CAPOEIRAS E RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS
DA AMAZÔNIA**

MARCO AURÉLIO DE CARVALHO SILVA

Manaus, Amazonas
2011

MARCO AURÉLIO DE CARVALHO SILVA

**PLANTIO DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS PARA ENRIQUECIMENTO DE
CAPOEIRAS E RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS DEGRADADAS DA
AMAZÔNIA**

Orientador: Dr. Luiz Augusto Gomes de Souza

Fonte financiadora: Programa de Pesquisas Institucionais do INPA - PPI/INPA

Projeto 08/0294 - Programa de Coleções de Recursos Genéticos Vegetais

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.

Manaus, Amazonas

Maio/2011

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

DEFESA PÚBLICA DISSERTAÇÃO / PPG-CFT - INPA

Ata da Defesa Pública da Dissertação de Mestrado de MARCO AURÉLIO DE CARVALHO SILVA aluno (a) do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS, realizada no dia 17 de maio de 2011.

Aos 17 dias do mês de maio de 2011, às 09h00min, no Mini-auditório do Bosque da Ciência, Campus I-INPA-Aleixo, realizou-se a Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: "Plantio de leguminosas arbóreas para enriquecimento de capoeiras e recuperação de pastagens degradadas da Amazônia", do(a) aluno(a) MARCO AURÉLIO DE CARVALHO SILVA, em conformidade com o Artigo 68 do Regimento Interno do PPG-CFT e Artigo 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCT-INPA) como parte final de seu trabalho para a obtenção do título de MESTRE EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS. A Banca Examinadora foi constituída pelos seguintes professores doutores: CHARLES ROLAND CLEMENT (INPA), ROBERVAL MONTEIRO BEZERRA DE LIMA (EMBRAPA) e SILAS GARCIA AQUINO DE SOUZA (EMBRAPA). O Presidente da Banca Examinadora, Dr. Luiz Augusto Gomes de Souza (orientador-INPA), deu início à sessão convidando os senhores membros e o(a) Mestrando(a) a tomarem seus lugares e informou sobre os procedimentos a serem observados para o prosseguimento do exame. A palavra foi, então, facultada ao(à) Mestrando(a) que apresentou uma síntese do seu estudo e respondeu às perguntas formuladas pelos membros da Banca Examinadora. Depois da apresentação e argüição, a referida Banca Examinadora se reuniu e decidiu por *ben*

aprovar por unanimidade

A sessão foi encerrada às *11:00* e, para constar eu, Ana Clycia B. Lopes, Secretária do PPG-CFT lavrei a presente Ata, que depois de lida e aprovada foi assinada pelo Presidente e membros da Banca Examinadora. Em Manaus (AM), 17 de maio de 2011.

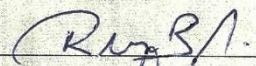
Banca Examinadora:

Prof. Dr. CHARLES ROLAND CLEMENT



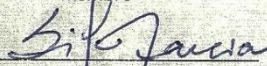
Membro

Prof. Dr. ROBERVAL MONTEIRO BEZERRA DE LIMA



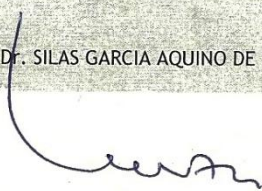
Membro

Prof. Dr. SILAS GARCIA AQUINO DE SOUZA



Membro

Prof. Dr. LUIZ AUGUSTO GOMES DE SOUZA
Presidente da Banca



Prof. Dr. JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO GONÇALVES
Coordenador
Programa Ciências de Florestas Tropicais



Ficha Catalográfica

S586 Silva, Marco Aurélio de Carvalho

Plantio de leguminosas arbóreas para enriquecimento de capoeiras e recuperação de pastagens degradadas da Amazônia / Marco Aurélio de Carvalho. --- Manaus : [s.n.], 2011.

x, 53 f. : il. (algumas color.)

Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais)--INPA, Manaus, 2011.

Orientadora: Dr. Luiz Augusto Gomes de Souza

Área de concentração: Manejo Florestal e Silvicultura

1.Reflorestamento – Áreas degradadas – Amazônia 2.Leguminosas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Sinopse:

Foi investigado a sobrevivência e o crescimento de quatro espécies arbóreas da família Fabaceae plantadas em uma pastagem degradada e no interior de uma capoeira formada após o abandono de um plantio de cupuaçu. Foram comparados três níveis de fertilização do solo. Na capoeira, também foi avaliado o efeito da variação de luz no crescimento das espécies.

Palavras-chave: Fertilização, plantio, luz, crescimento, leguminosas.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais e irmãos pelo apoio incondicional a todas as minhas escolhas;

Ao meu orientador pela paciência e comprometimento com a minha formação;

Ao Manoel, Adilson e Paulino pela ajuda fundamental para realização desse trabalho em toda sua execução e a todos estagiários do Laboratório de Microbiologia, especialmente a Vanessa e a Denise;

Ao Edvaldo, Orlando e Raimundo pela ajuda nas análises de solo;

Aos meus amigos do CFT pelas risadas e bons momentos que compartilhamos nessa empreitada;

A Camila, minha companheira em todos os momentos;

Ao Diego, Eduardo, Murilo, Ulisses e Camila pela amizade e pela satisfação em compartilhar a casa e tantos momentos agradáveis dentro e fora dela;

Ao Diego e Scott pelo empréstimo do aparelho para medir a luz;

A Livia por ter ajeitado a imagem da área de estudo;

A toda galera massa do INPA e do futebol que eu conheci nesse período;

A minha sobrinha Heloísa pela alegria e pelo carinho;

A Capes pela bolsa;

Ao INPA pela infraestrutura para realização desse trabalho;

A Universidade Federal do Amazonas pela área cedida para realização do experimento;

A Deus, sempre... e antes de qualquer coisa.

RESUMO

A recuperação de pastagens degradadas e o enriquecimento das capoeiras que se formam após o abandono da terra, é uma ferramenta importante para restabelecer sua produtividade, reduzindo a necessidade de novos desmatamentos. O sucesso dos projetos de reflorestamento depende da escolha correta das espécies, de acordo com a fertilidade do solo e a disponibilidade de luz, aspectos fundamentais no desenvolvimento das plantas. Neste trabalho, investigamos o estabelecimento inicial de *Hymenaea courbaril*, *Stryphnodendron microstachyum*, *Stryphnodendron guianense* e *Parkia platycephala* em pastagem degradada e em área de capoeira. A sobrevivência e o crescimento das espécies foram avaliados em três tratamentos de fertilização do solo: tratamento controle = sem adubação; adubação orgânica = composto bovino curtido; e adubação orgânica mais mineral = composto bovino curtido + P, K, Ca e micronutrientes. Na capoeira, foi também avaliado o efeito de pequenas variações de luz no crescimento das espécies. O plantio foi realizado em blocos casualizados e monitorado por 12 meses. A sobrevivência das quatro espécies foi maior na capoeira do que na pastagem, sendo a diferença significativa ($p < 0,01$) para *S. guianense* e *P. platycephala*. Na pastagem, *H. courbaril*, *S. guianense* e *P. platycephala* tiveram área de cobertura maior ($p < 0,05$) e apenas *P. platycephala* não foi influenciada pelos tratamentos de fertilização. Apenas *S. guianense* teve crescimento em altura semelhante entre os ambientes, as demais espécies cresceram melhor ($p < 0,05$) na pastagem do que na capoeira. O crescimento de *S. microstachyum* em altura foi diferenciado nos três níveis de fertilização ($p < 0,05$). Para *S. guianense* e *P. platycephala*, a adubação orgânica promoveu resultado semelhante a adubação orgânica mais mineral e foi superior ao controle ($p < 0,05$). As variações na disponibilidade de luz no sub-bosque foram capazes de alterar significativamente o efeito dos tratamentos de fertilização no crescimento de *Parkia platycephala* e *Hymenaea courbaril*, enquanto que o crescimento de *Stryphnodendron guianense* e *Stryphnodendron microstachyum* não foi afetado pelas diferenças de luz do sub-bosque da capoeira. Concluímos que a adubação orgânica é uma tecnologia promissora em plantios na Amazônia produzindo, em alguns casos, resultados semelhantes a adubação mineral. Para os parâmetros avaliados, as quatro espécies parecem promissoras na recuperação de pastagens, especialmente *P. platycephala*, enquanto que na capoeira, apenas *S. guianense* talvez tenha potencial, dependendo das taxas de incremento futuras. Quanto ao efeito da variação de luz no sub-bosque, concluímos que a simples aleatorização dos tratamentos, não é suficiente para assegurar condições semelhantes de luz nos plantios em blocos no interior de capoeiras, e que para espécies que respondem a pequenas variações na oferta de luz, é necessário medir e remover o seu efeito para correta interpretação das respostas das plantas aos tratamentos.

Palavras-chave: Fertilização, Luz, Crescimento de plantas.

ABSTRACT

The recuperation of degraded lands and enrichment planting on secondary forests formed after land abandonment is an important tool to restore his productivity, reducing needs of new deforestations. The sucess of reforestation projects depends of right choice of species, in accordance with soil fertility and light availability, fundamental aspects in plant development. Here, we investigated the initial establishment of *Hymenaea courbaril*, *Stryphnodendron microstachyum*, *Stryphnodendron guianense* e *Parkia platycephala* in degraded pasture and secondary forest area. The survival and growth of species were evaluated in three soil fertilization treatments: control = without fertilization; organic fertilization = cattle manure; organic fertilization plus mineral fertilization = cattle manure + P, K, Ca and micronutrients. In secondary forest, we evaluated too the effect of small light variations on species growth. The planting was done in ramdomized blocks and monitored for 12 months. All species survived better on secondary forest than in pasture, but was significantly just to *S. guianense* and *P. platycephala* ($p < 0,01$). The crown area was greater ($p < 0,05$) in pasture for *P. platycephala* *H. courbaril*, e *S. guianense* and except *P. platycephala*, the other species had the crown area determined to fertilization treatments ($p < 0,05$). Just *S. guianense* had the hight growth equal in both environments, whereas the other species growth better ($p < 0,05$) in the pasture than in secondary forest. The growth of *S. microstachyum* improved in growing fertilization levels ($p < 0,05$). For *S. guianense* and *P. platycephala*, the organic fertilization promoted results equal to organic more mineral fertilization and was superior than control ($p < 0,05$). The variations in light availability on understory were able to distort significantly the effect of fertilization treatments on growth of *Parkia platycephala* and *Hymenaea courbaril*, while the growth of *Stryphnodendron guianense* and *Stryphnodendron microstachyum* were not affected by light regime in understory. We concluded that organic fertilization is a important technology for planting in Amazonia, some times producing results equal to mineral fertilization. To evaluated parameters, all four species are promising in pasture recuperation, especially, *P. platycephala*, while in secondary forest, the planting of *S. guianense* can to be viable, according to future growth rates. Whatever the effect of light variation in understory of secondary forest, just the ramdomization of the treatments is not enought to ensure equal conditions of light in planting realized in block design inside the secondary forests, and, for species more sensitive to small variation of light, is extremely need to measure and remove his effect for a correct interpretation of plant responses to treatments.

Key-words: Fertilization, Light, Plant growth.

LISTA DE FIGURAS

Capítulo I: Estabelecimento inicial de leguminosas arbóreas plantadas em pastagem degradada e capoeira da Amazônia Central.

Figura 1. Localização do plantio experimental de quatro leguminosas arbóreas em relação à Manaus.....15

Figura 2. Croqui da área do bloco com a representação dos tratamentos...18

Figura 3. Representação das dimensões da parcela e a disposição das plantas em seu interior.....19

Figura 4. Incremento em altura de quatro espécies de Fabaceae em diferentes ambientes e diferentes níveis de fertilização, 12 meses após o plantio em Manaus-AM. Para barras a esquerda: P = pastagem, C = capoeira. Para barras a direita: C = controle, O = adubação orgânica, O+M = adubação orgânica mais mineral. Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.....24

Capítulo II. Efeito da variação de luz no sub-bosque na interpretação do crescimento de quatro espécies arbóreas plantadas em uma capoeira na Amazônia Central

Figura 1. Médias de luz incidente em quatro espécies de leguminosas plantadas em blocos casualizados em uma capoeira sob três tratamentos de fertilização do solo.....38

Figura 2. Diferenças de incremento em altura atribuído a fertilização do solo em duas análises diferentes: ANOVA e ANCOVA. Para a ANCOVA, a % de luz foi utilizada como covariável. Dentro das barras, C = controle; O = adubação orgânica e O + M = adubação orgânica mais mineral. Médias seguidas por letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.....39

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	10
OBJETIVO GERAL.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11

Capítulo I: Estabelecimento inicial de leguminosas arbóreas plantadas em pastagem degradada e capoeira da Amazônia Central.

Introdução.....	13
Materiais e métodos.....	14
Resultados.....	20
Discussão.....	25
Conclusão.....	31

Capítulo II. Efeito da variação de luz no sub-bosque na interpretação do crescimento de quatro espécies arbóreas plantadas em uma capoeira na Amazônia Central.

Introdução.....	33
Materiais e métodos.....	35
Resultados.....	37
Discussão.....	39
Conclusão.....	42

CONCLUSÃO GERAL	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil está entre os cinco países de maior extensão de florestas do mundo abrangendo 13 % das áreas florestais, sendo o primeiro em área de floresta tropical (FAO 2011). A conversão de florestas em áreas agrícolas é a principal causa da perda de florestas tropicais e diante desse quadro ações que reduzam a necessidade de desmatar novas áreas são importantes para garantir alguma sustentabilidade aos sistemas produtivos (Davidson et al. 2007).

Entre as iniciativas capazes de reduzir a pressão por novos desmatamentos, a recuperação de áreas já degradadas e o enriquecimento de capoeiras com espécies de múltiplo uso constituem uma boa alternativa, já que de outro modo esses produtos seriam obtidos pela exploração de florestas primárias (Keefe et al. 2009; Piotto et al. 2010). Infelizmente, recuperar áreas degradadas após o abandono da agricultura e enriquecer capoeiras para torná-las novamente produtivas requer a superação de algumas dificuldades inerentes as florestas tropicais de todo o mundo e peculiaridades de cada região (Parrota et al. 1997; Rodrigues et al. 2009).

As dificuldades comuns às florestas tropicais quanto a recuperação de áreas degradadas estão relacionadas a baixa fertilidade natural dos solos (Alfaia et al. 2008), acidez, níveis tóxicos de alumínio (Tilki e Fisher 1998) e erosão (Carpenter et al. 2004), problemas que geralmente se agravam após a derrubada da floresta quando o solo deixa de receber os nutrientes presentes nas folhas e galhos que se acumulavam pelo chão (Craswell e Lefroy 2001; Costa et al. 2004). Na Amazônia Central, as dificuldades locais geralmente estão associadas ao desconhecimento de espécies nativas que reúnem as qualidades desejadas em plantios como: sobrevivência elevada, altas taxas de crescimento, baixa susceptibilidade ao ataque de formigas e outras pragas (Breugel et al. 2010; Park et al. 2010), tolerância a seca (Jurado et al. 2006), e que produzam produtos ou serviços para os proprietários (Daudin e Sierra 2008).

Além das dificuldades já citadas, o crescimento de plantas no sub-bosque é limitado pela baixa disponibilidade de luz. Apesar dessa questão estar bem consolidada para a regeneração natural em diferentes florestas tropicais (Van Der Meer et al. 1998; Hubbell et al. 1999; Ruger et al. 2009), pouco se sabe sobre como a variação de luz no

sub-bosque atua no crescimento de plantas em plantios de enriquecimento (Bebber et al. 2002).

Para encontrar as espécies mais promissoras são necessários ensaios experimentais com diferentes espécies, onde se avalia o seu desempenho em resposta a diferentes sistemas de implantação. Dentre a alta diversidade de espécies arbóreas, espécies da família Fabaceae frequentemente são avaliadas porque a capacidade de fixação biológica do nitrogênio confere a algumas espécies a possibilidade de melhorar a fertilidade do solo (Siddique et al. 2008), que é uma das maiores dificuldades em plantios de recuperação. Além disso, muitas espécies possuem madeira de qualidade (Angelo e Santos 2001), têm uso medicinal (Tilki e Fisher 1998) e portanto, também podem ser exploradas em sistemas agroflorestais (Nichols et al. 2001; Siddique et al. 2008).

OBJETIVO GERAL: Avaliar o estabelecimento de quatro espécies de Fabaceae em pastagem degradada e capoeira.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Caracterizar as propriedades químicas e a textura do solo das áreas de estudo (Capítulo I);
- 2) Avaliar a sobrevivência e o crescimento das espécies em resposta a níveis crescentes de fertilização do solo (Capítulo I);
- 3) Comparar o desempenho das espécies na pastagem e na capoeira (Capítulo I);
- 4) Avaliar se a luz interfere na interpretação da resposta das plantas aos tratamentos de fertilização (Capítulo II).

Capítulo1

Silva, M.A.C & Souza, L.A.G. Estabelecimento inicial de leguminosas arbóreas plantadas em pastagem degradada e capoeira da Amazônia Central. Formatado de acordo com as normas da revista Acta Amazonica.

Introdução

As capoeiras que se formam naturalmente após o abandono da agricultura e pecuária são ecossistemas simplificados, com baixa diversidade, e dominados por espécies com poucas possibilidades de uso, se comparado a cobertura florestal original (Parrota *et al.* 1997; Harvey *et al.* 2011), aumentando a pressão pelo desmatamento de novas áreas. Nas propriedades rurais, enriquecer as capoeiras com espécies de múltiplo uso, capazes de recuperar a fertilidade do solo, fornecer madeira, frutos, óleos, forragem para animais, é uma forma de atribuir algum uso a essas terras e reduzir a necessidade de novos desmatamentos (Keefe *et al.* 2009).

O plantio de espécies arbóreas é a tecnologia comumente empregada com a finalidade de recuperação (Rodrigues *et al.* 2009). O sucesso de plantios em pastagens degradadas, geralmente dependem do uso de espécies capazes de crescer e se desenvolver em solos pobres e tóxicos em alumínio (Muller *et al.* 2004; Alfaia *et al.* 2008), muitas vezes erodidos (Carpenter *et al.* 2004a) e dominados por gramíneas invasoras (Siddique *et al.* 2008). Estes plantios podem ser realizados com diferentes objetivos como: aumentar o sequestro de carbono para mitigação das mudanças climáticas (Silver *et al.* 2000), restabelecer a cobertura florestal (Lamb *et al.* 2005; Benayas *et al.* 2009), aumentar a conectividade em paisagens rurais (Harvey *et al.* 2008), restaurar a alta diversidade perdida pela degradação florestal (Rodrigues *et al.* 2009) e estabelecer sistemas agrosilvopastoris e agroflorestais (Plath *et al.* 2011).

Independentemente da finalidade do plantio florestal, o primeiro passo é identificar quais as espécies mais promissoras para o objetivo pretendido (Hooper *et al.* 2002; Breugel *et al.* 2011). Para atender a crescente demanda por espécies nativas, muitos plantios experimentais na região tropical foram estabelecidos com o objetivo de

selecionar as espécies mais promissoras (Wishnie *et al.* 2007; Breugel *et al.* 2011; Hooper *et al.* 2002; Park *et al.* 2010). Nestes plantios, representantes da família Fabaceae frequentemente são avaliados porque a capacidade de fixação biológica do nitrogênio da maioria das espécies deste grupo, conferem a elas a possibilidade de melhorar a fertilidade do solo (Siddique *et al.* 2008), que é uma das maiores dificuldades em plantios de recuperação. Além disso, muitas espécies de Fabaceae possuem madeira de qualidade (Angelo e Santos 2001), têm uso medicinal (Tilki e Fisher 1998) e, portanto, também podem ser exploradas em sistemas agroflorestais (Daudin e Sierra 2008; Siddique *et al.* 2008).

As práticas de reflorestamento na região amazônica devem buscar alternativas adaptadas as condições edafo-climáticas locais. Dentre elas, o uso de leguminosas capazes de melhorar a fertilidade do solo e a utilização de insumos mais baratos, acessíveis e de fácil aplicação que representem aumento na sobrevivência e crescimento das espécies de interesse, e conseqüente sucesso de diferentes modalidades de plantio.

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o estabelecimento inicial de quatro espécies arbóreas de Fabaceae em pastagem degradada e capoeira, submetidas a diferentes níveis de adubação do solo na Amazônia Central.

Materiais e métodos

Área de estudo

Este trabalho foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas, localizada no Km 41 da rodovia BR 174, nas coordenadas 02^o39'19,7" S 60^o03'29,7" W (Figura 1).

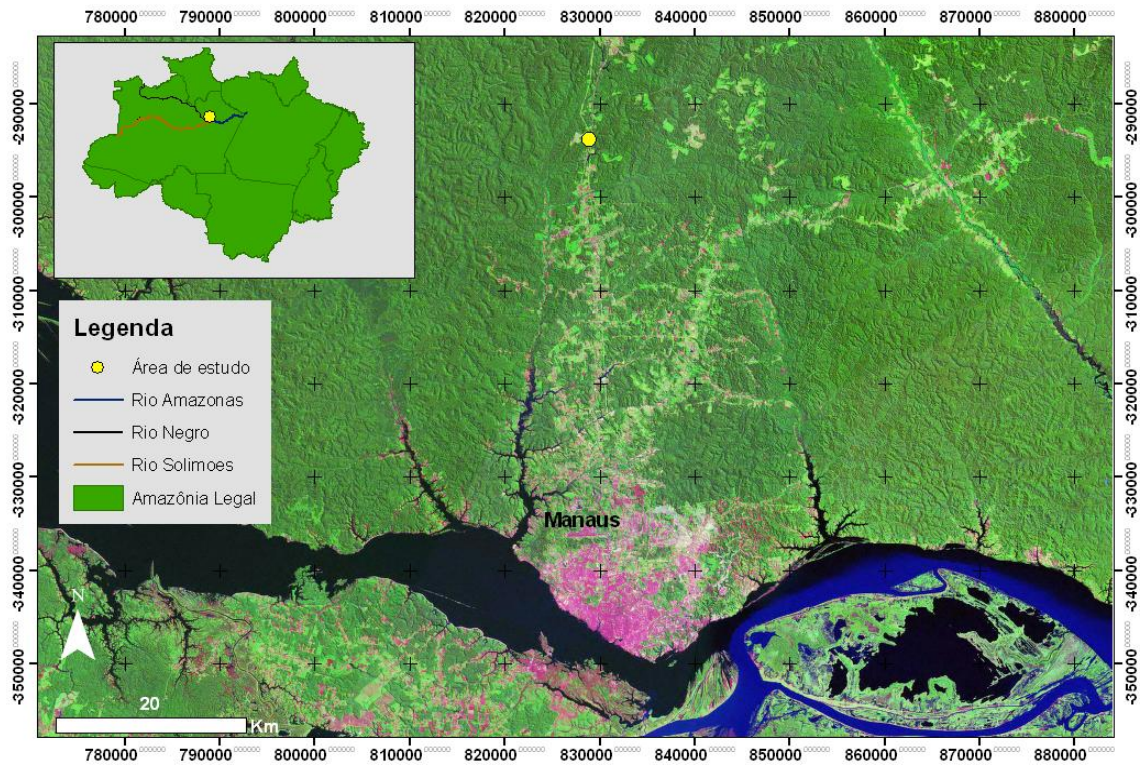


Figura 1. Localização do plantio experimental de quatro leguminosas arbóreas em relação à Manaus.

A Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas foi parcialmente convertida em pastagem em 1987 para pesquisas com gado leiteiro, e posteriormente colonizada por espécies invasoras. Um trecho dessa pastagem degradada foi escolhido para receber o plantio de quatro espécies de leguminosas arbóreas, e outra parte do plantio foi realizado em uma área de capoeira adjacente a pastagem, que se desenvolveu após o abandono de um plantio experimental de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) em 1997. Atualmente, a capoeira possui dossel de aproximadamente 15 metros, com baixa diversidade de espécies (tabela 1). O solo da área é classificado como Latossolo Amarelo Distrófico textura muito argilosa.

Tabela 1. Espécies da regeneração natural de uma pastagem degradada e área de capoeira na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas, AM.

Nome científico	Família	Ocorrência
<u>Pastagem</u>		
<i>Davilla kunthii</i> St. Hi	Dilleniaceae	Ocasional
<i>Vismia japurensis</i> Reich	Clusiaceae	Ocasional
<i>Solanum crinitum</i> Lam	Solanaceae	Rara
<i>Borreria verticillata</i> (L.) G.Mey	Rubiaceae	Comum
<i>Chelonanthus alatus</i> (Aubl.) Pulle	Gentianaceae	Rara
<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (Rich) Vahl.	Verbenaceae	Rara
<i>Rolandra fruticosa</i> Rott	Asteraceae	Dominante
<i>Clidemia rubra</i> (Aubl.) Mart	Melastomataceae	Comum
<i>Miconia alata</i> (Aubl.) Dc.	Melastomataceae	Ocasional
<i>Andropogon leucostachyus</i> Kunth.	Poaceae	Comum
<i>Homolepis aturensis</i> (Hbk) Chase	Poaceae	Dominante
<i>Mimosa polystachya</i> L.	Mimosaceae	Ocasional
<u>Capoeira</u>		
<i>Palicouria</i> SP	Rubiaceae	Rara
<i>Diploptropis purpurea</i> (Rich.)	Fabaceae	Ocasional
<i>Vismia japurensis</i> Reich	Clusiaceae	Ocasional
<i>Abarema</i> SP	Mimosaceae	Comum
<i>Enterolobium schomburgkii</i> Benth.	Mimosaceae	Comum
<i>Inga</i> SP	Mimosaceae	Ocasional
<i>Piper</i> SP	Piperaceae	Ocasional
<i>Lantana</i> SP	Verbenaceae	Rara
<i>Davilla kunthii</i> St.Hi	Dilleniaceae	Dominante
<i>Bellucia grossularioides</i> L.	Melastomataceae	Dominante
<i>Cecropia</i> sp	Cecropiaceae	Dominante

Antes do plantio, o sub-bosque da capoeira foi desbastado com terçado, enquanto que na pastagem a área foi cercada para impedir o acesso do gado e feito um coroamento de 50 cm de raio no entorno das mudas. Ao longo do período de acompanhamento das plantas, nenhuma intervenção foi feita na pastagem ou na capoeira, a fim de simular as adversidades impostas às plantas em condições reais de plantios de recuperação de pastagens degradadas e de enriquecimento de capoeiras.

Seleção de espécies e produção de mudas

Na escolha das espécies para o plantio experimental, foram analisados os seguintes fatores: resultados de ensaios preliminares, múltiplo uso em pequenas propriedades para diferentes fins, tais como madeira, forragem para o gado e melhoria da fertilidade do solo, e consulta a resultados de outras pesquisas em literatura especializada.

Foram selecionadas quatro espécies de leguminosas arbóreas para o plantio experimental: fava de bolota (*Parkia platycephala* Benth.), faveira camuzé (*Stryphnodendron guianensis* (Aubl.) Benth.), faveira da várzea (*Stryphnodendron microstachyum* Poep.), todas da subfamília Mimosoideae, e, jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Caesalpinioideae. As sementes de fava de bolota, faveira camuzé e jatobá foram coletadas em matrizes cultivadas na Estação Experimental de Fruticultura Tropical do INPA e as sementes de faveira da várzea foram procedentes de uma área de várzea do município de Autazes, AM.

O germoplasma obtido destas matrizes estava preservado no Banco de Sementes do Laboratório de Microbiologia do Solo – LMS-INPA. Em função da habilidade nodulífera das espécies de *Stryphnodendron*, na fase de formação das mudas estas foram inoculadas com um coquetel de quatro estirpes de rizóbio da Coleção de Rizóbios do LMS-INPA (985, 986, 987, 988). No preparo do inoculante, foi usado meio líquido para crescimento de rizóbios (YMA pH 6,0 – Vincent, 1970), mantido sob agitação mecânica por 10 dias antes da inoculação. Foram aplicados 5 ml de inoculante líquido na base do colo das mudas em formação. As mudas permaneceram em viveiro por 100 dias e foram plantadas na área de estudo em janeiro de 2010.

Tratamentos

Os tratamentos deste trabalho são o resultado da combinação de três níveis de fertilização do solo: controle, adubação orgânica e adubação orgânica acrescida de adubação mineral em área de pastagem e de capoeira. No tratamento controle, as espécies foram plantadas sem qualquer adição de nutrientes, tanto na pastagem como na capoeira. A adubação orgânica consistiu do acréscimo de 1,5 l de composto de gado curtido, depositado no fundo da cova. Para a adubação orgânica acrescida de adubação mineral, além de 1,5 l de composto bovino no fundo da cova, cada planta recebeu: 285 g de superfosfato triplo, 103 g de cloreto de potássio, 300 g de calcário dolomítico e 3g de micronutrientes (FTE) aplicados no entorno das mudas logo após o plantio. As quantidades utilizadas para a adubação mineral foram adaptadas de Cravo (1990), considerando a área útil de 6m² por planta, definida em função do espaçamento adotado.

Desenho experimental

O delineamento escolhido foi o de blocos casualizados (figura 2). Foram instalados três blocos na capoeira e três blocos na pastagem. Cada bloco foi composto por 12 parcelas, cada uma contendo uma repetição de cada tratamento. As parcelas receberam nove plantas, sendo três plantas por linha, em espaçamento 3 x 2 m (Figura 3). No plantio todo foram utilizadas 648 plantas, sendo 162 de cada espécie.

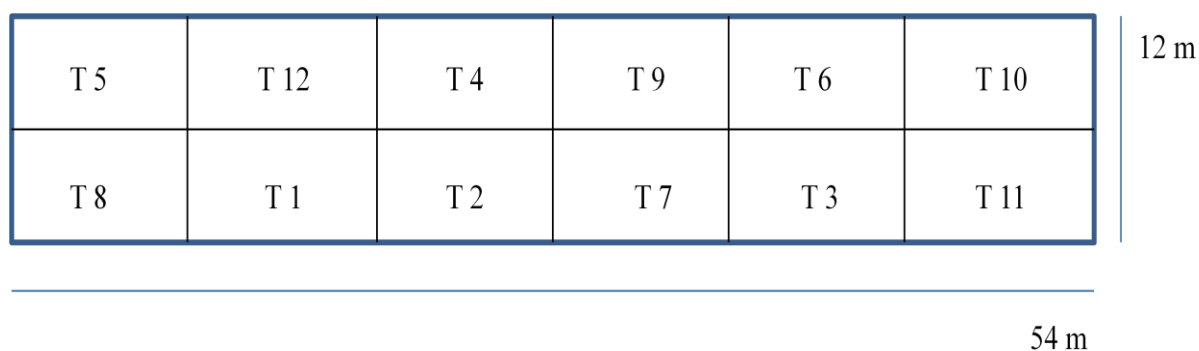


Figura 2. Croqui da área do bloco com a representação dos tratamentos.

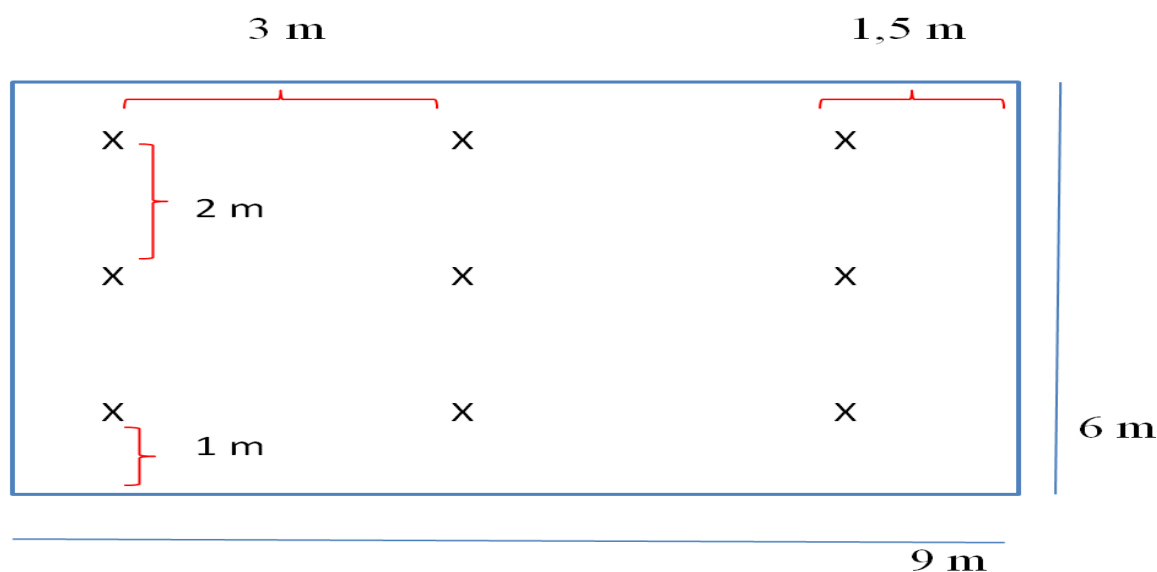


Figura 3. Representação das dimensões da parcela e a disposição das plantas em seu interior.

Coleta e análise do solo

Após a delimitação dos blocos e parcelas, foram coletadas três amostras de solo em cada bloco na profundidade 0 - 40 cm. Cada amostra foi composta por quatro sub-amostras, coletadas em pontos determinados por sorteio, para cada bloco separadamente. Depois de peneiradas e secas ao ar, as amostras foram analisadas no Laboratório Temático de Solos e Plantas – LTSP - do INPA, em Manaus-AM, de acordo com a metodologia proposta pela Embrapa (1997).

Avaliações

Após o plantio, a área de estudo foi visitada mensalmente durante 12 meses para monitoramento do incremento em altura e diâmetro das espécies nos diferentes tratamentos. A altura foi tomada do ponto de inserção da planta no solo até o meristema apical da planta, e o diâmetro foi medido na altura do solo. Duas coletas de área de cobertura foram realizadas, a primeira aos quatro, e a segunda aos dez meses do plantio. A área de cobertura foi calculada como a média entre o maior diâmetro de cobertura e a medida perpendicular a ela. Dados de sobrevivência e observações qualitativas sobre o estado das mudas também foram coletados. As análises dos dados foram realizadas no

software R (R Development Core Team 2007). As comparações das propriedades do solo entre a pastagem e a capoeira foram feitas com teste t. Para as variáveis de crescimento, foi feito uma ANOVA de dois fatores (ambiente e tratamentos de fertilização) para cada espécie.

Resultados

Correlação entre as variáveis

Após a coleta de dados, foi realizado teste de Correlação de Pearson entre as variáveis respostas (altura, diâmetro e área de cobertura). A área de cobertura não foi significativamente correlacionada com nenhuma das variáveis ($p > 0,05$). O coeficiente de correlação revelou forte relação entre a altura e o diâmetro ($r = 0,84$; $p < 0,01$), sendo assim, optamos por realizar as análises subsequentes utilizando apenas a variável altura para reduzir a chance de cometer erro do tipo 1. As variáveis: sobrevivência e área de cobertura também foram utilizadas.

Solo

O solo da área de plantio tem acidez e níveis elevados de Fe^{++} e Al^{+++} , com baixa disponibilidade de nutrientes (Tabela 2), o que caracteriza o perfil típico dos Latossolos Amarelos distróficos da região da Amazônia Central. Para as propriedades do solo analisadas, houve diferenças significativas entre o solo da capoeira e o solo da pastagem em relação ao pH e os teores de alumínio. Tanto na capoeira como na pastagem, as concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio, zinco e manganês foram baixas, o que dificulta o estabelecimento dos plantios e evidencia a degradação da fertilidade do solo. Não houve diferenças de textura entre o solo da capoeira e o solo da pastagem ($p > 0,05$). O solo da capoeira continha 70 % de argila, 16,3 % de silte e 13,6 % de areia, e o solo da pastagem era constituído por 73,1 % de argila, 13,9 % de silte e 12,9 % de areia.

Tabela 2. Teores de nutrientes, pH, alumínio e Carbono, em área de pastagem e capoeira da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM.

Ambiente	pH (H ₂ O)	Ca -----	Mg cmol _c kg ⁻¹	K -----	Al -----	P -----	Fe mg kg ⁻¹	Zn -----	Mn -----	C %
Pastagem	4,4	0,56	0,15	0,05	1,77	1,05	161,2	0,34	3,11	1,5
Capoeira	4,0	0,21	0,13	0,07	2,61	2,61	174,3	0,46	2,70	1,6
Teste t	5,35***	1,48 ^{ns}	0,28 ^{ns}	1,35 ^{ns}	4,15**	1,08 ^{ns}	0,64 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,44 ^{ns}

p<0,01; *p<0,001; ^{ns} não significativo.

Sobrevivência

Logo após o plantio foi observado o ataque de formigas cortadeiras na pastagem, sendo necessária a aplicação de veneno granulado para o controle das formigas. A maior incidência do ataque das formigas ocorreu em *S. guianense* e *P. platycephala* acarretando na morte de algumas plantas. *S. microstachyum* e *H. courbaril* foram pouco atingidas pelas formigas. As quatro espécies de estudo tiveram taxas de sobrevivência maiores na capoeira do que na pastagem, mas essa diferença só foi significativa para *S. guianense* e *P. platycephala* (Tabela 3). A sobrevivência de *H. courbaril* e *S. microstachyum* foi significativamente maior do que a sobrevivência de *S. guianense* e *P. platycephala* na pastagem, enquanto que na capoeira não houve diferenças significativas de sobrevivência entre as espécies. Os tratamentos de fertilização não tiveram efeito na sobrevivência em nenhum dos ambientes (p>0,05).

Tabela 3. Sobrevivência de quatro leguminosas arbóreas, após 12 meses do plantio em capoeira e pastagem da Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas, Manaus-AM.

Ambiente	<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	<i>Stryphnodendron guianense</i>	<i>Parkia platycephala</i>
Pastagem	91 Aa	88 Aa	65 Bb	63 Bb
Capoeira	94 Aa	94 Aa	92 Aa	87 Aa

Valores em (%). Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na coluna ou letras minúsculas diferentes na linha diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,01).

Área de cobertura

A área de cobertura fornece boas evidências para avaliar o grau de desenvolvimento das espécies após o plantio. Para as quatro espécies de estudo, a área de cobertura foi maior na pastagem do que na capoeira (Tabela 4), com diferenças significativas para *H. courbaril* ($p=0,01$), *S. guianense* ($p=0,04$) e *P. platycephala* ($p = 0,008$). Os tratamentos de fertilização promoveram alterações na área de cobertura de *H. courbaril* ($p = 0,003$), *S. microstachyum* ($p = 0,004$) e *S. guianense* ($p = 0,04$), enquanto que a área de cobertura de *P. platycephala* não foi influenciada pelos tratamentos de fertilização.

O efeito da fertilização na área de cobertura foi o mesmo para *H. courbaril* e *S. microstachyum*, onde apenas o tratamento de adubação orgânica mais mineral se diferenciou dos demais, enquanto que apenas a adubação orgânica em *S. guianense* foi suficiente para determinar ganhos em área em relação ao controle e similar aos indivíduos sob o tratamento com adubação orgânica mais mineral (Tabela 4). Em *H. courbaril* também houve interação entre os tratamentos de fertilização e os ambientes ($p = 0,006$).

Tabela 4. Incremento em área de cobertura (cm^2) em um período de seis meses para quatro espécies de Fabaceae, plantadas em capoeira e pastagem degradada sob três níveis de fertilização, no município de Manaus, AM.

	<i>Hymenaea courbaril</i>	<i>Stryphnodendron microstachyum</i>	<i>Stryphnodendron guianense</i>	<i>Parkia platycephala</i>
Ambiente				
Pastagem	28,6 ± 6,2 a	25,3 ± 7,4 a	46,5 ± 6,0 a	35,5 ± 10,4 a
Capoeira	6,1 ± 4,3 b	18,7 ± 8,8 a	26,8 ± 7,8 b	10,4 ± 6,7 b
Fertilização				
Controle	14,4 ± 4,1 b	12,6 ± 7,2 b	18,5 ± 3,5 b	13,4 ± 7,3 a
Orgânica	12 ± 3,7 b	21,8 ± 7,4 b	45,2 ± 4,8 a	26 ± 7,5 a
O + mineral	29,3 ± 5,2 a	30,6 ± 9,1 a	44,9 ± 5,3 a	33,8 ± 13,8 a

Médias seguidas por letras diferentes na mesma coluna e para a mesma categoria diferem significativamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Altura

O incremento em altura de *H. courbaril* após um ano do plantio foi significativamente diferente entre os ambientes ($p=0,03$), sendo maior na pastagem (Figura 4). Os tratamentos de fertilização não tiveram efeito no incremento, assim como a interação entre ambientes e fertilização.

As taxas de incremento em altura observadas para *S. microstachyum* tiveram forte relação com os tratamentos de fertilização ($p < 0,001$), respondendo positivamente a níveis crescentes de fertilização do solo (Figura 4). O incremento foi também influenciado pelo ambiente ($p = 0,03$), onde a pastagem foi o local de maior desenvolvimento em altura das plantas dessa espécie. Não houve interação entre ambientes e tratamentos de fertilização no incremento em altura das espécies estudadas.

O incremento em altura de *S. guianense* foi semelhante em ambos os ambientes ($p = 0,12$), mas foi diferenciado em relação aos diferentes níveis de fertilização do solo ($p < 0,001$), onde os indivíduos submetidos a adubação orgânica e orgânica mais mineral se destacaram em relação a altura das plantas no tratamento controle (Figura 4). Não houve interação do ambiente com os níveis de fertilização.

A taxa de incremento em altura de *P. platycephala* foi a mais influenciada pelos ambientes dentre as espécies avaliadas ($p = 0,0001$), sendo a pastagem o ambiente de maior incremento (Figura 4). Os tratamentos de fertilização também causaram mudanças nas taxas de incremento em altura ($p = 0,01$), nesse caso, o incremento dos indivíduos sob adubação orgânica e adubação orgânica mais mineral foram semelhantes e superiores ao tratamento controle (Figura 4). Não houve interação entre os tratamentos de fertilização e o ambiente.

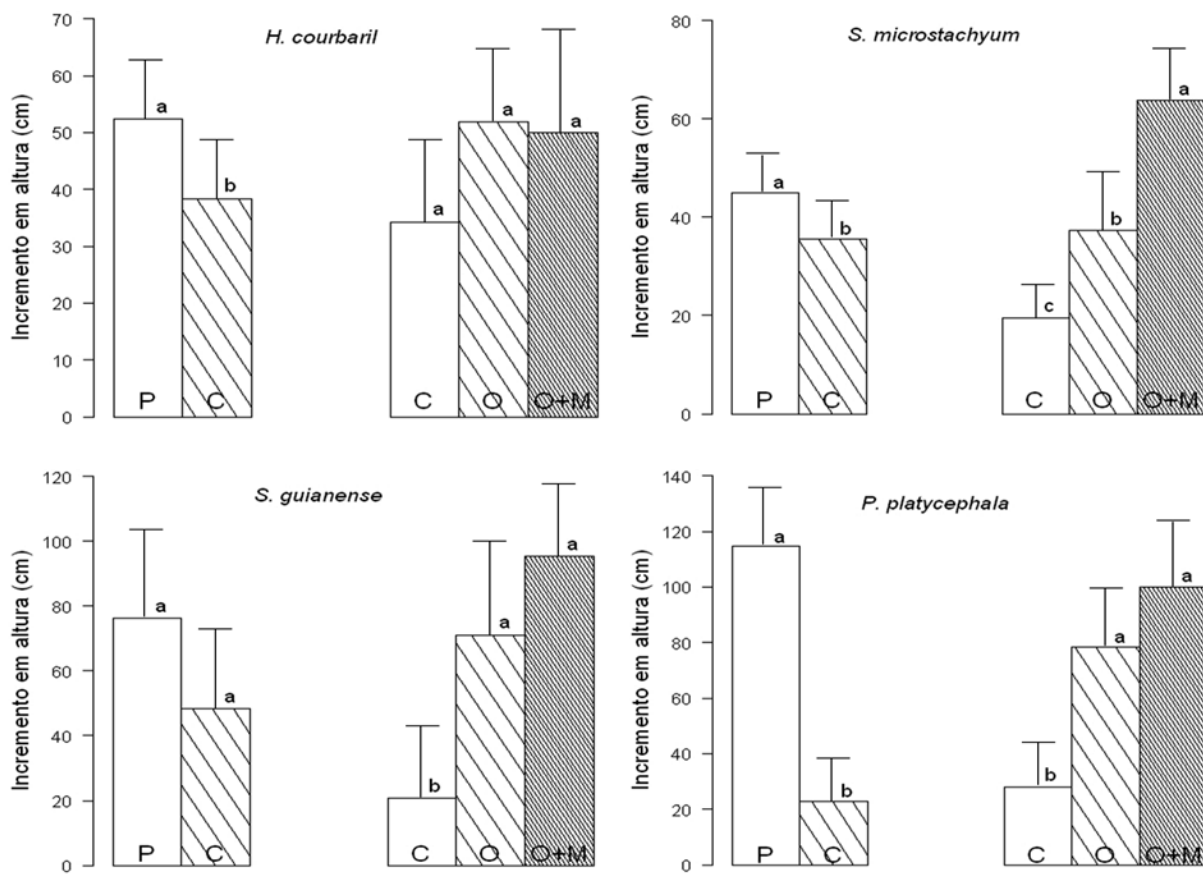


Figura 4. Incremento em altura de quatro espécies de Fabaceae em diferentes ambientes e diferentes níveis de fertilização, 12 meses após o plantio em Manaus-AM. Para barras a esquerda: P = pastagem, C = capoeira. Para barras a direita: C = controle, O = adubação orgânica, O+M = adubação orgânica mais mineral. Médias seguidas por letras diferentes diferem significativamente entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Discussão

Solo

Os teores de carbono no solo da pastagem e da capoeira foram semelhantes. A igualdade do conteúdo de C no solo já foi constatada anteriormente em estudos que investigaram a dinâmica do carbono no solo após a conversão de florestas em pastagens (Muller et al. 2004). Nossos resultados corroboram com estes trabalhos, embora haja casos em que o carbono no solo de pastagens é maior do que o encontrado em áreas de capoeira (Neill et al. 1998; Kirschbaum et al. 2008).

Para os nutrientes analisados não houve diferenças significativas entre os ambientes. Nessas circunstâncias, a acidez e os teores de alumínio significativamente menores verificados na pastagem representam uma pequena melhoria nas características do solo, o que pode ter favorecido o desenvolvimento das plantas na pastagem, onde o efeito negativo que a acidez e o alumínio exercem às plantas, particularmente, inibindo o crescimento de raízes (Guo et al. 2004; Boscolo et al. 2003) e dificultando o transporte de água pelo acúmulo de calose (Sivagum et al. 2000), pode ter sido menor.

Por outro lado, embora não tenha havido diferença significativa no teor de fósforo entre os ambientes, no solo da capoeira havia o dobro do fósforo da pastagem. Considerando que o fósforo é tido como o nutriente mais limitante para as plantas nos solos de terra firme da Amazônia (Fearnside 1998), e ainda, pela importância que ele pode assumir, principalmente durante os primeiros meses do desenvolvimento das plantas (Ndufa et al. 1999) e para a nodulação de leguminosas fixadoras de nitrogênio (Franco e Faria 1997), os indivíduos plantados na capoeira podem ter se beneficiado dessa maior oferta de fósforo, ainda que não significativa estatisticamente.

Sobrevivência

A sobrevivência na capoeira foi maior do que na pastagem para todas as espécies. Maiores taxas de sobrevivência na capoeira eram esperadas, e podem ser explicadas pelas condições climáticas mais estáveis neste ambiente do que na pastagem; com menores oscilações de temperatura e do teor de água no solo (Jurado et al. 2006),

características que adquirem maior importância no período de estiagem, quando foram observadas as maiores taxas de mortalidade na pastagem.

As diferenças nas taxas de sobrevivência entretanto, foram significativas para *S. guianense* e *P. platycephala*. O aumento da mortalidade em 35 % dessas espécies na pastagem, indica que por esse critério sua utilização na recuperação de pastagens degradadas pode ocasionar perdas significativas de plantas, principalmente em áreas com período de estiagem prolongado.

A sobrevivência de *P. platycephala* foi muito inferior aos 93 % encontrado por Carvalho (1989) no Piauí, onde foi considerada espécie tolerante a seca e bem adaptada a solos pobres em nutrientes com altos teores de alumínio. Tais atributos levaram a espécie a ser recomendada para plantios em sistemas agroflorestais e sistemas silvopastoris, nos estados do Piauí e Maranhão. Sendo assim, os danos provocados pelas formigas cortadeiras é a causa mais provável da baixa sobrevivência da espécie. Para *S. guianense*, não há informações disponíveis quanto à sobrevivência da espécie em pastagem, mas para áreas de capoeira, os 94 % encontrados por nós é similar aos 100 % de sobrevivência encontrado por Souza e Mendonça (1999), em estudo também realizado na Amazônia Central.

Para *H. courbaril* e *S. microstachyum*, o ambiente não influenciou na sobrevivência, que ficou em torno de 90% tanto na capoeira como na pastagem. A sobrevivência de *H. courbaril* na capoeira, 94 %, foi similar aos 87 % verificado na Amazônia Oriental (Carvalho 1998), e superior aos 72 % encontrado por Souza et al. (2010) e aos 68 % encontrado por Magalhães e Fernandes (1984). Por outro lado, a sobrevivência de 91 % de *H. courbaril* na pastagem foi menor no presente estudo do que o encontrado por Souza et al. (2010), onde 100 % das plantas sobreviveram. A sobrevivência de *S. microstachyum* na pastagem foi elevada, e semelhante a outros plantios que avaliaram essa espécie em outras regiões, embora haja relatos de mortalidade de 100 % em plantio homogêneo da espécie no Panamá, provocado por fungos (Piotto et al. 2003).

A sobrevivência das espécies na capoeira variou de 87 a 94 %. O bom resultado deve ser interpretado com cautela: apesar de ser um bom indicativo de que as quatro espécies toleram o sombreamento no início do desenvolvimento, condições de baixa luminosidade por período prolongado pode comprometer o crescimento (Davies 1998) e

tornar os indivíduos mais susceptíveis a doenças e ao ataque de herbívoros (Howe 1990). A avaliação continuada do plantio poderá confirmar, a tolerância destas espécies a baixa disponibilidade de luz, e se conseguem manter taxas de incremento e sobrevivência satisfatórias para plantios de enriquecimento.

Na pastagem, a sobrevivência das espécies variou de 63 % para *P. platycephala* até 91 % para *H. courbaril*. As espécies *S. microstachyum* e *H. courbaril* tiveram taxas de sobrevivência na pastagem comparável com a sobrevivência de espécies já indicadas para recuperação de áreas degradadas em florestas tropicais, como *Terminalia amazonia* 91 % (Nichols *et al.* 2001), *Inga edulis* 97 %, *Pithecelobium elegans* 97 %, *Dalbergia retusa* 95 % (Tilki e Fisher, 1998), *Diphysa robinoides* e *Albizia guachapele* (Wishnie *et al.* 2007).

Esperávamos que o aumento na disponibilidade de nutrientes proporcionado pelos tratamentos de fertilização do solo com adubo orgânico ou adubo orgânico mais adubo mineral, proporcionasse maior sobrevivência em relação às plantas do tratamento controle dada a escassez de nutrientes e elevada acidez reveladas pelas análises do solo, o que não se confirmou para nenhuma das espécies. Acreditamos que por se tratar de espécies nativas, as condições desfavoráveis do solo não são suficientes para provocar a morte das plantas, mas apenas alterar o ritmo de seu crescimento.

Área de cobertura

A forma da planta é um importante critério na seleção de espécies para compor plantios, sendo a forma desejada determinado pelo uso pretendido. Em função disso, muitos trabalhos quantificam essa variável do crescimento (Wishnie *et al.* 2007; Tilki e Fisher 1998). A área de cobertura de *S. microstachyum* não sofreu alteração em função do ambiente, apresentando sempre um caule retilíneo tanto na capoeira como na pastagem. Até mesmo nos indivíduos que tiveram o caule cortado pelas formigas no início do experimento, ao rebrotar, mantiveram o crescimento retilíneo do caule. Essa característica do *S. microstachyum* já foi verificada também em plantios experimentais na Costa Rica (Tilki e Fisher 1998).

Quanto ao efeito da fertilização, o acréscimo substancial da área de cobertura dos indivíduos de *S. microstachyum* que receberam adubação orgânica mais mineral é

indício de que a baixa disponibilidade de nutrientes no solo limita a expansão da copa desta espécie. Resposta semelhante à fertilização foi verificada para *H. courbaril*, porém para esta espécie houve também efeito do ambiente, com crescimento maior da área de cobertura na pastagem, sugerindo que há efeito combinado de luz e nutrientes no crescimento em área de cobertura dessa espécie.

Diferentemente da capoeira, o caule de muitos indivíduos de *H. courbaril* na pastagem se ramificaram. A ramificação precoce do caule pode inviabilizar a escolha da espécie em plantios que intencionam a posterior utilização para fins madeireiros, restringindo sua utilização em plantios com objetivo exclusivo de recuperar áreas degradadas. Vale lembrar, que além da madeira, *H. courbaril* oferece produtos florestais não-madeireiros que podem ser explorados independente da forma de crescimento assumido pelos indivíduos como, o uso medicinal da casca, a utilização dos frutos na alimentação humana e de outros animais e o copal para produção de vernizes (Loureiro et al 1979).

A resposta de *S. guianense* e *P. platycephala* ao ambiente foram semelhantes. Ambas tiveram sua área de cobertura aumentada na pastagem, que diferentemente de *H. courbaril* se deu em função do aumento no comprimento das folhas, mantendo o caule retilíneo. No entanto, o efeito da fertilização na área de cobertura foi diferente entre as duas espécies: *P. platycephala* não respondeu a qualquer dos tratamentos, enquanto que a adução orgânica de *S. guianense* dobrou sua área de cobertura em relação ao tratamento controle, e semelhante ao tratamento com adubação orgânica mais mineral. A variedade de respostas aos tratamentos de fertilização demonstra a necessidade de verificar para cada espécie quanto insumo é suficiente para se obter ganhos reais de crescimento, evitando assim custos desnecessários na implantação de plantios, já que a adubação mineral às vezes não surte efeito no crescimento das plantas (Carpenter et al. 2004b).

Altura

O maior crescimento em altura de *H. courbaril* na pastagem era esperado. Apesar de considerada espécie climática, o ganho significativo de altura em condições de maior exposição à luz, já foi observado em outros plantios experimentais (Souza et

al. 2010), e também em casa de vegetação (Campos e Uchida 2002), embora neste caso, haja resultados em contrário (Lima et al. 2010). A ausência de respostas aos tratamentos de fertilização sugere que a adubação não é uma prática efetiva para o estabelecimento e crescimento de *H. courbaril*. Resultado semelhante já foi verificado em casa de vegetação, onde a espécie não respondeu a doses crescentes de fósforo (Resende et al. 1999). O incremento médio anual em altura de 52,4 cm na pastagem foi próximo aos 66 cm encontrado para *H. courbaril* no Panamá (Hall et al. 2010).

O incremento em altura significativamente maior de *S. microstachyum* na pastagem em comparação à capoeira revela que a espécie tem alta demanda por luz no início do desenvolvimento. O plantio de *S. microstachyum* em pastagens degradadas da Costa Rica teve crescimento médio de 7,5 m em três anos (Tilki e Fisher 1998). Nossos resultados para pastagens na Amazônia Central foram muito inferiores, 50 cm em 12 meses.

Algumas ponderações devem ser feitas em relação a esse resultado: a precipitação anual na área de estudo da Costa Rica é de 3990 mm, enquanto em Manaus a precipitação média anual é de 2551 mm. Além disso, para qualquer dos nutrientes do solo analisados, nossa área é menos fértil e o pH mais ácido do que qualquer das áreas de plantio experimental utilizada na Costa Rica. Pela importância que a precipitação e as propriedades do solo têm no estabelecimento inicial de plantas (ver Breugel et al. 2010; Park et al. 2010; Wishnie et al. 2007), esta é a provável explicação para o desempenho inferior de *S. microstachyum* quando comparado aos plantios da espécie na Costa Rica.

A resposta de *S. microstachyum* aos tratamentos de fertilização confirma a importância da fertilidade do solo para essa espécie, que teve incrementos significativamente maiores em níveis crescentes de fertilização do solo, demonstrando que as taxas de incremento dependem das condições de fertilidade do solo. Quanto à precipitação, vale destacar que o ano de 2010 foi um ano excepcionalmente seco na região, 2311 mm anuais, principalmente no período de estiagem, quando choveu menos de 500 mm no período de julho a novembro.

O incremento médio anual de *S. guianense* em altura não foi diferenciado entre os ambientes. Tanto os 48,3 cm para a capoeira como os 76,4 cm para a pastagem, foram maiores do que o incremento observado para *H. courbaril* e *S. microstachyum*.

Na capoeira, incremento semelhante em altura, 43,6 cm, foi encontrado para *S. guianense* por Souza e Mendonça (1999). Quanto à fertilização do solo, tanto a adubação orgânica como a adubação orgânica mais mineral se diferenciaram fortemente das plantas do tratamento controle, sendo boa prática para melhorar o crescimento inicial de *S. guianense*, como já observado para outras espécies em condições de plantio (Ndufa et al. 1999; Otsamo et al. 1995).

A *P. platycephala* foi a espécie com crescimento mais discrepante entre os ambientes. O incremento da espécie em altura na capoeira foi comprometido pela oferta de luz reduzida, no entanto, o incremento em altura na pastagem foi o mais alto dentre as espécies avaliadas. Naturalmente, a espécie é mais comum em clareiras e bordas de matas (Carvalho 1989), o que explica o fraco desempenho em áreas mais sombreadas. Os tratamentos de fertilização proporcionaram taxas de incremento em altura significativamente maiores, onde a adubação orgânica e orgânica mais mineral se diferenciaram do controle, e foram iguais entre si. Assim como já discutido para *S. guianense*, a resposta positiva de *P. platycephala* à adubação possibilita o uso dessa prática, para assegurar incrementos maiores na fase inicial de plantios.

De modo geral, constatamos que o desempenho das espécies testadas foram inferiores ao de outros trabalhos. Atribuímos esse fato a três fatores: menor fertilidade do solo comparado ao de outros estudos; pela nossa escolha de não manejar a área do plantio para simular as adversidades reais que as plantas estão sujeitas no campo, e a estiagem mais severa do que a média histórica para a região de Manaus no ano de 2010. Acreditamos que embora o crescimento seja inferior, é mais próximo a realidade dos plantios de recuperação de áreas degradadas ou de enriquecimento, já que é comum os resultados experimentais serem muito superiores ao observado nos projetos de reflorestamento em razão do manejo intensivo dos plantios em áreas experimentais (Hall et al. 2010).

A fertilização do solo não promoveu aumento de sobrevivência das espécies nativas testadas, como esperávamos. Possivelmente, espécies exóticas adaptadas a solos mais férteis tenham a sobrevivência aumentada quando adubadas em solos pobres, enquanto que para as espécies nativas já adaptadas as condições edáficas locais, a fertilização apenas interfira no ritmo de crescimento.

Infelizmente, a resposta de plantas à fertilização é sempre testada somente com adubação química (Ndufa 1999, Otsamo et al 1995,), e dado o custo elevado e dificuldade de acesso a esses insumos em boa parte da Amazônia, sua aplicação se torna inviável, mesmo que as pesquisas apresentem bons resultados. Como demonstrado neste estudo, para a altura e a área de cobertura de *S. guianense*, e para a altura de *P. platycephala*, a adubação orgânica pode produzir resultados semelhantes a adubação química, com a vantagem do custo reduzido (R\$ 5,00/30 Kg), e que muitas vezes está disponível na própria propriedade. Nós esperamos que esses resultados encoraje o uso da adubação orgânica na avaliação do estabelecimento inicial, em futuros plantios experimentais de espécies arbóreas.

A ausência de diferenças significativas de fertilidade entre os ambientes nas análises do solo sugerem, que o menor incremento em altura na capoeira para três das quatro espécies avaliadas foi possivelmente pela limitação de luz neste ambiente. Nesse caso, a viabilidade de plantios em capoeiras, pode estar condicionada a necessidade de manejo mais intensivo nessas áreas para garantir maior disponibilidade de luz para o crescimento das espécies de interesse.

Conclusões

O desempenho de *P. platycephala* e *H. courbaril* na pastagem foi satisfatório e seu uso mostrou-se promissor na recuperação de áreas degradadas, mas não para o enriquecimento de capoeiras.

O *S. microstachyum* foi a espécie com melhores respostas a níveis crescentes de fertilização e o plantio é favorecido pelo emprego de adubos ou em solos mais férteis.

O sucesso do plantio de *S. guianense* em pastagens fica restrito as áreas com baixa infestação por formigas cortadeiras.

A adubação orgânica pode produzir os mesmos resultados da adubação mineral, e por essa razão seu uso em plantios florestais na Amazônia constitui uma alternativa viável para assegurar o sucesso de projetos de recuperação de áreas degradadas e de enriquecimento de capoeiras.

Capítulo 2

Silva, M.A.C & Souza, L.A.G. O crescimento de quatro espécies arbóreas em resposta a variação de luz e a fertilização do solo em uma capoeira da Amazônia Central. Formatado de acordo com as normas da revista Acta Amazonica.

Introdução

O crescimento de plantas em florestas tropicais é determinado por uma série de recursos, como luz, nutrientes, água e o microclima (Denslow et al. 1990). Entre esses fatores, a luz é um dos mais importantes que atuam na sobrevivência e crescimento de plantas (Lieffers et al. 1999), especialmente nos locais onde está disponível em baixas quantidades, como o sub-bosque das florestas tropicais úmidas (Balderrama e Chazdon 2005). Alguns trabalhos investigaram como a luz afeta o crescimento e a sobrevivência de plantas nesses ambientes (Fisher et al. 1991; Kobe 1999; Bebber et al. 2002), e encontraram que a resposta não segue um padrão e depende da estratégia de regeneração de cada espécie (Clark et al. 1996; Montgomery e Chazdon 2002).

A disponibilidade de luz no sub-bosque das florestas tropicais é frequentemente baixa, alcançando valores em torno de 2% (Smith et al. 1992; Clark et al. 1996; Connell et al. 1997; Nicotra et al. 1999; Ruger et al. 2009). Em tais condições, a luz limita o desenvolvimento das plantas e pode promover aumento da mortalidade (Davies 2001). Nas áreas com baixos níveis de luz, o surgimento de clareiras permite maior entrada de luz direta e difusa no sub-bosque, promovendo em algumas espécies, taxas de incremento significativamente maiores (Chazdon 1986).

O ambiente de luz que se forma no sub-bosque é resultado da interação de diversos fatores, como composição das espécies no estrato vertical, densidade de indivíduos, estágio sucessional, declividade e latitude (Canham et al. 1990; 1994), e apresenta grande variabilidade temporal e espacial (Clark et al. 1996). Devido a alta variabilidade, as medidas de luz devem ser tomadas no menor intervalo de tempo possível para que não sejam confundidas com alterações nas condições climáticas ao longo do período de amostragem (Capers e Chazdon 2004). Essa variabilidade natural da luz no sub-bosque das florestas tropicais não é reproduzida em experimentos conduzidos em casa de vegetação, onde as plantas são submetidas a níveis constantes de luz (Hale 2003), gerando resultados conflitantes quando comparado com ensaios de campo que investigam o efeito da luz no crescimento das plantas no sub-bosque.

Resultados conflitantes também ocorrem em função do equipamento utilizado para medir a luz. Os dois métodos mais utilizados são fotografias hemisféricas e sensores de quantum (Nicotra et al. 1999, Montgomery e Chazdon 2002). As fotografias

hemisféricas são medidas indiretas de luz, com processamento de dados demorado, assume que não há espalhamento da luz à medida que encontra obstáculos como folhas e galhos e não fornece informações em relação à resposta fotossintética das plantas (Capers e Chazdon 2004). Além disso, em condições de baixa luminosidade as estimativas são imprecisas (Chazdon e Field 1987), e por isso não é aconselhado o uso desse método para estimar a luz no sub-bosque de florestas tropicais (Brandão et al. em preparação). Por outro lado, os sensores de quantum registram medidas diretas de luz (em unidade de $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) sendo possível inferir sobre a resposta das plantas a partir do registro da luz dentro da faixa (400-700 nm) de radiação fotossinteticamente ativa.

A quantidade de luz disponível afeta diretamente a produtividade das plantas, enquanto que a qualidade da luz atua no controle de processos fisiológicos, podendo desencadear ou inibir a germinação de sementes, a floração, o crescimento do caule e a expansão e orientação das folhas (Vásquez-Yánes e Orozco-Segovia 1994). Pela importância que esses dois espectros da luz têm para as plantas, através da modelagem de dados oriundos das medidas do sensor de quantum, é possível ter boas estimativas da luz disponível para a fotossíntese e relacioná-las com o crescimento das espécies.

Manejar a quantidade e qualidade da luz em plantios florestais é importante porque quando em excesso, a luz provoca fotoinibição e conseqüente redução das taxas de crescimento (Sasaki e Mori 1981) e aumento da mortalidade em função do microclima mais seco e quente (ITTO 1989). Por outro lado, ambientes com baixa luminosidade não são desejados porque também promovem aumento das taxas de mortalidade e reduz a velocidade de crescimento das plantas. Sendo assim, é importante conhecer a resposta das espécies ao gradiente de luz do sub-bosque para maximizar o crescimento e a sobrevivência das espécies a partir de tratos silviculturais adequados (Bebber et al. 2002).

Neste trabalho o crescimento de quatro espécies de leguminosas e a disponibilidade de luz no sub-bosque de uma capoeira foram monitorados para determinar como a variação de luz interfere na interpretação do crescimento das espécies em níveis crescentes de fertilização, em plantio de enriquecimento de capoeiras.

Material e métodos

Área de estudo

Este trabalho foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal do Amazonas, localizada no Km 41 da rodovia BR 174, nas coordenadas 02^o39'19,7" S 60^o03'29,7" W. Em Janeiro de 2010 foi realizado o plantio de quatro espécies de leguminosas em uma área de capoeira formada após o abandono de um plantio experimental de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). Atualmente, a capoeira possui dossel de aproximadamente 15 metros, com baixa diversidade de espécies.

Antes do plantio, o sub-bosque da capoeira foi desbastado com terçado, mas ao longo do período de acompanhamento das plantas, nenhuma intervenção foi feita na capoeira, para não interferir na avaliação da luz disponível no sub-bosque em plantios de enriquecimento de capoeiras.

Seleção de espécies e produção de mudas

Foram selecionadas quatro espécies de leguminosas arbóreas para o plantio experimental: fava de bolota (*Parkia platycephala* Benth.), faveira camuzé (*Stryphnodendron guianensis* (Aubl.) Benth.), faveira da várzea (*Stryphnodendron microstachyum* Poep.), todas da subfamília Mimosoideae, e, jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), Caesalpinioideae. As espécies de *Stryphnodendron* foram inoculadas com um coquetel de quatro estirpes de rizóbio da Coleção de Rizóbios do Laboratório de Microbiologia do Solo - INPA (985, 986, 987, 988).

Tratamentos

Neste trabalho as quatro espécies foram plantadas na capoeira em três tratamentos de fertilização do solo: controle, adubação orgânica e adubação orgânica acrescida de adubação mineral. No tratamento controle, as espécies foram plantadas sem qualquer adição de nutrientes. A adubação orgânica consistiu do acréscimo de 1,5 l de composto de gado curtido, depositado no fundo da cova no momento do plantio. Para

a adubação orgânica acrescida de adubação mineral, além de 1,5 L de composto bovino no fundo da cova, cada planta recebeu: 285 g de superfosfato triplo, 103 g de cloreto de potássio, 300 g de calcário dolomítico e 3 g de micronutrientes (FTE) aplicados no entorno das mudas logo após o plantio. As quantidades utilizadas para a adubação mineral foram adaptadas de Cravo (1990), considerando a área útil de 6 m² por planta, definida em função do espaçamento adotado.

Desenho experimental

O delineamento adotado foi o de blocos inteiramente casualizados. O bloco foi formado por 12 parcelas, cada uma representando um tratamento. Cada parcela continha nove plantas, sendo três plantas por linha, em espaçamento 3 x 2 m. No total, foram instalados 3 blocos casualizados e utilizadas 324 mudas.

Medidas de luz

Em julho de 2010 foram feitas medidas diretas de luz na capoeira. O equipamento de medida direta de luz foi composto de um sensor Skye SKR 110 (Sensor V:VL) conectado a um aparelho LI-1400 (LI-Cor, Lincoln, Nebraska) que armazenava os registros das medidas. Na posição de cada planta foi feito um registro de luz a 2 m do solo, a fim de evitar que o sombreamento promovido pelo portador do sensor interferisse no registro da luz disponível àquele ponto amostral. Todas as medidas de luz foram realizadas sob condições de céu nublado para diminuir a variação no percentual de luz que chega ao sub-bosque (Parent e Messier 1996).

Após a coleta de dados, a relação vermelho/vermelho longo de cada amostra foi ajustada ao modelo de Capers e Chazdon (2004) descrito pela equação:

$$\% T = 0,5458 + \exp (-2,4541 + 5,6594 R:FR)$$

Onde: T = Transmitância , R = Vermelho , FR = Vermelho Longo

Os valores de porcentagem de transmitância obtidos a partir desse modelo foram usados nas análises subseqüentes. Como cada ponto do sub-bosque recebe luz vinda de diferentes partes do dossel, nós consideramos cada planta e sua respectiva medida de luz como uma amostra independente.

Para avaliar como a variação natural de luz no sub-bosque pode afetar o crescimento de plantas, foram realizadas duas análises: ANOVA de um fator, para avaliar o desempenho das plantas em resposta aos três tratamentos de fertilização, sem considerar na análise o efeito da luz, depois realizamos uma ANCOVA, onde as porcentagens de transmitância foram utilizadas como co-fator dos tratamentos de fertilização. Feito isso, comparamos os resultados das duas análises para averiguar, se, e como, a luz pode alterar a interpretação dos resultados de crescimento de plantas em plantios de enriquecimento.

A escolha do modelo mais adequado para realizar as análises de covariância se deu pela análise exploratória de dois modelos, o primeiro considerando apenas o efeito isolado da luz e dos tratamentos de fertilização, o segundo modelo considerava além dos efeitos isolados, a possibilidade de interação entre eles. Os dois modelos foram comparados com análise de variância, e o mais parcimonioso para cada espécie foi o escolhido para as análises de covariância. Todas as análises foram feitas com o software R (R Development Core Team 2007).

Resultados

O percentual de luz incidente no sub-bosque da capoeira foi baixo e não diferiu entre as quatro espécies de Fabaceae ($F = 0,51$, $p = 0,6$). *S. guianense* recebeu em média 3,3 % de luz, seguido por *H. courbaril* (5,2 %), *S. microstachyum* (6,8 %) e *Parkia platycephala* (8,7 %). As diferenças entre os tratamentos de fertilização também não foram significativas ($F = 0,80$, $p = 0,4$). As plantas do tratamento controle receberam em média 5,8 % de luz, com adubação orgânica 8,5 % e com adubação orgânica mais mineral 4,0 %.

No entanto, quando observada separadamente por espécie, os indivíduos de *P. platycephala* submetidos à adubação orgânica receberam 18,3 % de luz, enquanto que no tratamento controle e com adubação orgânica e mineral, a luz disponível foi de apenas 3,4 e 3,3 % respectivamente. As plantas de *S. microstachyum* no tratamento controle receberam o dobro de luz do que os indivíduos nos outros tratamentos de fertilização. Para *H. courbaril* e *S. guianense* foi pequena a variação de luz entre os tratamentos (Figura 1).

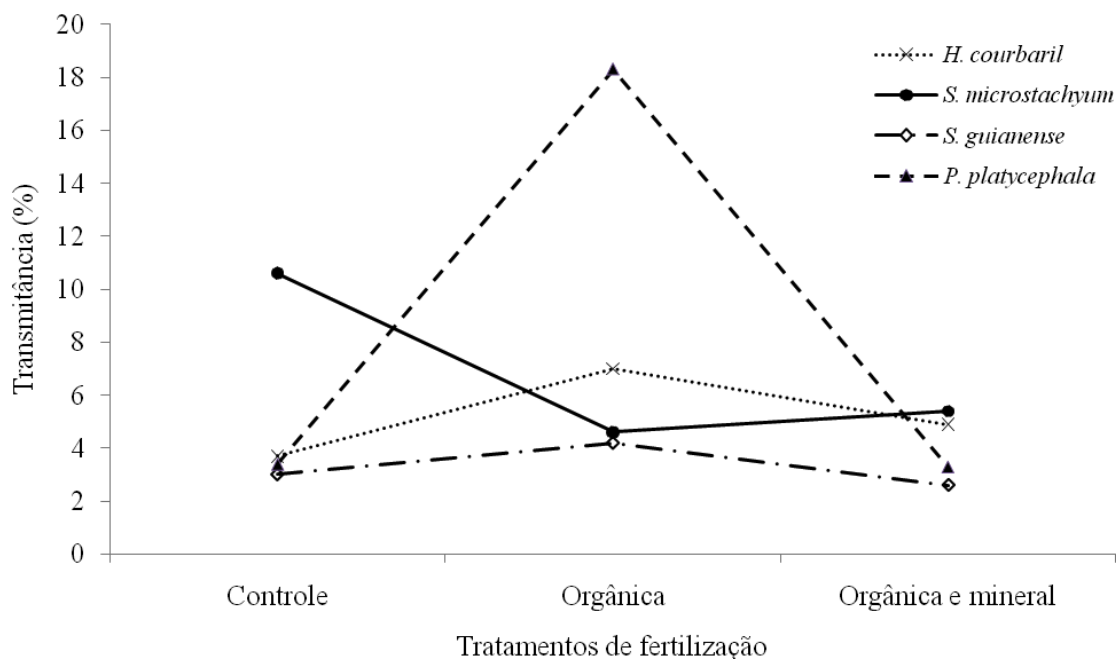


Figura 1. Médias de luz incidente em quatro espécies de leguminosas plantadas em blocos casualizados em uma capoeira sob três tratamentos de fertilização do solo.

O incremento em altura de *H. courbaril* foi significativamente maior no tratamento com adubação orgânica em relação aos demais tratamentos, porém quando a luz foi utilizada como co-fator, o incremento em altura no tratamento com adubação orgânica superou o tratamento controle, mas foi semelhante ao tratamento com adubação orgânica e mineral (Figura 2).

O *S. microstachyum* foi a única espécie que não teve seu incremento em altura influenciado pela variação de luz no sub-bosque ($F = 0,04$; $p > 0,05$) ou pela interação da luz com os tratamentos de fertilização ($F = 0,5$; $p > 0,05$). A espécie respondeu apenas ao efeito isolado dos tratamentos de fertilização ($F = 12,5$; $p = 0,01$) (Figura 2).

A luz disponível no sub-bosque da capoeira não teve efeito isolado no incremento de *S. guianense* ($F = 2,2$; $p > 0,05$), mas houve interação com os tratamentos de fertilização ($F = 12,1$; $p = 0,003$). A *Parkia platycephala* foi a espécie com crescimento mais afetado pela variação de luz no sub-bosque ($F = 193$; $p < 0,01$), e também respondeu aos tratamentos de fertilização ($F = 29,1$; $p < 0,01$).

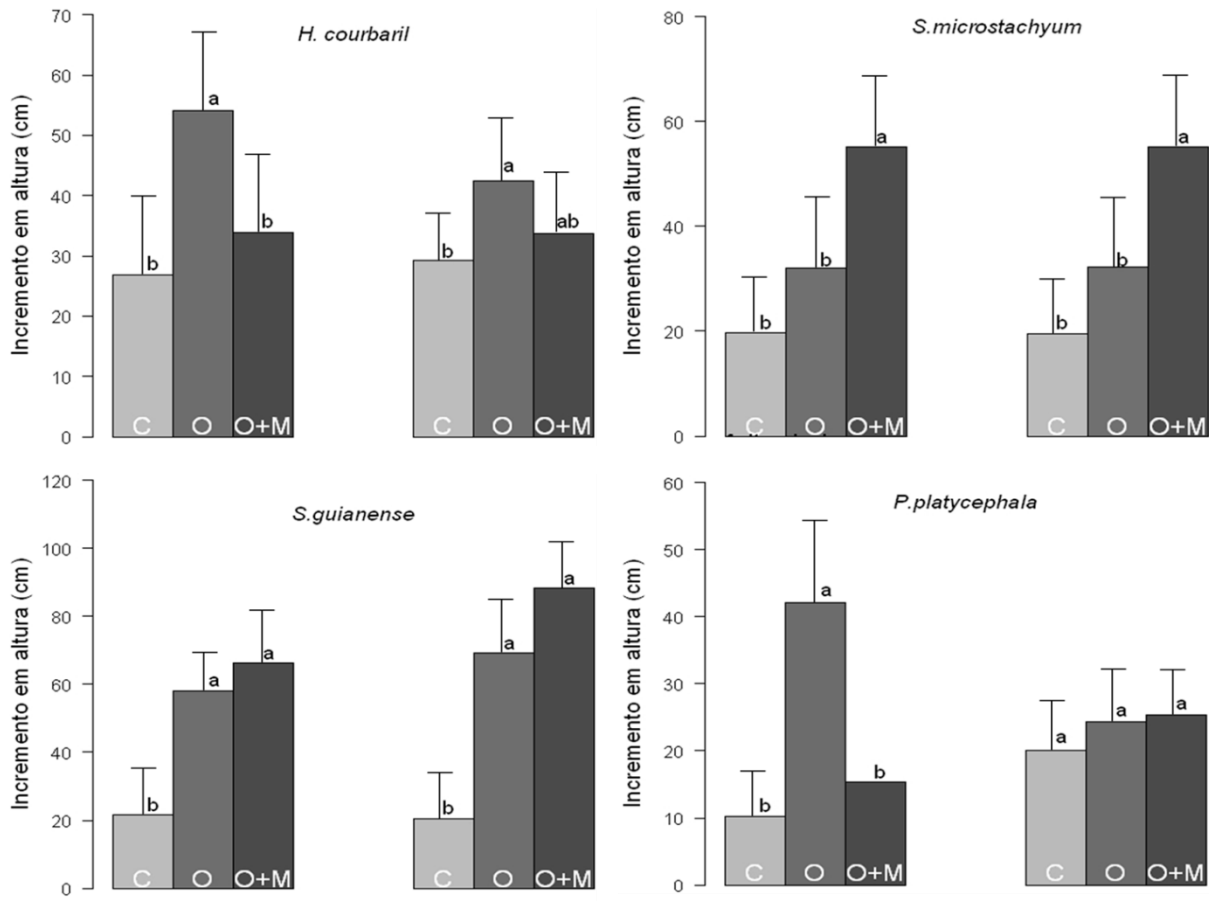


Figura 2. Diferenças de incremento em altura atribuído a fertilização do solo em duas análises diferentes: ANOVA e ANCOVA. Para a ANCOVA, a % de luz foi utilizada como covariável. Dentro das barras, C = controle; O = adubação orgânica e O + M = adubação orgânica mais mineral. Médias seguidas por letras diferentes são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

Discussão

A luz disponível na área de estudo foi baixa, ainda mais considerando que se trata de uma capoeira de aproximadamente 15 anos. Na ausência de clareiras, a luz no sub-bosque das florestas tropicais úmidas é sempre baixa, independente do estágio sucessional que se encontram (Nicotra et al. 1999; Montgomery e Chazdon 2002), o que pode limitar o crescimento de plantas (Van der Meer et al. 1998).

A ausência de diferenças significativas de luz entre as espécies e tratamentos demonstra que, considerando o delineamento amostral como um todo, a aleatorização promovida pelos blocos casualizados foi suficiente para garantir condições homogêneas de luz no plantio. No entanto, observando para cada espécie separadamente,

ocasionalmente, alguns tratamentos receberam mais luz do que outros. As diferenças mais acentuadas de luz entre os tratamentos de fertilização ocorreram em *P. platycephala* e *S. microstachyum* (Figura 1). É comum considerar que a aleatorização do desenho amostral seja suficiente para prevenir que variáveis não mensuradas interfiram tendenciosamente no resultado das pesquisas (Gotelli e Ellison 2011). No entanto, neste trabalho as plantas foram cultivadas em blocos inteiramente casualizados e ainda assim, houve tratamentos que receberam mais luz do que outros. A aleatorização continua sendo a melhor maneira de prevenir interferências indesejadas nos resultados de pesquisas, mas como demonstrado nem sempre é suficiente, sendo necessário mensurar o efeito de covariáveis que provavelmente irão interferir no experimento.

A luz se torna tão limitante ao crescimento de plantas no sub-bosque de florestas tropicais, que variações muito pequenas podem determinar mudanças substanciais no ritmo de crescimento (Nicotra et al. 1999), mesmo na ausência de clareiras (Montgomery e Chazdon 2002). Como essas pequenas variações de luz são imperceptíveis e, portanto não podem ser evitadas na implantação dos plantios, a medição da luz se faz necessária para remover a sua interferência na variável que se pretende investigar.

Bebber et al. (2002) avaliaram o efeito da luz em um plantio de enriquecimento em linha após exploração madeireira, e verificou que o crescimento das plantas foi afetado por aberturas no dossel distantes a mais de 50 m na linha, mas não afetou o crescimento das plantas nas linhas vizinhas devido a alta densidade do sub-bosque que impedia a passagem lateral da luz. Por esse motivo, deduziu que o plantio em bloco seria mais vantajoso por permitir a entrada de luz em várias direções, beneficiando maior número de plantas. Nossos resultados corroboram essa idéia, porque as variações nos níveis de luz entre tratamentos de fertilização observados para algumas espécies, possivelmente é o resultado da entrada lateral de luz com maior incidência em algumas parcelas, beneficiando em alguns casos, o crescimento de plantas pertencentes ao mesmo tratamento.

A natureza e a intensidade da resposta à luz variam de acordo com a estratégia de cada espécie na ocupação dos nichos ecológicos, o que possibilita a alta diversidade de espécies arbóreas nas florestas tropicais (Denslow 1980; Poorter 1999; Ruger et al 2009). O comportamento diferenciado das quatro espécies de leguminosas avaliadas em

relação à luz provavelmente se deve a estratégias diferentes na ocupação de nichos. A *P. platycephala* foi a espécie com crescimento mais dependente dos níveis de luz, enquanto no outro extremo do gradiente, a variação de 7 % de luz entre os tratamentos de fertilização não induziu o maior crescimento de *S. microstachyum*. *H. courbaril* e *S. guianense* ocuparam posição intermediária desse gradiente.

Para o incremento em função da luz de quatro espécies plantadas na Costa Rica, Balderrama e Chazdon (2005) também encontraram essa variação na resposta das espécies à luz: *Hyeronima alchorneoides* teve o maior incremento relativo ao aumento da disponibilidade de luz, seguido por *Virola koschnyi* que respondeu a luz com menor intensidade, *Dypteryx panamensis* e *Vochysia guatemalensis* que não foram afetadas pelas variações de luz no sub-bosque. Em estudos com populações naturais, a mesma amplitude de resposta é geralmente encontrada (Davies et al. 1998; Van der Meer et al. 1998; Davies 2001; Dalling e Hubbel 2002).

O caso mais evidente de como a luz pode interferir na interpretação da resposta de plantas a diferentes tratamentos é dado pelos resultados de *P. platycephala*. Pela simples avaliação do resultado da análise de variância para o efeito dos tratamentos de fertilização, concluiríamos que a adubação orgânica de *P. platycephala* gera incrementos em altura significativamente superiores ao controle e também ao tratamento com adubação orgânica e mineral, o que biologicamente seria até difícil de explicar; mas após a correção do incremento médio dos tratamentos excluindo o efeito da luz, concluímos que *P. platycephala* não responde a adubação quando plantada em capoeira.

Os resultados de *H. courbaril* seguem padrão parecido. Sem considerar a variação de luz entre os tratamentos, teríamos a interpretação de que a adubação orgânica é melhor do que os demais tratamentos, quando na verdade, as plantas com adubação orgânica e adubação orgânica e mineral têm incrementos semelhantes. No entanto, é importante notar que o efeito da luz em *P. platycephala* e *H. courbaril* ocorreu em amplitudes de variação de luz diferentes; para *P. platycephala* a diferença na disponibilidade de luz entre o tratamento com adubação orgânica e com adubação orgânica e mineral foi de 15 %, enquanto para *H. courbaril*, 2,1 % a mais de luz incidindo nas plantas sob o tratamento com adubação orgânica em relação às plantas

com adubação orgânica e mineral foram suficientes para interferir nas taxas de incremento (Figura 1).

O efeito da variação de luz no crescimento de *S. microstachyum* e *S. guianense* não promoveu resultados estatisticamente diferentes entre as duas análises, porém o valor real do incremento em altura de *S. guianense* com adubação orgânica e mineral foi 32 % maior, quando a luz foi considerada na análise. Estas informações também são importantes porque o crescimento anual é uma variável usada para comparar o desempenho das espécies em plantios, e então julgar quais são as mais aptas (Tilki e Fisher 1998).

Não avaliamos estatisticamente o efeito da luz na sobrevivência porque, a taxa de sobrevivência foi elevada para todas as espécies e teve pouca variação, de 87 a 94 %. Muitos autores encontraram relação da disponibilidade de luz com a taxa de sobrevivência de espécies arbóreas no sub-bosque de florestas tropicais (Balderrama e Chazdon 2005; Davies 2001). A alta taxa de sobrevivência para as quatro espécies avaliadas é incomum, já que na literatura é consenso, que espécies com alta demanda por luz, como é o caso de *P. platycephala*, tenham altas taxas de mortalidade quando em condições de baixa luminosidade. *S. guianense* e *S. microstachyum* mesmo sendo mais comuns em áreas de borda e matas secundárias, também tiveram sobrevivência excepcionalmente alta no ambiente sombreado da capoeira.

Conclusões

Apenas a aleatorização do desenho experimental não é suficiente para garantir condições de luz semelhantes entre os tratamentos de plantios realizados em bloco no interior de capoeiras.

O crescimento de plantas em resposta a pequenas variações na disponibilidade de luz difere entre espécies, sendo necessário avaliá-lo caso-a-caso para a adoção de práticas de manejo eficientes e evitar gastos desnecessários com espécies insensíveis à variação de luz no sub-bosque.

A avaliação de plantios em sub-bosque de capoeiras pode induzir interpretações equivocadas quanto ao efeito do tratamento pesquisado se a luz não for medida e seu efeito removido das análises.

CONCLUSÃO GERAL

H. courbaril é uma espécie promissora para plantio em pastagem degradada.

S. guianense e *P. platycephala* são susceptíveis ao corte por formigas cortadeiras, o que condiciona a utilização dessas espécies às áreas não infestadas por formigas ou desde que sejam devidamente controladas.

S. microstachyum necessita maior período de observação para atestar sua viabilidade em plantios na Amazônia Central.

O uso de adubos orgânicos pode produzir resultados iguais aos adubos minerais e por isso seu uso deve ser difundido em diferentes modalidades de plantio.

A variação da luz no sub-bosque de capoeiras interfere na avaliação do crescimento de plantas em resposta a tratamentos em plantios experimentais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Introdução Geral

Alfaia, S.S.; Uguen, K.; Rodrigues, M.R.L. 2008. Manejo da fertilidade dos solos da Amazônia. In: Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O.; Brussaard, L. (ed) Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Editora UFLA, Lavras, p.117-141.

Angelo, H., Brasil, A.A. & Santos, J. 2001. Madeiras tropicais: análise econômica das principais espécies florestais exportadas. *Acta amazonica* 31(2):237-248.

Bebber, D., Brown, N., Speight, M., Moura-Costa, P., Wai, Yap Sau. 2002. Spatial structure of light and dipterocarp seedling growth in a tropical secondary forest. *Forest Ecology and Management* 157: 65-75.

Breugel, M. van; Hall, J.S.; Craven, D.J.; Gregoire, T.G.; Park, A.; Dent, D.H.; Wishnie, M.H.; Mariscal, E.; Deago, J.; Ibarra, D.; Cedeño, N.; Ashton, M.S. 2010. Early growth and survival of 49 tropical tree species across four sites differing in soil fertility and rainfall. *Forest Ecology and Management* doi: 10.1016/j.foreco.2010.08.019.

Carpenter, L.F.; Doland Nichols, J.; Sandi, E. 2004. Early growth of native and exotic trees planted on degraded tropical pasture. *Forest Ecology and Management* 196: 367–378.

Costa, G. S.; Franco, A. A.; Damasceno, R. N. & S. M. Faria. 2004. Aporte de nutrientes pela serapilheira em uma área degradada e revegetada com leguminosas arbóreas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:919-927.

Craswell, E.T., Lefroy, R.D.B., 2001. The role and function of organic matter in tropical soils. *Nutrient Cycling. Agroecosystems*. 61, 7–18.

Daudin, D.; Sierra, J. 2008. Spatial and temporal variation of below-ground N transfer from a leguminous tree to an associated grass in an agroforestry system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126: 275–280.

Davidson, E.A.; Carvalho, C.J.R.; Figueira, A.M.; Ishida, F.Y.; Ometto, J.P.H.B.; Nardoto, G.B.; Saba, R.T.; Hayashi, S.N.; Leal, E.C.; Vieira, I.C.G.; Martinelli, L.A. 2007. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. *Nature* 447: 995-999.

FAO 2011. *State of the World's Forests 2011*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

Hubbell, S.P., Foster, R.B., O'Brian, S.T., Harms, K.E., Condit, R., Wechsler, B., Wright, S.J., Loo de Lao, S. 1999. *Science* 283:554-557.

Keefe, K.; Schulze, M.D.; Pinheiro, C.; Zweede, J.C.; Zarin, D. 2009. Enrichment planting as a silvicultural option in the eastern Amazon: Case study of Fazenda Cauaxi. *Forest Ecology and Management* 258: 1950-1959.

Nichols, J.D.; Rosemeyer, M.E.; Carpenter, F.L.; Kettler, J. 2001. Intercropping legume trees with native timber trees rapidly restores cover to eroded tropical pasture without fertilization. *Forest Ecology and Management* 152: 195–209.

Park, A.; van Breugel, M.; Ashton, M.S.; Wishnie, M.; Mariscal, E.; Deago, J.; Ibarra, D.; Cedeno, N.; Hall, J.S. 2010. Local and regional environmental variation influences the growth of tropical trees in selection trials in the Republic of Panama. *Forest Ecology and Management* 260: 12–21.

Parrota, J.A.;Turnbull, J.W.; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* 99: 1-7.

Piotto, D.; Craven, D.; Montagnini, F.; Alice, F. 2010. Silvicultural and economic aspects of pure and mixed native tree species plantations on degraded pasture-lands in humid Costa Rica. *New Forests* 39: 369-385.

Rodrigues, R.R.; Lima, R.A.F.; Gandolfi, S.; Nave, A.G. 2009. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic forest. *Biological Conservation* 142: 1242–1251.

Ruger, N., Huth, A. Hubbell, S.P., Condit, R. 2009. Response of recruitment to light availability across a tropical lowland rain forest community. *Journal of Ecology* 97: 1360-1368.

Siddique, I.; Engel, V.L.; Parrota, J.A.; Lamb, D.; Nardoto, G.B.; Ometto, J.P.H.B.; Martinelli, L.A.; Schimidt, S. 2008. Dominance of legume trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration plantings within seven years. *Biogeochemistry* 88: 89-101.

Tilki, F.; Fisher, R.F. 1998. Tropical leguminous species for acid soil: studies on plant form and growth in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 108: 175-192.

Van der Meer, P.J., Sterck, F.J., Bongers, F. 1998. Tree seedling performance in canopy gaps in a tropical rain forest at Nouragues, French Guiana. *Journal of Tropical Ecology* 14:119-137.

Capítulo I

Alfaia, S.; Souza, L.A.G. 2002. Perspectivas do uso e manejo dos solos na Amazônia. In: Araújo, Q.R. (Org.) 500 anos de uso do solo no Brasil, editora UESC, Ilhéus, SBCS, p. 311-327.

- Alfaia, S.S.; Uguen, K.; Rodrigues, M.R.L. 2008. Manejo da fertilidade dos solos da Amazônia. In: Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O.; Brussaard, L. (ed) Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Editora UFLA, Lavras, p.117-141.
- Benayas, J.M.R.; Newton, A.C.; Diaz, A.; Bullock, J.M. 2009. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis. *Science* 325: 1121–1124.
- Boscolo, P.R.S.; Menossi, M.; Jorge, R.A. 2003. Aluminum-induced oxidative stress in maize. *Phytochemistry* 62:181-189.
- Breugel, M. van; Hall, J.S.; Craven, D.J.; Gregoire, T.G.; Park, A.; Dent, D.H.; Wishnie, M.H.; Mariscal, E.; Deago, J.; Ibarra, D.; Cedeño, N.; Ashton, M.S. 2010. Early growth and survival of 49 tropical tree species across four sites differing in soil fertility and rainfall. *Forest Ecology and Management* doi: 10.1016/j.foreco.2010.08.019.
- Campos, M.A.A.; Uchida, T. 2002. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de três espécies amazônicas. *Pesquisa agropecuária brasileira* 37(3): 282-288.
- Carpenter, L.F.; Doland Nichols, J.; Sandi, E. 2004 a. Early growth of native and exotic trees planted on degraded tropical pasture. *Forest Ecology and Management* 196: 367–378.
- Carpenter, F.L.; Nichols, J.D.; Pratt, R.T.; Young, K.C. 2004 b. Methods of facilitating reforestation of tropical degraded land with the native timber tree, *Terminalia Amazonia*. *Forest Ecology and Management* 202: 281-291.
- Carvalho, J.H. 1989. Faveira (*Parkia platycephalla* Benth): uma valiosa árvore forrageira. *Informativo Agroflorestal REBRAAF*, Rio de Janeiro, (2-3): 3-4.
- Cole, R.J.; Holl, K.D.; Keene, C.L.; Zahawi, R.A. 2010. Direct seeding of late successional trees to restore tropical montane forest. *Forest Ecology and Management*, doi: 10.1016/j.foreco.2010.06.038.
- Cravo, M.S. 1990. Sistema de cultivo com altos insumos na Amazônia Brasileira. In: Smith, R.J.; Raun, W.R. & Bertsch, E. (Eds.) *Manejo de suelos tropicales en latinoamerica*. North Carolina State University, Raleigh, p. 144-156.
- Daudin, D.; Sierra, J. 2008. Spatial and temporal variation of below-ground N transfer from a leguminous tree to an associated grass in an agroforestry system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 126: 275–280.
- Davidson, E.A.; Carvalho, C.J.R.; Figueira, A.M.; Ishida, F.Y.; Ometto, J.P.H.B.; Nardoto, G.B.; Saba, R.T.; Hayashi, S.N.; Leal, E.C.; Vieira, I.C.G.; Martinelli, L.A. 2007. Recuperation of nitrogen cycling in Amazonian forests following agricultural abandonment. *Nature* 447: 995-999.
- Davies, S.J. 1998. Photosynthesis of the nine pioneer *Macaranga* species from Borneo in relation to life-history. *Ecology* 79: 2292-2308.
- Dias, P.F.; Souto, S.M.; Correia, M.E.F.; Rodrigues, K.M.; Franco, A.A. 2007. Efeito de leguminosas arbóreas sobre a macrofauna do solo em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv. marandu. *Pesquisa Agropecuaria Tropical* 37(1): 38-44.

- Dobson, A.P.; Bradshaw, A.D.; Baker, J.M. 1997. Hopes for the Future: Restoration Ecology and Conservation Biology. *Science* 277: 515-522.
- Drinkwater, L.E.; Wagoner, P.; Sarrantonio, M. 1998. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature*, 396: 262-265.
- Embrapa Manual de Métodos de Análise de Solo, Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2.ed., 1997, 212p.
- FAO 2001. Global forest resources assessment 2000. Main report. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Fearnside, P.M. 1998. Phosphorus and human carrying capacity in Brazilian Amazonia. In: Lynch, J.P., Deikman, J. (Eds). Phosphorus in Plant Biology: Regulatory Roles in Molecular, Cellular, Organismic and Ecosystem Processes. American Society of Plant Physiologists, Rockville, pp. 94-108.
- Fearnside, P.M. 2002. Avanço Brasil: Environmental and social consequences of Brazil's planned infrastructure in Amazonia. *Environmental Management* 30: 735-747.
- Franco, A.A.; Faria, S.M.; 1997. The contribution of N² fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biology & Biochemistry*, 29(5/6): 897-903.
- Guo, T.; Zhang, G.; Zhou, M.; Wu, F.; Chen, J. Effects of aluminum and cadmium toxicity on growth and antioxidant enzyme activities of two barley genotypes with different Al resistance. *Plant Soil* 258: 241-248.
- Hall, J.S.; Love, B.E.; Garen, E.J.; Slusser, J.L.; Saltonstall, K.; Mathias, S.; Breugel, M.van.; Ibarra, D.; Wishnie, M.H.; Ashton, M.S. Tree plantations on farms: evaluating growth and potential for success. *Forest Ecology and Management*. doi: 10.1016/j.foreco.2010.09.042.
- Harvey, C.A.; Villanueva, C.; Esquivel, H.; Gómez, R.; Ibrahim, M.; Lopez, M.; Martinez, J.; Munoz, D.R.; Restrepo, C.; Saénz, J.C.; Villacís, J.; Sinclair, F.L. 2010. Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management. *Forest Ecology and Management*. doi: 10.1016/j.foreco.2010.11.004.
- Hooper, E.; Condit, R.; Legendre, P. 2002. Responses of 20 native tree species to reforestation strategies for abandoned farmland in Panama. *Ecological Application* 12: 1626-1641.
- Howe, H.F. 1990. Survival and growth of juvenile *Virola surinamensis* in Panama: effects of herbivory and canopy closure. *Journal of Tropical Ecology* 6: 259-280.
- Jurado, E.; García, J.F.; Flores, J.; Estrada, E. 2006. Leguminous seedling establishment in Tamaulipan thornscrub of northeastern Mexico. *Forest Ecology and Management* 221: 133-139.
- Keefe, K.; Schulze, M.D.; Pinheiro, C.; Zweede, J.C.; Zarin, D. 2009. Enrichment planting as a silvicultural option in the eastern Amazon: Case study of Fazenda Cauaxi. *Forest Ecology and Management* 258: 1950-1959.

Kirschbaum, M.U.F.; Guo, L.B.; Gifford, R.M. 2008. Why does rainfall affect the trend in soil carbon after converting pastures to forests ? A possible explanation based on nitrogen dynamics. *Forest Ecology and Management* 255: 2990-3000.

Lamb, D.; Erskine, P.D.; Parrotta, J.A., 2005. Restoration of degraded tropical Forest landscapes. *Science* 310: 1628–1632.

Lima, A.L.S.; Zanella, F.; Castro, D.M. 2010. Crescimento de *Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang. E *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Leguminosae.) sob diferentes níveis de sombreamento. *Acta Amazonica* 40(1):43-48.

Macedo, M.O.; Resende, A.S.; Garcia, P.C.; Boddey, R.M.; Jantalia, C.P.; Urquiaga, S.; Campello, E.F.C.; Franco, A.A. 2008. Changes in soil C and N stocks and nutrient dynamics 13 years after recovery of degraded land using leguminous nitrogen-fixing trees. *Forest Ecology and Management* 255: 1516-1524.

Magalhães, L.M.S. 1983. Avaliação edáfico-nutricional de plantio de espécies florestais em diferentes solos, na região de Manaus. Tese de Mestrado INPA/FUA, Manaus, AM, 94p.

Magalhães, L.M.; Fernandes, N.P. 1984. Plantios experimentais de leguminosas florestais na região de Manaus. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 19, 75-79.

Moreira, F.M.S.; Silva, M.F.; Faria, S.M. 1992. Occurrence of nodulation in legume species in Amazon region of Brasil. *New Phytologist* 121: 563-570.

Muller, M.M.L.; Guimarães, M.F.; Desjardins, T.; Mitja, D. 2004. The relationship between pasture degradation and soil properties in the Brazilian amazon: a case study. *Agriculture Ecosystems & Environment* 103: 279-288.

Ndufa, J.K.; Shepherd, K.D.; Buresh, R.J.; Jama, B. 1999. Nutrient uptake and growth of Young trees in a P-deficient soil: Tree species and phosphorus effects. *Forest Ecology and Management* 122: 231-241.

Neil, C.; Cerri, C.C.; Melillo, J.M.; Feigl, B.J.; Steudler, P.A.; Moraes, J.F.L.; Piccolo, M.C. 1998. Stocks and dynamics of soil carbon following deforestation for pasture in Rondônia. In: Lal, R., Klimbe, J.M., Follett, R.F., Stewart, B.A. (Eds), *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press, Boca Raton, pp. 9-28.

Nichols, J.D.; Rosemeyer, M.E.; Carpenter, F.L.; Kettler, J. 2001. Intercropping legume trees with native timber trees rapidly restores cover to eroded tropical pasture without fertilization. *Forest Ecology and Management* 152: 195–209.

Otsamo, A.; Adjers, G.; Hadi, T.S.; Kuusipalo, J.; Tuomela, K.; Vuokko, R. 1995. Effect of site preparation and initial fertilization on the establishment and growth of four plantation tree species used in reforestation of *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. dominated grassland. *Forest Ecology and Management* 73: 271-277.

Paiva, A.V.; Poggiani, F. 2000. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas plantadas no sub-bosque de um fragmento florestal. *Scientia Forestalis* 57: 141-151.

Park, A.; van Breugel, M.; Ashton, M.S.; Wishnie, M.; Mariscal, E.; Deago, J.; Ibarra, D.; Cedeno, N.; Hall, J.S. 2010. Local and regional environmental variation influences

the growth of tropical trees in selection trials in the Republic of Panama. *Forest Ecology and Management* 260: 12–21.

Parrota, J.A.; Turnbull, J.W.; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forest Ecology and Management* 99: 1-7.

Paul, K.I.; Polglase, P.J.; Nyakuengama, J.G.; Khanna, P.K. 2002. Change in soil carbon following afforestation. *Forest Ecology and Management* 168: 241-257.

Piotto, D.; Craven, D.; Montagnini, F.; Alice, F. 2010. Silvicultural and economic aspects of pure and mixed native tree species plantations on degraded pasture-lands in humid Costa Rica. *New Forests* 39: 369-385.

Piotto, D.; Montagnini, F.; Ugalde, L.; Kanninen, M.; 2003. Performance of forest plantations in small and medium-sized farms in the Atlantic lowlands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 175: 195–204.

Plath, M.; Mody, K.; Potvin, C.; Dorn, S. 2010. Do multipurpose companion trees affect high value timber trees in a silvopastoral plantation system? *Agroforestry Systems* doi:10.1007/s10457-010-9308-9.

R Development Core Team. 2007. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>

Resende A.V.; Neto, A.E.F.; Muniz, J.A.; Curi, N.; Faquin, V. 1999. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta ao fósforo. *Pesquisa. Agropecuária brasileira* 34(11): 2071-2081.

Rodrigues, R.R.; Lima, R.A.F.; Gandolfi, S.; Nave, A.G. 2009. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic forest. *Biological Conservation* 142: 1242–1251.

Santos, A.M.G. 2003. Aproveitamento das culturas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) e pupunha (*Bactris gasipaes*) como adubo orgânico em sistemas agroflorestais na Amazônia. Manaus: UFAM. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, Amazonas.

Siddique, I.; Engel, V.L.; Parrota, J.A.; Lamb, D.; Nardoto, G.B.; Ometto, J.P.H.B.; Martinelli, L.A.; Schmidt, S. 2008. Dominance of legume trees alters nutrient relations in mixed species forest restoration plantings within seven years. *Biogeochemistry* 88: 89-101.

Silver, W.L.; Ostertag, R.; Lugo, A.E.; 2000. The potential for carbon sequestration through reforestation of abandoned tropical agricultural and pasture lands. *Restoration Ecology* 8: 394–407.

Souza, C.R.; Azevedo, C.P.; Lima, R.M.; Rossi, L.M.B. 2010. Comportamento de espécies florestais em plantios a pleno sol e em faixas de enriquecimento de capoeira na Amazônia. *Acta Amazonica* 40(1): 127-134.

Souza, L.A.G.; Mendonça, M.A.F. 1999. Comportamento inicial de leguminosas arbóreas em plantios de enriquecimento florestal nos sistemas de plena abertura ou

semi-sombreado em um ultisol da Amazônia. *Rev. U.A. Série: Ciências Agrárias* 8(1-2): 41-51.

Tiessen, H.; Cuevas, E.; Chacon, P. 1994. The role of soil organic matter in sustaining soil fertility. *Nature* 371: 783-785.

Tilki, F.; Fisher, R.F. 1998. Tropical leguminous species for acid soil: studies on plant form and growth in Costa Rica. *Forest Ecology and Management* 108: 175-192.

Wishnie, M.H.; Dent, D.H.; Mariscal, E.; Deago, J.; Cedenno, N.; Ibarra, D.; Condit, R.; Ashton, P.M.S. 2007. Initial performance and reforestation potential of 24 tropical tree species planted across a precipitation gradient in the Republic of Panama. *Forest Ecology and Management* 243: 39-49.

Wuethrich, B. 2007. Biodiversity: reconstructing Brazil's Atlantic rainforest. *Science* 315: 1070-1072.

Capítulo II

Balderrama, S.I.V., Chazdon, R.L. 2005. Light-dependent seedling survival and growth of four tree species in Costa Rican second-growth rain forests. *Journal of Tropical Ecology* 21: 383-395.

Bebber, D., Brown, N., Speight, M., Moura-Costa, P., Wai, Yap Sau. 2002. Spatial structure of light and dipterocarp seedling growth in a tropical secondary forest. *Forest Ecology and Management* 157: 65-75.

Canham, C.D., Denslow, J.S., Plan, W.J., Runkle, J.R., Spies, T.A., White, P.S. 1990. Light regimes beneath closed canopies and tree-fall gaps in temperate and tropical forests. *Canadian Journal of Forestry Research* 20: 620-631.

Canham, C.D., Finzi, A.C., Pacala, S.W., Burbank, D.H. 1994. Causes and consequences of resource heterogeneity in forests: interspecific variation in light transmission by canopy trees. *Canadian Journal of Forest Research* 24:337-349.

Capers, R.S., Chazdon, R.L. 2004. Rapid assessment of understory light availability in a wet tropical Forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 123: 177-185.

Chazdon, R.L. 1986. Physiological and morphological basis of shade tolerance in rain forest understory palms. *Principes* 30: 92-99.

Chazdon, R.L. e Field, C.B. 1987. Photographic estimation of photosynthetically active radiation: evaluation of a computerized technique. *Oecologia* 73: 517-523.

Clark, D.B., Clark, D.A., Rich, P.M., Weiss, S., Oberbauer, S.F. 1996. Landscape-scale evaluation of understory light and canopy structure: methods and application in a neotropical lowland rain forest. *Canadian Journal of Forest Research* 26:747-757.

Connell, J.H., Lowman, M.D., Noble, I.R. 1997. Subcanopy gaps in temperate and tropical forests. *Australian Journal of Ecology* 22:163-168.

- Cravo, M.S. 1990. Sistema de cultivo com altos insumos na Amazônia Brasileira. In: Smith, R.J.; Raun, W.R. & Bertsch, E. (Eds.) Manejo de suelos tropicales en latinoamerica. North Carolina State University, Raleigh, p. 144-156.
- Dalling, J.W., Hubbell, S.P. 2002. Seed Size, Growth Rate and Gap Microsite Conditions as Determinants of Recruitment Success for Pioneer Species. *Journal of Ecology*, 90(3): 557-568.
- Davies, S.J. 2001. Tree mortality and growth in 11 sympatric *Macaranga* species in Borneo. *Ecology* 82(4): 920-932.
- Davies, S.J., Palmiotto, P., Ashton, P. S., Lee, H.S., LaFrankie, J. V. 1998. Comparative ecology of 11 sympatric species of *Macaranga* in Borneo: tree distribution in relation to horizontal and vertical resource heterogeneity. *Journal of Ecology* 86:662-673.
- Denslow, J. S., Schultz, J. C., Vitousek, P.M., Strain, B.R. 1990. Growth responses of tropical shrubs to treefall gap environments. *Ecology* 71:165-179.
- Denslow, J.S. 1980. Gap partitioning among tropical rainforest trees. *Biotropica* 12: 47-55.
- Fisher, B.L., Howe, H.F., Wright, S.J. 1991. Survival and growth of *Virola surinamensis* yearlings: water augmentation in gap and understory. *Oecologia* 86:292-297.
- Gotelli, N.J., Ellison, A.M. 2011. *Princípios de Estatística em Ecologia*. Tradução: Fabrício Beggiato Baccaro et al. Revisão técnica: Victor Lemes Landeiro.- Porto Alegre: Artmed, 528 p.
- Hale, S.E. 2003. The effect of thinning intensity on the below-canopy light environment in a Sitka spruce plantation. *Forest Ecology and Management* 179: 341-349.
- ITTO. 1989. Pre-Project Study Report: Enrichment Planting. International Timber Trade Organization.
- Kobe, R.K. 1999. Light gradient partitioning among tropical tree species through differential seedling mortality and growth. *Ecology* 80:187-201.
- Lieffers, V.J., Messier, C. Stadt, K.J., Gendron, F., Comeau, P.G., 1999. Predicting and managing light in the understory of boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 796-811.
- Montgomery, R.A., Chazdon, R.L. 2002. Light Gradient Partitioning by Tropical Tree Seedlings in the Absence of Canopy Gaps. *Oecologia* 131(2): 165-174.
- Nicotra, A.B., Chazdon, R.L., Iriarte, S.V.B. 1999. Spatial heterogeneity of light and woody seedling regeneration in tropical wet forests. *Ecology* 80:1908-1926.
- Parent S.; Messier, C. 1996. A simple and efficient method to estimate microsite light availability under a Forest canopy. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 151:154.

Poorter, L. 1999. Growth responses of 15 rain-forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. *Functional Ecology*. 13:396-410.

R Development Core Team. 2007. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>

Ruger, N., Huth, A. Hubbell, S.P., Condit, R. 2009. Response of recruitment to light availability across a tropical lowland rain forest community. *Journal of Ecology* 97: 1360-1368.

Sasaki, S., Mori, T. 1981. Responses of Dipterocarp seedlings to light. *Malayan Forester* 44: 319-345.

Smith, A.P., Hogan, K.P., Idol, J.R. 1992. Spatial and temporal patterns of light and canopy structure in a lowland tropical moist forest. *Biotropica* 24: 503-511.

Tilki, F.; Fisher, R.F. 1998. Tropical leguminous species for acid soil: studies on plant form and growth in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 108: 175-192.

Van der Meer, P.J., Sterck, F.J., Bongers, F. 1998. Tree seedling performance in canopy gaps in a tropical rain forest at Nouragues, French Guiana. *Journal of Tropical Ecology* 14:119-137.

Vásquez-Yánes, C., Orozco-Segovia, A. 1994. Signals for seeds to sense and respond to gaps. In: Caldwell, M.M.,Percy, R.W. (Eds.), *Exploitation of Environment Heterogeneity by Plants*. Academic Press, San Diego, pp. 209-236.