

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS**

**CRESCIMENTO INICIAL E RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS DE TRÊS
ESPÉCIES LEGUMINOSAS ARBÓREAS SUBMETIDAS À ADUBAÇÃO
VERDE E QUÍMICA EM UM PLANTIO FLORESTAL NA AMAZÔNIA**

ROBERTO KIRMAYR JAQUETTI

Manaus, Amazonas
Maio, 2012

ROBERTO KIRMAYR JAQUETTI

**CRESCIMENTO INICIAL E RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS DE TRÊS
ESPÉCIES LEGUMINOSAS ARBÓREAS SUBMETIDAS À ADUBAÇÃO
VERDE E QUÍMICA EM UM PLANTIO FLORESTAL NA AMAZÔNIA**

ORIENTADOR: Dr. JOÃO BAPTISTA SILVA FERRAZ

Co-orientador: Dr. José Francisco de Carvalho Gonçalves

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais, área de concentração Silvicultura Tropical

Manaus, Amazonas
Maio, 2012

J36

Jaquetti, Roberto Kirmayr

Crescimento inicial e respostas fotossintéticas de três espécies leguminosas arbóreas submetidas à adubação verde e química em um plantio florestal na Amazônia / Roberto Kirmayr Jaquetti.--- Manaus : [s.n.], 2012.

xii, 92 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) --- INPA, Manaus, 2012

Orientador : João Baptista Silva Ferraz

Coorientador : José Francisco de Carvalho Gonçalves

Área de concentração : Manejo Florestal e Silvicultura

1. Silvicultura tropical. 2. Regeneração florestal. 3. Áreas degradadas .
4. Nutrição florestal. 5. Leguminosas arbóreas. I. Título.

CDD 19. ed. 638.956

Sinopse:

Estudou-se o crescimento inicial e as respostas fotossintéticas de três espécies leguminosas arbóreas em uma área degradada pela UHE-Balbina no município de Presidente Figueiredo, Amazonas. Aspectos como crescimento das plantas, produção de biomassa, fertilidade do solo, estado nutricional, trocas gasosas e o desempenho fotossintético foram avaliados.

Palavras-chave: Silvicultura tropical, restauração ecológica, nutrição florestal, cumaru, ingá, paricá

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação de mestrado ao meu pai sempre amado, mesmo não estando mais entre nós fisicamente, tenho certeza que estará sempre presente em minha vida e no meu coração. Aos momentos de carinho, compreensão e dedicação.

Amo-te sempre.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar presente na minha vida e me proteger em todos os momentos, dando-me força, fé e coragem para continuar seguindo sempre em frente nesta grande jornada.

À toda minha família pelo apoio incondicional, incentivo e pelos bons momentos que passamos juntos, especialmente ao meu pai, minha mãe, meus irmãos e meus avós, amo muito todos vocês.

À toda equipe do Inpa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais pela grande oportunidade e incentivo.

Aos meus orientadores Dr. João Ferraz e Dr. José Francisco, pela ajuda material e emocional para o pleno desenvolvimento do meu trabalho, tenho crescido muito com seus ensinamentos.

À toda equipe da UHE-Balbina pelo apoio material e logístico, em especial a Evely, a Stella e ao Bruno que não mediram esforços para me ajudar sempre que necessário. Também a toda equipe de trabalhadores de campo e a Giseles, faça chuva faça sol, estávamos lá picando capoeira, abrindo covas e plantando mudas.

À toda equipe do Laboratório Temático de Solos e Plantas (Inpa): Karen, Rodrigo, Marcelo e Aline, em especial ao Jair pela ajuda na coleta de dados e à Raiane, uma grande amiga e parceira de dissertação nos momentos mais difíceis. Ao Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Vegetal: Larissa, Gilberto, Rebeca, Cris, João Victor, em especial ao Carlos e ao Saul pelo suporte e ao Marciel quem mais me ajudou e inspirou em todos os momentos, grande abraço e beijo aos companheiros Wandeco, Sabrina e lane que deram muito apoio emocional num momento difícil.

Aos colegas das turmas de mestrado e doutorado do CFT, e dos demais programas de pós-graduação do INPA, pela força, carinho, confiança e paciência, um carinho especial para a casa das meninas Carol, Lívias Granadeiro e Naman, Fê e Flavia que sempre me acolheram com muito conforto, e para a Milena que foi a primeira pessoa a abrir-me as portas em Manaus. Grande beijo e abraço para a Clarissa, Aroldo, Diego, Zanatta, Côco, Matheus, Gerê, Danete e aos grande amigos Felipe e Criscian.

À Fazenda Agropecuária Aruanã S/A por ter cedido às mudas de cumaru para este trabalho.

Aos professores do Programa de Ciências de Florestas Tropicais pelos ensinamentos, carinho e dedicação que desempenharam.

À Capes pela concessão da bolsa sem a qual não seria possível realizar esta pesquisa.

A todos meus amigos de São Paulo, Curitiba e mundo afora, irmãos pais e mães de coração, por toda dedicação, amor, carinho e atenção. Com vocês eu aprendo a ser um pouco melhor a cada dia.

À Amazônia e à floresta que nela habita, por nos proporcionar espetáculos de singular e pura beleza, têm sido bons anos.

À todos *MUITO OBRIGADO*, de coração!

RESUMO

Atualmente 20% da Amazônia Legal encontra-se degradado ou alterado. A necessidade de se restaurar estes ecossistemas torna-se cada dia maior, uma vez que reconhecemos os serviços prestados pela floresta. Conhecer a necessidade silvicultural de espécies nativas, e suas respostas ecofisiológicas à diferentes métodos de adubação, é de grande relevância para o desenvolvimento de plantios florestais, capazes de melhor utilizar os recursos disponíveis. Neste sentido, foi avaliada a influência de diferentes tratamentos de adubação no crescimento inicial, nas respostas fotossintéticas e nutricionais, e na produção de biomassa de três espécies leguminosas arbóreas, nativas da região amazônica, em um plantio florestal misto. O experimento foi instalado em uma área degradada no entorno da Usina Hidrelétrica Balbina (UHE – Balbina) no município de Presidente Figueiredo, AM. Os tratamentos de adubação foram: T1 = sem adubação, T2 = adubação de cova, T3 = adubação química, T4 = adubação verde e T5 = adubação verde mais química. Também foi avaliado o desempenho de três espécies *Dipteryx odorata*, *Inga edulis* e *Schizolobium amazonicum*. Para tanto, foram determinadas a porcentagem de sobrevivência, as taxas de crescimento absoluto e relativo, em altura e diâmetro, a produção de biomassa, os teores de nutrientes e pigmentos cloroplastídicos nas folhas, as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a*. *D. odorata* teve 100% de sobrevivência em todos os tratamentos. A menor taxa de sobrevivência para *I. edulis* foi verificada no T5, e para *S. amazonicum* no T2 e T4. As maiores taxas de crescimento absoluto em altura foram obtidas no T5 para as espécies *I. edulis* e *S. amazonicum*, 23,02 cm mês⁻¹ e 20,11 cm mês⁻¹ respectivamente. A espécie *D. odorata* obteve o maior crescimento em altura no T3 10,16 cm mês⁻¹. O mesmo comportamento foi observado nas taxas de crescimento absoluto em diâmetro. De maneira geral a espécie *I. edulis* obteve as maiores taxas de crescimento absoluto em comparação as demais espécies. As taxas de crescimento relativo foram maiores na espécie *S. amazonicum* tanto em altura como em diâmetro. A espécie *I. edulis* produziu maior biomassa que as demais espécies em todos os tratamentos. A maior diferença entre as espécies, para biomassa total, foi encontrada no tratamento T4, onde *I. edulis* produziu 23 vezes mais biomassa do que *D. odorata* e 7 vezes mais do que *S. amazonicum*. O melhor tratamento de adubação na produção de biomassa para *I. edulis* (7350,27 g) e *S. amazonicum* (1877,60 g) foi o T5, sendo que a espécie *D. odorata* apresentou valores muito próximos nos tratamentos T3 (455,00 g) e T5 (443,83 g). As altas taxas fotossintéticas encontradas no tratamento T5 para as três espécies *D. odorata* (13,08 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), *I. edulis* (20,65 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e *S. amazonicum* (18,24 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) refletiram a alta produtividade das espécies. As maiores taxas para condutância estomática e transpiração foram obtidas para a espécie *I. edulis*, em todos os tratamentos de adubação. Com relação à fluorescência da clorofila *a*, os maiores valores de F_v/F_m foram encontrados no tratamento T5 para a espécie *S. amazonicum* (0,80), os menores valores ocorreram para a espécie *I. edulis* no tratamento T1. Para o índice de desempenho os maiores valores também foram observados para a espécie *S. amazonicum* no tratamento T5, e os menores valores foram determinados nos tratamentos T1 e T2 para as espécies *D. odorata* e *I. edulis*, respectivamente. Os maiores teores de clorofila total foram encontrados nos tratamentos T3 (1,74 $\mu\text{mol g}^{-1}$) e T5 (1,82 $\mu\text{mol g}^{-1}$), para *D. odorata* e *I. edulis* respectivamente. Conclui-se desta forma a necessidade em se recuperar *a priori* a fertilidade do solo, para o estabelecimento de plantios florestais em áreas degradadas. Recomenda-se também o desenvolvimento de novas pesquisas com espécies nativas, na área de silvicultura tropical, a fim de desenvolver novas técnicas de plantios em reflorestamentos na Amazônia.

ABSTRACT

Currently 20% of the Amazon is degraded or altered. The need to restore these ecosystems becomes greater every day, once we recognize the services provided by the forest. Knowing the silvicultural needs of native species, and their ecophysiological responses to different methods of fertilization, is of great importance for the development of forest plantations, that can better use the resources available. In this sense, we evaluated the influence of different fertilization treatments on the growth, photosynthetic and nutritional responses, and biomass production of three leguminous trees, native of the Amazon region, in a mixed forest plantation. The experiment was conducted in a degraded area in the vicinity of the Balbina Hydroelectric Power Plant (UHE - Balbina) in the county of Presidente Figueiredo, AM. The fertilization treatments were: T1 = no fertilizer, T2 = manure pit, T3 = chemical fertilization, T4 = green manure, and T5 = green manure more chemical fertilization. We also assessed the performance of three species *Dipteryx odorata*, *Inga edulis* and *Schizolobium amazonicum*. Thus, we determined the percentage of survival, growth rates absolute and relative, in height and diameter, biomass production, nutrient content and chloroplastidic pigments in the leaves, gas exchange and chlorophyll fluorescence. *D. odorata* had 100% survival in all treatments. The lowest survival rate for *I. edulis* was found in the T5, and *S. amazonicum* in T2 and T4. The highest rates of absolute growth in height were obtained at T5 for the species *I. edulis* and *S. amazonicum*, 23.02 cm month⁻¹ and 20.11 cm month⁻¹ respectively. The species *D. odorata* had the highest height growth in T3 months 10.16 cm month⁻¹. The same behavior was observed in the rates of absolute growth in diameter. In general, the species *I. edulis* had the highest absolute growth rates compared to other species. The relative growth rates were higher in the *S. amazonicum* both in height and diameter. The species *I. edulis* produced more biomass than other species in all treatments. The biggest difference between species for total biomass was found in T4, where *I. edulis* biomass produced 23 times more than *D. odorata* and 7 times more than *S. amazonicum*. The best treatment of fertilization in biomass production for *I. edulis* (7350.27 g) and *S. amazonicum* (1877.60 g) was T5, and the species *D. odorata* presented values very close on the T3 (455.00 g) and T5 (443.83 g). The high productivity of the species reflected the high photosynthetic rates found in the T5 treatment for the three species *D. odorata* (13.08 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹), *I. edulis* (20.65 mol CO₂ m⁻² s⁻¹) and *S. amazonicum* (18.24 mol CO₂ m⁻² s⁻¹). The highest rates for stomatal conductance and transpiration were obtained for the species *I. edulis*, in all fertilization treatments. With respect to chlorophyll fluorescence, the highest values of FV / FM were found in the T5 treatment for the species *S. amazonicum* (0.80), the lowest values occurred for the species *I. edulis* on T1. For the performance index the highest values were also observed for the species *S. amazonicum* on treatment T5, and the lowest values were determined in T1 and T2 for the species *D. odorata* and *I. edulis*, respectively. The highest total chlorophyll levels were found in T3 (1.74 mmol g⁻¹) and T5 (1.82 mmol g⁻¹) for *D. odorata* and *I. edulis* respectively. We conclude then the necessity to restore soil fertility prior to the establishment of forest plantations in degraded areas. It is also recommended the development of new research with native species, in the area of tropical forestry, to develop new planting techniques for reforestation in the Amazon.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	5
Capítulo I: Sobrevivência, crescimento inicial, aspectos morfológicos e estado nutricional de três espécies leguminosas arbóreas, submetidas à adubação em um plantio florestal na Amazônia	
INTRODUÇÃO.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	15
RESULTADOS.....	18
DISCUSSÃO.....	41
CONCLUSÃO.....	50
Capítulo II: Trocas gasosas, fluorescência da clorofila <i>a</i> e eficiência no uso dos recursos hídricos de três espécies leguminosas arbóreas, submetidas a adubação em um plantio florestal misto na Amazônia	
INTRODUÇÃO.....	52
MATERIAL E MÉTODOS.....	54
RESULTADOS.....	56
DISCUSSÃO.....	62
CONCLUSÃO.....	66
CONCLUSÃO GERAL.....	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
ANEXO 1.....	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Teores médios de macro e micronutrientes do material vegetal (galhos + folhas) utilizado nos tratamentos com adubação verde, quantidades de nutrientes aplicados na 1ª e na 2ª aplicação.....10

Capítulo I: Sobrevivência, crescimento inicial, aspectos morfológicos e estado nutricional de três espécies leguminosas arbóreas, submetidas à adubação em um plantio florestal na Amazônia

Tabela 1: Porcentagem de sobrevivência de plantas jovens das três espécies plantadas *D. odorata*, *I. edulis*, *S. amazonicum*, nos diferentes tratamentos de adubação, 10 meses após o plantio em uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).....18

Tabela 2: Peso da matéria seca de folhas, caules e galhos, raízes, biomassa total e da parte aérea total das três espécies leguminosas arbóreas do plantio em área alterada, submetidas a diferentes adubações.....24

Tabela 3: Parâmetros morfológicos: número de folhas, comprimento do pecíolo e largura das folhas, área foliar e área foliar específica (AFE) de três espécies leguminosas arbóreas plantadas em área alterada, submetidas a diferentes adubações.....28

Tabela 4: Teores de macronutrientes em tecidos foliares das três espécies leguminosas arbóreas do plantio em área alterada, submetidas a diferentes adubações.....39

Tabela 5: Teores de micronutrientes em tecidos foliares das três espécies leguminosas arbóreas do plantio em área alterada, submetidas a diferentes adubações.....40

Capítulo II: Trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e eficiência no uso dos recursos hídricos de três espécies leguminosas arbóreas, submetidas a adubação em um plantio florestal misto na Amazônia

Tabela 1: Trocas gasosas em plantas de três espécies leguminosas arbóreas, em área alterada, submetidas a diferentes adubações. Fotossíntese líquida (A), respiração no escuro (R_d), condutância estomática (g_s) e transpiração (E), estimados a uma densidade de fluxo de fótons (PPDF) de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	57
Tabela 2: Variáveis de fluorescência da clorofila <i>a</i> em plantas de três espécies leguminosas arbóreas, em área alterada, submetidas a diferentes adubações. Fluorescência inicial (F_0), fluorescência máxima (F_m), fluorescência variável $F_v = F_m - F_0$, eficiência fotoquímica do PSII (F_v / F_m) e Índice de desempenho (PI_{ABS}).....	59
Tabela 3: Teores de pigmentos cloroplastídicos na base de massa foliar, para as três espécies plantadas, nos diferentes tratamentos de adubação. Clorofila <i>a</i> (chl <i>a</i>); clorofila <i>b</i> (chl <i>b</i>); carotenóides (c_{x+c}); clorofila total (chl <i>a</i> + chl <i>b</i>); clorofila <i>a</i> / clorofila <i>b</i> (chl <i>a</i> / chl <i>b</i>) e clorofila total / carotenóides (chl <i>a</i> / c_{x+c}).....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Foto aérea indicando a posição dos 6 blocos. Área de empréstimo “Aeroporto”, Distrito de Balbina, município de Presidente Figueiredo, AM.....9

Capítulo I: Sobrevivência, crescimento inicial, aspectos morfológicos e estado nutricional de três espécies leguminosas arbóreas, submetidas à adubação em um plantio florestal na Amazônia

Figura 1. Taxa de crescimento absoluto (TCA) das três espécies estudadas nos diferentes tratamentos de adubação, 10 meses após o plantio. TCA-h = taxa de crescimento absoluto em altura; TCA-d = taxa de crescimento absoluto em diâmetro.....20

Figura 2. Taxa de crescimento relativo (TCR) das três espécies estudadas nos diferentes tratamentos de adubação, 10 meses após o plantio. TCR-h = taxa de crescimento relativo em altura; TCR-d = taxa de crescimento relativo em diâmetro.....22

Figura 3. Concentração média de C no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada, após as aplicações dos tratamentos de adubação.....31

Figura 4. Concentração de N no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada, após as aplicações dos tratamentos de adubação.....31

Figura 5. Concentração de P no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada, após as aplicações dos tratamentos de adubação.....32

Figura 6. Concentração de K no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada, após as aplicações dos tratamentos de adubação.....32

Figura 7. Concentração de Ca no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada, após as aplicações dos tratamentos de adubação.....	33
Figura 8. Concentração de Mg no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada, após as aplicações dos tratamentos de adubação.....	34
Figura 9. Concentração de Fe no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada, após as aplicações dos tratamentos de adubação.....	35
Figura 10. Concentração de Zn no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada, após as aplicações dos tratamentos de adubação.....	35
Figura 11. Concentração de Al no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada, após as aplicações dos tratamentos de adubação.....	36

1. INTRODUÇÃO GERAL

O processo de degradação de ecossistemas naturais na Amazônia inicia-se através do desmatamento ou da exploração madeireira de alto impacto (Parrotta *et al.*, 2002; Chazdon, 2003; Asner *et al.*, 2005; Fearnside, 2008). Normalmente nestas áreas são instalados sistemas agropecuários (Ewers *et al.*, 2008; Barona *et al.*, 2010; Davidson *et al.*, 2012), que podem causar a degradação dos solos, de acordo com o manejo adotado (Moraes *et al.*, 1996; Fernandes *et al.*, 1997; Barros *et al.*, 2004). O método mais utilizado no preparo de extensas áreas agrícolas na região amazônica ainda é o da derrubada e queima da floresta (Jordan, 1985; Fearnside, 1996; Pedlowski, 1997, Lindell *et al.*, 2010), que atualmente é visto como o pior método (Denich *et al.*, 2005; Brienza Júnior *et al.*, 2011), responsável por grandes perdas nos estoques de vários nutrientes essenciais (p. ex. Ewel *et al.*, 1981; Eden *et al.*, 1991; Mackensen *et al.*, 1996; Davidson *et al.*, 2007; Kauffman *et al.*, 2009), sendo extremamente prejudicial à ciclagem de nutrientes (Vitousek e Sanford, 1986; Richards, 1996; Gomes e Luizão, 2011). Essas áreas, normalmente após três anos, entram em fase de pousio ou são abandonadas (Jordan, 1985; Joslin *et al.*, 2011).

O abandono destas áreas degradadas (alteradas) pode reverter o processo de degradação através da regeneração natural (Martins *et al.*, 1991; Aide *et al.*, 1995). No entanto, este é um processo lento que pode levar décadas, até mesmo séculos para retornar às condições naturais dos estoques de nutrientes e carbono (Saldarriga, 1985; Buschbacher *et al.*, 1988; Vitousek, 1994; Young, 2000). Plantios e métodos de restauração florestal por outro lado são capazes de acelerar o processo de regeneração natural (Guariguata *et al.*, 1995; Parrotta, *et al.*, 1997; Parrotta, 1999; Engel e Parrotta, 2001; Parrotta e Knowles, 2001; Cuzak e Montagnini, 2004; Lamb *et al.*, 2005; Tapia-Coral *et al.*, 2005; Zamora e Montagnini, 2007; Campoe *et al.*, 2010; Cole *et al.*, 2010; Paul *et al.*, 2010; Davidson *et al.*, 2012).

De fato a utilização de áreas degradadas para o estabelecimento de plantios florestais vem sendo recomendada por Evans e Turnbull (2004). Segundo Souza *et al.* (2010) mais de 10 milhões de hectares encontram-se degradados ou em processo de degradação na Amazônia, e o estabelecimento de plantios florestais em metade destas áreas representaria um incremento de 100% no total de florestas plantadas no país.

Neste sentido, os plantios florestais mistos podem desempenhar um papel múltiplo, acelerando a regeneração natural enquanto produzem bens e serviços florestais (Montagnini *et al.*, 1995; DeBell *et al.*, 1997; Keenan *et al.*, 1997; Parrotta e Turnbull, 1997; Carnevale e Montagnini, 2002; Lamb *et al.*, 2005), devido a capacidade de melhorar a fertilidade do solo e a ciclagem de nutrientes (Binkley *et al.*, 1992; Khanna, 1998; Montagnini, 2000; Rothe e Binkley, 2001; Forrester *et al.*, 2004; Tapia-Coral *et al.*, 2005). Também oferecerem uma maior diversidade de bens e produtos (Keenam *et al.*, 1995; Montagnini *et al.*, 1995; Khanna, 1997; Montagnini, 2000; Nichols *et al.*, 2001; Piotto *et al.*, 2004, Kelty, 2006).

Atualmente ainda existe um crescente reconhecimento dos valores conservacionistas de plantios mistos, pela redução da pressão antrópica sobre as florestas naturais, ou pela restauração de ecossistemas (Höfer *et al.*, 2001; Piotto *et al.*, 2004; Kelty, 2006; Souza *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2011). Normalmente é utilizada a combinação de uma espécie de valor comercial madeireiro e uma espécie facilitadora, por exemplo uma leguminosa fixadora de nitrogênio (Kelty e Cameron, 1995; Forrester *et al.*, 2006; Kelty, 2006).

As espécies leguminosas por sua vez, têm sido amplamente utilizadas na adubação verde, na reabilitação de solos, em plantios florestais mistos e no enriquecimento da capoeira (Franco e De Faria, 1997; Sanchez, 1999; Sprent e Parsons, 2000; Acosta-Duran e Martinez-Romero, 2002; Lojka *et al.*, 2008; De Faria *et al.*, 2010; Brienza Junior *et al.*, 2011), devido à capacidade que algumas espécies possuem em fixar nitrogênio atmosférico, através da simbiose com bactérias do gênero rizóbio (Doyle, 1998, Sprent, 2007; Franche *et al.*, 2009). Esta associação simbiótica pode resultar no aumento dos estoques de nitrogênio e carbono do solo e da literia (Franco e De faria, 1997; Ramos *et al.*, 2001; Nichols e Carpenter, 2006; Macedo *et al.*, 2008; Siddique *et al.*, 2008), e ainda aumentar a resistência das plantas a vários fatores ambientais de estresse (Franche *et al.*, 2009). São espécies potenciais para uso como facilitadoras da reabilitação de ecossistemas degradados (Franco e DeFaria, 1997; DeFaria 2010). Espécies leguminosas arbóreas tem ainda uma maior capacidade de melhorar a fertilidade do solo, em comparação às espécies herbáceas, por utilizarem

melhor os recursos hídricos e nutricionais das camadas mais profundas do solo (Pastor e Binkley, 1998; Rao e Mathuva, 2000; Sprent e Parsons, 2000).

Em solos antigos como no caso da bacia Amazônica a baixa fertilidade natural ocorre, devido ao processo de lixiviação e intemperização dos nutrientes (Lambers *et al.*, 2008). Nestes solos a aplicação de diferentes fontes de adubação pode promover grandes aumentos nas taxas de crescimento e na produtividade dos indivíduos. A adubação química promove um aumento na fertilidade do solo, podendo refletir em maiores taxas fotossintéticas e maior crescimento (Marschner, 2011). A adubação verde além de melhorar as propriedades químicas, também favorece as propriedades físicas e biológicas do solo (Biederbeck *et al.*, 1998; Liebman e Davis, 2000; Aulakh, 2001; Reddy *et al.*, 2003; Biederbeck *et al.*, 2005). Pode também aumentar a disponibilidade de alguns nutrientes (Aulakh *et al.*, 2000, Ferreira, 2009) e o estoque de carbono do solo (Chander *et al.*, 1997; Goyal *et al.*, 1999; Aulakh *et al.*, 2001; Cherr *et al.*, 2006). Na adubação verde normalmente são utilizadas espécies herbáceas e/ou leguminosas (Cherr *et al.*, 2006). No entanto, outra fonte de matéria orgânica e nutrientes é a vegetação secundária (capoeira), com a utilização de galhos e folhas de árvores em pé (Ferreira, 2009), ou com a derrubada e a incorporação da biomassa produzida durante o pousio (Kato *et al.*, 1999; Denich *et al.*, 2005; Joslin *et al.*, 2011).

Embora muitos estudos tenham avaliado as respostas de inúmeras espécies agrícolas e florestais a diferentes condições ambientais, pouco se conhece sobre as respostas de espécies florestais nativas da Amazônia, a diferentes tratamentos de adubação em ambientes degradados. Para tanto este trabalho foi dividido em dois capítulos. No Capítulo I será investigada a influência de diferentes tratamentos de adubação no estabelecimento, crescimento, produção de biomassa e nas relações solo-planta de três espécies leguminosas arbóreas *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd, *Inga edulis* Mart. e *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke. No capítulo II serão abordados aspectos fotossintéticos como as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a* e os teores de pigmentos cloroplastídicos, das três espécies estudadas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL: Investigar a influência de diferentes tratamentos de adubação verde e química, no estabelecimento, crescimento inicial, produção de biomassa, estado nutricional e nas respostas fotossintéticas, de três espécies leguminosas arbóreas *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd., *Inga edulis* Mart. e *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke, em um plantio florestal misto para restauração ecológica de uma área degradada no entorno da UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Determinar a influência de diferentes tratamentos de adubação na sobrevivência das espécies *D. odorata*, *I. edulis* e *S. amazonicum* (Capítulo I);
- 2) Avaliar a influência de diferentes tratamentos de adubação no crescimento e no acúmulo de biomassa, das espécies *D. odorata*, *I. edulis* e *S. amazonicum* (Capítulo I);
- 3) Parâmetros morfológicos (número de folhas, comprimento e largura das folhas, área foliar e área foliar específica) das três espécies (Capítulo I);
- 4) Concentrações de macro e micronutrientes no solo sobre plantio de espécies leguminosas (Capítulo I);
- 5) Teores de nutrientes foliares das espécies *D. odorata*, *I. edulis* e *S. amazonicum* (Capítulo I);
- 6) Trocas gasosas (fotossíntese, respiração no escuro, condutância estomática e transpiração) das espécies *D. odorata*, *I. edulis* e *S. amazonicum* (Capítulo II);
- 7) Parâmetros da fluorescência da clorofila *a* e os teores de pigmentos cloroplastídicos para as três espécies estudadas (Capítulo II).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O experimento foi instalado em uma área de empréstimo da Usina hidrelétrica de Balbina (UHE-Balbina) localizada no município de Presidente Figueiredo, a 146 km em linha reta de Manaus, AM (01° 55' S e 59 °28' W). A formação florestal predominante no entorno é a “Floresta Ombrófila Densa de Terra Firme”, (Veloso *et al.*, 1991). O clima úmido e quente da região é classificado como Af segundo Köppen, (1948), com temperaturas médias mensais superiores a 25°C, e precipitação média anual de 2280 mm. O período chuvoso ocorre entre os meses de dezembro a maio, e a época de menor precipitação de julho a setembro, quando ocorre em média 8 % da precipitação anual (Eletronorte, 1997). O relevo na área de estudo é suavemente ondulado com erosão em sulcos ocasionais e rasos, e padrão de drenagem dendrítico.

Os solos da área de influência da UHE-Balbina pertencem a duas classes pedológicas, os Argissolos Vermelho-Amarelos e os Latossolos Vermelho-Amarelos. Esses solos situam-se predominantemente em relevo suave ondulado a ondulado, possuem elevada acidez e baixa fertilidade natural. Os Argilossos são geralmente bem drenados, ácidos, profundos ou moderadamente profundos, originados principalmente pela decomposição de rochas do Pré-Cambriano e do Carbonífero. Os Latossolos Vermelho-Amarelos são bem drenados e resultam da decomposição de rochas do Pré-Cambriano e do Devoniano (Eletronorte, 1997).

3.2. Histórico da área experimental

Na área de empréstimo “aeroporto” (como é conhecida à área experimental) a vegetação foi completamente removida, mas a camada superficial do solo foi mantida. A área seria utilizada para a expansão da Vila de Balbina, no entanto foi abandonada a mais de 20 anos. Apesar dos sinais de degradação surgem algumas ilhas de vegetação, em diferentes níveis de regeneração. A floresta presente no entorno sofreu exploração madeireira, com a retirada dos indivíduos de maior interesse econômico e atualmente encontra-se em estágio de sucessão secundária.

3.3. Caracterização da regeneração natural

Para caracterizar a vegetação secundária (capoeira) presente na área foi realizado um levantamento das espécies presentes na regeneração natural (Anexo I), devido a sua utilização nos tratamentos de adubação verde. Foram identificadas, nas ilhas de vegetação e nas bordas da vegetação secundária, 25 espécies arbóreas e três espécies arbustivas e lianas. As famílias botânicas com a maior diversidade foram, Fabaceae e Clusiaceae, com 6 e 4 espécies respectivamente. Das espécies arbóreas de maior ocorrência podemos citar: *Vismia gracilis*, *Vismia guianensis*, *Bellucia grossularioides* e *Cecropia sciadophylla*.

3.4. Espécies estudadas

No experimento foram selecionadas espécies arbóreas das três subfamílias da família Fabaceae, *Dipteryx odorata* (cumaru), subfamília Faboideae, *Inga edulis* (ingá), Mimosoideae, e *Schizolobium amazonicum* (paricá), Caesalpinoideae. Com isso esperamos entender alguns mecanismos adaptativos das três subfamílias de leguminosas em ambientes degradados.

***Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. (cumaru) – Faboideae**

Árvore de grande porte, a espécie *Dipteryx odorata* é encontrada em florestas de terra firme e várzeas altas do baixo Amazonas, atingindo 30m de altura. Atualmente é vista como uma espécie promissora para plantios florestais (Souza e Mendonça, 1999). É amplamente utilizada na indústria madeireira, principalmente na confecção de dormentes (Ushida e Campos, 2000), e no revestimento de pisos laminados. A densidade da madeira de cumaru pode variar entre 1,04 e 1,0 g cm⁻³ para cerne e alburno respectivamente, segundo Suzuki *et al.* (2008) que determinou teores de extrativos na madeira de *D. odorata*, com valores para alcaloides e metanol de 13% e 7% respectivamente, e Imai *et al.* (2008) observaram alta atividade antioxidante nestes componentes extrativos. As sementes são ricas em cumarina, e muito utilizadas nas indústrias químicas, farmacêuticas, alimentícias e de cosméticos, e atualmente ainda foram descobertos componentes anticancerígenos (Jang *et al.*, 2003).

***Inga edulis* Mart. (ingá) – Mimosoideae**

As espécies do gênero Ingá são muito utilizadas para sombrear culturas agroflorestais perenes em regiões tropicais. Entre os benefícios de diversas espécies do gênero podemos citar fertilização do solo, controle da erosão, e supressão da vegetação invasora (Lawrence *et al.*, 1995). *Inga edulis*, espécie pioneira amplamente distribuída no Brasil, é a mais importante do gênero, devido à produção de frutos comestíveis, ao rápido crescimento e a grande produção de liteira, sendo amplamente utilizado em sistemas agroflorestais (Lojka *et al.*, 2010). Devido aos altos teores de polifenóis encontrados nas folhas de *I. edulis*, a taxa de decomposição do material vegetal é mais lenta, favorecendo o aumento dos estoques de nutrientes do solo principalmente os de N e C (Palm e Sanchez, 1991; Fisher, 1995), além do Ca e Mg (Arco-Verde *et al.*, 2009). A fixação de N₂ em um plantio de *I. edulis*, pode contribuir com o acréscimo de 44 kg [N] ha⁻¹ ano⁻¹ (Leblanc *et al.*, 2005), podendo favorecer o crescimento de espécies nativas como *Terminalia amazonia* através do plantio consorciado entre as duas espécies (Nichols e Carpenter, 2006).

***Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke (paricá) - Caesalpinioideae**

O *Schizolobium amazonicum* (paricá) é considerado uma espécie da sucessão secundária tardia, comportando-se como pioneira em plantios a pleno sol, onde apresenta um crescimento vigoroso. É uma espécie arbórea de grande porte e encontra-se amplamente distribuída em toda Amazônia brasileira, podendo chegar a 30m de altura. A madeira de *Schizolobium amazonicum* apresenta diversos usos, como a fabricação de forros, palitos, móveis e principalmente laminados e compensados (Siviero *et al.*, 2008). Atualmente é a espécie nativa mais utilizada em plantios florestais para fins madeireiros (Abraf, 2011), devido ao rápido crescimento e fuste de boa qualidade, sendo também recomendada para plantios mistos de restauração ecológica (Silva *et al.*, 2011). Siviero *et al.*, (2008) observaram um aumento significativo no crescimento da espécie através de associações entre bactérias do gênero *Rhizobium*, e fungos micorrizos (*Glomus clarum* e *Glomus etunicatum*) em condições de viveiro. Novos patógenos têm sido verificados para a espécie em plantios florestais, cancos causados pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae* foram observados por Tremacoldi *et al.*

(2008), e Mafia *et al.* (2003) observaram o tombamento de mudas causado por *Fusarium solani*.

3.5. Instalação do Experimento

O experimento foi instalado no mês de dezembro de 2010, início do período de maior precipitação. As mudas de *D. odorata* foram provenientes da Fazenda Aruanã (Itacoatiara), as mudas de *I. edulis* foram produzidas localmente no viveiro da UHE-Balbina, e do *S. amazonicum* no viveiro da Universidade Estadual do Amazonas em Manaus. As mudas foram selecionadas de acordo com critérios pré-estabelecidos de uniformidade para o tamanho, idade, lote de sementes e estado fitossanitário. O plantio foi instalado em seis blocos em áreas planas, livres da interferência das ilhas de vegetação ou dos sulcos de erosão (Figura 1). Cada bloco contendo os 15 tratamentos que são a combinação das três espécies nos 5 tratamentos de adubação (veja mais detalhes no item 3.8. Delineamento experimental).

Os tratamentos de adubação instalados foram: T1 = sem adubação, T2 = adubação de cova, T3 = adubação química, T4 = adubação verde e T5 = adubação verde mais química. Quinze dias antes da abertura das covas, foi aplicado 50 g de calcário dolomítico por muda, exceto no tratamento T1. As covas foram abertas manualmente com dimensões de 30 x 30 x 40 cm, 10 dias antes do plantio das mudas, para incorporação do adubo. O espaçamento utilizado foi o de 2 X 2 m. A adubação de cova foi aplicada em todos os tratamentos de adubação, exceto para o tratamento T1, nas formulações e quantidades por muda de: 150 g de adubo químico com macronutrientes (Fosmag[®] 4% N, 14% P, 7% K, 11,5% Ca, 2,7% Mg, 10,4% S, 0,07% B, 0,59% Zn e 0,15% Cu), e 15 g de adubo químico com micronutrientes (FTE BR-12[®] 7,1% Ca; 5,7% S; 1,8% B; 0,8% Cu; 2,0% Mn; 0,1% Mo e 9,0% Zn). Ao todo foram plantadas 252 mudas (18 indivíduos em cada tratamento) no experimento.



Figura 1: Foto aérea indicando a posição dos 6 blocos. Área de empréstimo “Aeroporto”, Distrito de Balbina, município de Presidente Figueiredo, AM.

3.6. Inoculação da espécie *Inga edulis*

No Laboratório de Microbiologia do Solo do Inpa (LMS-Inpa), foi preparada uma solução líquida em meio YM com pH 6,0, sem ágar e sem corante, com 6 estirpes de rizóbio (832, 835, 836, 841, 842, 847), da coleção de rizóbios do LMS-Inpa. A solução permaneceu sob agitação constante durante aproximadamente 10 dias. A inoculação foi realizada diretamente no campo em duas doses de 10 mL cada aplicação, em todos os tratamentos de adubação, exceto no tratamento T1. Apenas a espécie *I. edulis* foi inoculada, por ser a única espécie estudada capaz de nodular e fixar nitrogênio atmosférico através de simbiose.

3.7. Adubação dos tratamentos

Os tratamentos com adubação química e adubação verde mais química, além da adubação de cova, receberam duas adubações de cobertura aos 4 e 8 meses após o plantio. Na primeira adubação foram aplicados, manualmente ao redor de cada muda, 50 g de calcário dolomítico, 150 g de adubo químico com macronutrientes (Fosmag[®] 4% N, 14% P, 7% K, 11,5% Ca, 2,7% Mg, 10,4% S, 0,07% B, 0,59% Zn e

0,15% Cu), e 15 g de adubo químico com micronutrientes (FTE BR-12[®] 7,1% Ca; 5,7% S; 1,8% B; 0,8% Cu; 2,0% Mn; 0,1% Mo e 9,0% Zn). Na segunda aplicação, 8 meses após o plantio, foi aplicado, por muda, 50 g de calcário dolomítico, e 150 g de adubo químico NPK (4% N, 14% P, 8% K) sem micronutrientes.

Os tratamentos com adubação verde, além da adubação de cova, receberam aplicações do material vegetal picado (galhos finos e folhas) em dois momentos, uma semana antes do plantio e 4 meses após o plantio. O material vegetal selecionado para a picagem foi retirado da capoeira no entorno da área experimental. Foram coletados folhas e galhos finos com até 2 cm de diâmetro de diversas espécies. Esse material foi agrupado em feixes e cortado em segmentos de aproximadamente 10 cm. Foram aplicados 12,45 kg m² (124 ton ha⁻¹) de biomassa verde, ou 6,78 kg m² (67,8 ton.ha⁻¹) de biomassa seca na primeira aplicação, e 5,52 kg m² (55,2 ton ha⁻¹) de biomassa verde, ou 3,07 kg m² (30,7 ton ha⁻¹) de biomassa seca na segunda aplicação. A altura média da camada de cobertura orgânica foi de 20 cm com o material verde a Tabela 1 resume os teores médios dos macro e micronutrientes do material vegetal aplicado.

Tabela 1. Teores médios de macro e micronutrientes do material vegetal (galhos + folhas) utilizado no tratamento com adubação verde (n=10). Quantidade de nutrientes em cada aplicação.

Macronutrientes			
	Galhos+folhas	1ª aplicação	2ª aplicação
		kg ha ⁻¹	
C [dag kg ⁻¹]	48,11 ± 0,85	3261,99	1477,04
N [g kg ⁻¹]	10,69 ± 1,47	724,78	328,18
P [g kg ⁻¹]	0,45 ± 0,13	30,51	13,82
K [g kg ⁻¹]	3,93 ± 0,79	266,45	120,65
Ca [g kg ⁻¹]	5,31 ± 0,76	360,02	163,02
Mg [g kg ⁻¹]	1,52 ± 0,19	103,06	46,66
Micronutrientes			
	Galhos+folhas	1ª aplicação	2ª aplicação
		kg ha ⁻¹	
Fe [mg kg ⁻¹]	244,22 ± 96,78	16,56	7,50
Zn [mg kg ⁻¹]	23,73 ± 6,52	1,61	0,73

3.8. Delineamento experimental e análises estatísticas

O desenho experimental utilizado foi o de blocos casualizados sendo instalados seis blocos com dimensões de 12 X 18 m. Trata-se de um desenho fatorial com dois fatores (two-way): espécie e adubação. Em cada bloco encontram-se os 15 tratamentos, que são uma combinação dos dois fatores, com três espécies estudadas e cinco tratamentos de adubação. Cada tratamento foi replicado três vezes em cada bloco. Os resultados foram submetidos à análise de variância fatorial (3X5) para todas as variáveis coletadas. Sendo detectado efeito significativo para um dos fatores, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste post-hoc de Fischer ($p \leq 0,05$). Foram avaliadas apenas as diferenças entre os tratamentos de adubação para uma mesma espécie, ou as diferenças entre as três espécies em um mesmo tratamento de adubação. As análises estatísticas foram realizadas com a utilização do software estatístico Systat (versão 12.0).

Capítulo 1

Sobrevivência, crescimento inicial, aspectos morfológicos e estado nutricional de três espécies leguminosas arbóreas, submetidas à adubação em um plantio florestal misto na Amazônia

1. INTRODUÇÃO

Apesar da taxa de desmatamento na Amazônia brasileira demonstrar uma forte tendência de queda nos últimos anos, a degradação de ecossistemas naturais pela exploração madeireira continua alta (www.inpe.gov, 2012). Atualmente 20% do bioma Amazônia encontra-se degradado ou descaracterizado (Imazon, 2009). Em mais de 50% destas áreas foram instalados sistemas pecuários de produção, e a grande preocupação agora está voltada para a expansão da agricultura, principalmente dos plantios de soja que tem crescido na região (Davidson *et al.*, 2012). Com a exploração e a conseqüente retirada de nutrientes do ecossistema, podem ocorrer alterações nas condições ambientais, e na produtividade dos indivíduos, principalmente na Amazônia, onde a floresta depende quase que exclusivamente do processo de reciclagem de nutrientes (Morais *et al.*, 2007). Extensas áreas rapidamente podem tornar-se improdutivas de acordo com as técnicas de manejo adotadas (Jordan, 1985; Gomes e Luizão, 2011; Joslin *et al.*, 2011).

A implantação de plantios florestais com espécies nativas em áreas degradadas na Amazônia pode ser uma alternativa social, econômica e ambiental para a região (Evans e Turnbull, 2004; Lamb *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2010), pois estes podem desempenhar um papel múltiplo de acelerar a regeneração natural enquanto produzem bens e serviços florestais (Keenan *et al.*, 1995; Montagnini *et al.*, 1995; DeBell *et al.*, 1997; Parrotta e Turnbull, 1997; Lamb *et al.*, 2005), reduzindo a pressão antrópica sobre as florestas naturais (Höfer *et al.*, 2001; Piotto *et al.*, 2004; Kelty, 2006; Souza *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2011).

Entender o comportamento inicial (estabelecimento e crescimento) de espécies florestais nativas da Amazônia, e suas respostas a diferentes fontes de adubação é de grande relevância para melhorar a silvicultura, e o desempenho de plantios florestais na região. Com o devido planejamento, através da combinação eficiente das espécies, podemos melhorar a produtividade seja de biomassa, madeira ou outros produtos não-madeireiros. Uma ferramenta poderosa utilizada para conhecer o desempenho inicial das espécies em condições de campo, é a análise de crescimento de plantas onde podemos comparar indivíduos geneticamente distintos, em diferentes condições ambientais (Benincasa, 1986; Hunt, 1990). Através destas técnicas podemos verificar

se determinada condição ambiental ou prática de manejo é mais apropriada para determinada espécie, ou ainda comparar o desempenho de diferentes espécies em condições ambientais similares (Hunt, 1990).

Sabe-se que as condições ambientais afetam a magnitude do crescimento vegetal. Neste sentido, as plantas desenvolveram uma grande quantidade de mecanismos de adaptação e resistência, para manter a produtividade e garantir a sobrevivência sobre inúmeras condições de estresse causadas pelo ambiente (Cakmak, 2005). Na Amazônia onde os solos em sua maioria apresentam baixa fertilidade natural e baixo pH, o crescimento pode ser bastante reduzido pela restrita disponibilidade de nutrientes do solo (Neves *et al.*, 1999). A deficiência destes nutrientes reduz o crescimento da parte aérea da planta, reduzindo o número e o tamanho das folhas (Lawlor, 2002; Santos Junior, 2003). O conhecimento das necessidades nutricionais das plantas é fundamental para a escolha do método de manejo do solo mais adequado (Morais *et al.*, 2007), de fato a combinação ideal dos diversos elementos pode contribuir para o aumento das taxas de crescimento absoluto, relativo e o acúmulo de biomassa (Agren, 2008).

Frente às condições encontradas em um ambiente degradado, o restabelecimento das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, torna-se fundamental a fim de reabilitar a área para implantação de plantios de restauração ecológica que utilizem espécies florestais de valor comercial (Ferreira, 2009). No processo de restauração ecológica é importante conhecer e utilizar espécies florestais de rápido crescimento capazes de produzir grande quantidade de biomassa, utilizando eficientemente os recursos naturais, como luz, água e nutrientes (Santos Junior *et al.*, 2006; Silva *et al.* 2006; Silva *et al.* 2008).

Neste contexto, foi elaborada a hipótese de que o uso de diferentes fontes de adubação, em um plantio florestal misto poderá favorecer o crescimento em altura e diâmetro, a produção de biomassa, e o estado nutricional das três espécies arbóreas leguminosas, proporcionado pela melhoria da fertilidade do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Sobrevivência

O estabelecimento inicial das espécies foi determinado através da porcentagem de sobrevivência (Benincasa, 1986; Santos Junior *et al.*, 2006), obtida por meio da razão entre o total de plantas vivas dez meses após o plantio e o número de mudas plantadas no início do experimento em cada tratamento.

2.2. Análise de crescimento

O crescimento inicial das espécies foi avaliado através da determinação das taxas de crescimento absoluto (TCA) e relativo (TCR) das dimensões altura e diâmetro, e pela mensuração de parâmetros morfológicos e unidades estruturais, como área foliar, largura e comprimento das folhas e número de folhas. A coleta de dados das variáveis de crescimento, comprimento do caule (CC) e diâmetro a altura do solo (DAS), foi realizada em dois momentos, com seis repetições em cada tratamento (n = 6 blocos). A primeira mensuração ocorreu em janeiro de 2011, marcando o início do experimento, a segunda medição foi realizada dez meses após a primeira, no início do mês de novembro do mesmo ano. As taxas de crescimento absoluto e relativo foram determinadas pela diferença entre as medidas no final e no início do experimento. As taxas de crescimento absoluto em altura (TCA-h) e diâmetro (TCA-d), e relativo em altura (TCR-h) e diâmetro (TCR-d) foram calculadas conforme Benincasa (1986) e Hunt (1990):

$$TCA-h = (H_2 - H_1)/(t_2 - t_1) \quad (1)$$

$$TCA-d = (D_2 - D_1)/(t_2 - t_1) \quad (2)$$

$$TCR-h = (\text{Log}H_2 - \text{Log}H_1)/(t_2 - t_1) \quad (3)$$

$$TCR-d = (\text{Log}D_2 - \text{Log}D_1)/(t_2 - t_1) \quad (4)$$

onde: H_1 = altura (CC) inicial (cm), H_2 = altura final (cm), D_1 = diâmetro (DAS) inicial (mm), D_2 = diâmetro (DAS) final (mm), t_1 = tempo inicial (meses) e t_2 = tempo final (meses).

2.3. Produção de biomassa

Na avaliação do crescimento e do estabelecimento do plantio também foi determinado o peso da matéria seca para todos os tratamentos. A coleta foi realizada onze meses após o plantio em novembro de 2011, marcando o final do experimento. Cada indivíduo coletado no campo foi compartimentado em folhas, caules e galhos, e raízes, e então levados ao Laboratório Temático de Solos e Plantas do Inpa (LTSP – Inpa), sendo coletados seis indivíduos em cada tratamento ($n = 6$ blocos). O material foi preparado e acondicionado em uma estufa de ventilação forçada a 65°C para folhas e galhos finos, e 105°C para caules e galhos grossos, até atingir peso constante (Resende *et al.*, 1999; Zhao *et al.*, 2001; Schroth *et al.*, 2002; Lamers *et al.*, 2005). Após a secagem, o material foi pesado em uma balança digital (Mettler PM 30–K) com precisão de 0,01 g. Foram determinados os pesos de matéria seca de folhas, caules e galhos, e raízes, e calculadas a biomassa da parte aérea total, a biomassa total, e a razão raiz/parte aérea.

2.4. Parâmetros morfológicos

A determinação da área foliar foi realizada com o medidor de área foliar (LI-COR 3000), em folhas completamente expandidas, situadas no terço médio da planta, expostas a pleno sol. Foram obtidas as médias de quatro folhas por indivíduo, sendo medidos 6 indivíduos em cada tratamento ($n = 6$ blocos). Para a espécie *S. amazonicum*, cada repetição foi obtida através da média de 10 foliólulos por indivíduo. A área foliar específica (AFE) foi determinada através da razão entre a área foliar e a massa foliar seca a 70° C por 72 horas (Evans e Pooter, 2001), sendo utilizados 10 discos foliares de área conhecida (0,28 cm²) por indivíduo.

2.5. Fertilidade do solo

As amostras de solo foram coletadas no final do experimento, com 6 repetições para cada tratamento de adubação ($n = 6$ blocos). Para cada tratamento de adubação foram coletadas amostras nas seguintes profundidades 0-2,5 cm, 2,5-7,5 cm, 7,5-20 cm, 20-40 cm. Cada amostra foi composta de três sub-amostras simples coletadas a uma distância de 30 cm do caule da planta.

Foram determinadas para cada amostra composta, as concentrações dos macronutrientes (N, P, K, Ca e Mg), dos micronutrientes (Fe. e Zn), além dos teores de C e Al do solo. Os valores de $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ foram obtidos potenciométricamente, através da medição da concentração efetiva de ions H^+ , utilizando um eletrodo combinado, imerso em suspensão de solo e água na proporção 1:2,5. As extrações de Ca, Mg e Al foram realizadas a partir de uma solução extratora de KCl 1 M (Miyazawa *et al.*, 1999), onde o Ca e Mg foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o Al pelo método de titulação com NaOH (Embrapa, 2009). Os macronutrientes P e K e os micronutrientes Fe e Zn foram extraídos com solução Mehlich 1 (HCl 0,05 M + H_2SO_4 0,0125 M), sendo o P determinado por espectrofotometria efetuando a leitura da densidade ótica no fotocolorímetro ($\lambda = 660 \text{ nm}$), usando filtro vermelho, e o K e os micronutrientes determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Perkin-Elmer 1100B).

2.6. Teores foliares de nutrientes

Os teores foliares de macro e micronutrientes foram determinados em todos os tratamentos no final do experimento, com 6 repetições em cada tratamento ($n = 6$ blocos). As amostras foram secas em estufa a 65°C até peso constante, sendo cada uma composta de quatro folhas por indivíduo, situadas no terço médio e expostas a pleno sol. Para determinação dos teores de nitrogênio, foram pesadas amostras contendo 0,1g de matéria seca submetidas a uma pré-digestão, durante uma noite, e posteriormente a uma digestão com duplo ácido ($\text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$), utilizando-se sulfato de lítio e selênio como catalisadores, a uma temperatura gradativa até 350°C , segundo metodologia descrita por Miyazawa *et al.* (1999). O nitrogênio total foi determinado de acordo com o método de Kjeldahl, a partir de uma alíquota de 25 ml do extrato puro. Os demais macro e micronutriente foram determinados a partir de amostras contendo 0,5 g de matéria seca submetidas à digestão nitro-perclórica, com temperatura ajustada de 50 em 50°C , em intervalos de 30 minutos, até atingir 210°C . Posteriormente o P foi determinado por espectrofotometria a 725 nm conforme Vitti e Ferreira (1997). A partir do mesmo extrato nitro-perclórico foram retiradas alíquotas para a determinação dos teores de K, Ca, Mg, Fe, Zn e Mn, por espectrofotometria de absorção atômica (Perkin-Elmer 1100B) (Embrapa, 2009).

3. RESULTADOS

3.1. Sobrevivência

A espécie *D. odorata* apresentou 100% de sobrevivência em todos os tratamentos de adubação. *I. edulis* teve 100% de sobrevivência nos tratamentos T1, T2 e T3, 94,44% no T4 e o menor valor no T5 (83,33%) (Tabela 1). *S. amazonicum* teve 100% de sobrevivência apenas no tratamento T3, 93,75% no T5 e 87,50% nos tratamentos T2 e T4 (Tabela 1).

Tabela 1: Porcentagem de sobrevivência de plantas jovens das três espécies plantadas *D. odorata*, *I. edulis*, *S. amazonicum*, nos diferentes tratamentos de adubação, 10 meses após o plantio em uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).

Adubação	Espécies		
	<i>Dipteryx odorata</i>	<i>Inga edulis</i>	<i>Schizolobium amazonicum</i>
	Sobrevivência (%)		
S/ adubação	100,00	100,00	ND*
Ad. Cova	100,00	100,00	87,50
Ad. Química	100,00	100,00	100,00
Ad. Verde	100,00	94,44	87,50
Ad. V. + Q.	100,00	83,33	93,75

* ND = Não disponível

3.2. Crescimento em altura e diâmetro

Foram verificados efeitos significativos dos dois fatores adubação e espécie em relação a TCA-h e a TCA-d. A espécie *D. odorata* atingiu a maior TCA-h no tratamento T3, com valores médios de 12,24 cm mês⁻¹, um incremento de 1216% com relação ao T1 (0,93 cm mês⁻¹) (Figura 1). O tratamento T5 (10,16 cm mês⁻¹) apresentou valores inferiores ao T3, no entanto essas diferenças não foram significativas ($p > 0,05$).

As espécies *I. edulis* e *S. amazonicum* obtiveram as maiores TCA-h no tratamento T5, 23,02 cm mês⁻¹ e 20,11 cm mês⁻¹ respectivamente. Para a espécie *I. edulis* o T5 foi superior aos demais tratamentos de adubação, com um acréscimo de 637% em relação ao T1 (3,12 cm mês⁻¹) (Figura 1). Para *S. amazonicum* a aplicação simultânea de adubo verde e químico também proporcionou um aumento significativo na TCA-h. O tratamento T5 foi superior aos demais tratamentos de adubação, com um

acrécimo de 223% em comparação ao tratamento T2 (6,21 cm mês⁻¹) (Figura 1). Na comparação das espécies dentro do mesmo tratamento de adubação, o crescimento da espécie *I. edulis* foi superior as demais espécies em todos os tratamentos de adubação, sendo estatisticamente igual ao *S. amazonicum* apenas no T5 ($p > 0,05$). *S. amazonicum* obteve maior TCA-h em relação a espécie *D. odorata* no tratamento de T5 ($p < 0,001$), nos demais tratamentos de adubação as diferenças encontradas não foram significativas (Figura 1).

O crescimento absoluto em diâmetro demonstrou uma tendência similar ao crescimento em altura. Quanto às taxas de crescimento absoluto em diâmetro (TCA-d) a espécie *D. odorata* obteve os maiores valores nos tratamentos T3 e T5 (1,54 mm mês⁻¹ e 1,27 mm mês⁻¹) respectivamente um crescimento 6 vezes superior em relação aos valores encontrados no T1 (0,26 mm mês⁻¹) (Figura 1). Para *I. edulis* os melhores tratamentos de adubação foram T4 e T5 com valores médios de 5,34 mm mês⁻¹ e 6,04 mm mês⁻¹ respectivamente, o tratamento T5 foi 6 vezes superior ao tratamento T1 que cresceu em média 1,00 mm mês⁻¹ (Figura 1). A espécie *S. amazonicum* cresceu em média 4,45 e 3,11 mm mês⁻¹ nos tratamentos T5 e T4 respectivamente. Quando comparadas as espécies entre si em um mesmo tratamento de adubação, a espécie *I. edulis* apresentou novamente maiores valores para TCA-d em todos os tratamentos de adubação, o crescimento em diâmetro da espécie *S. amazonicum* foi superior ao de *D. odorata* em todos os tratamentos (Figura 1).

Em relação às taxas de crescimento relativo em altura (TCR-h) e diâmetro (TCR-d) também foi observado o efeito dos dois fatores adubação e espécie. Quando comparamos os tratamentos de adubação as três espécies se comportaram de forma similar ao crescimento absoluto. Com relação à TCR-h a espécie *D. odorata* obteve os maiores valores nos tratamentos T5 e T3 respectivamente 0,059 cm cm⁻¹ mês⁻¹ e 0,065 cm cm⁻¹ mês⁻¹, um acréscimo de 550% no T3 em relação aos menores valores encontrados no tratamento T1 (0,010 cm cm⁻¹ mês⁻¹) (Figura 2).

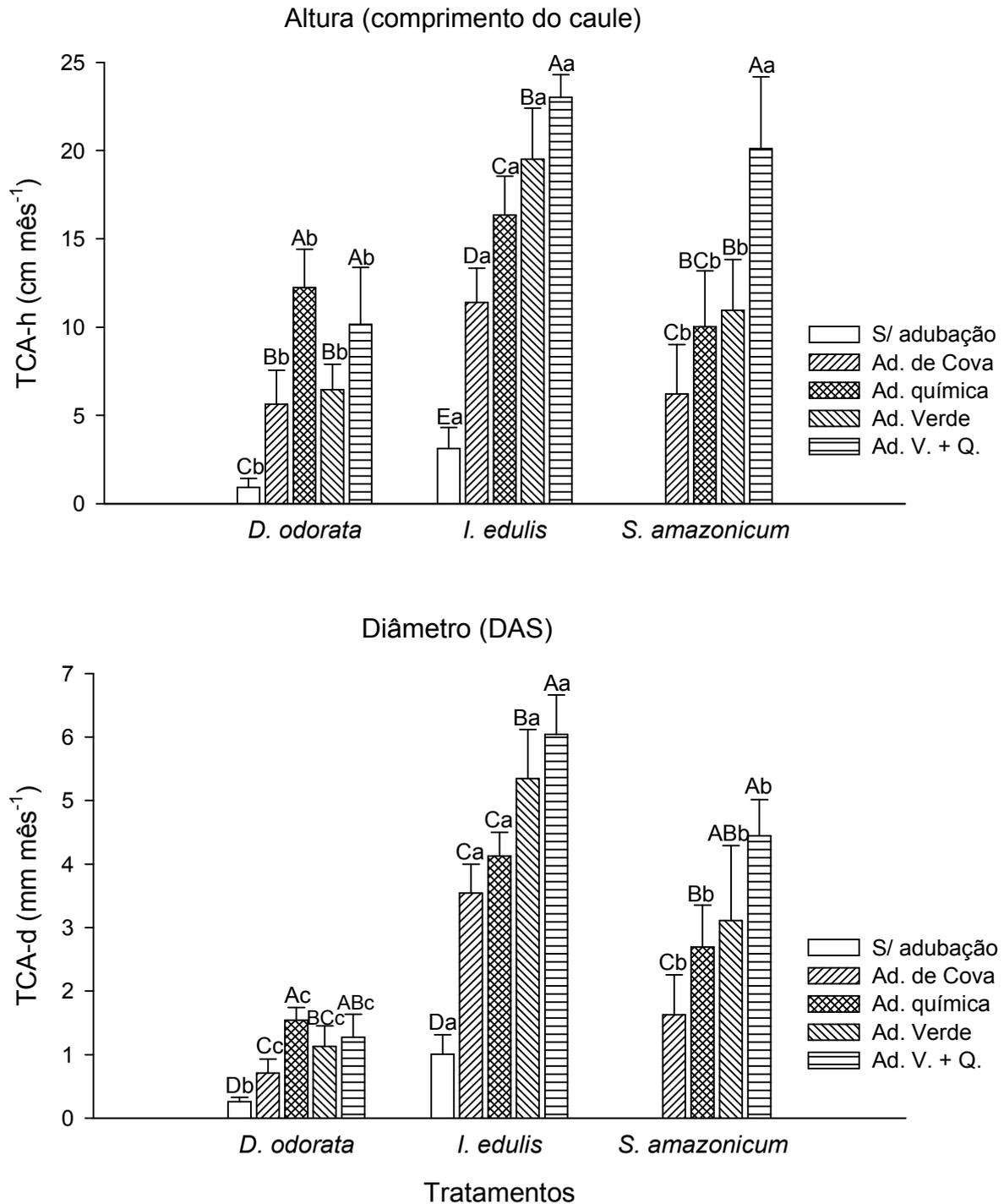


Figura 1: Taxa de crescimento absoluto (TCA) das três espécies estudadas nos diferentes tratamentos de adubação, 10 meses após o plantio na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM). TCA-h = taxa de crescimento absoluto em altura; TCA-d = taxa de crescimento absoluto em diâmetro. Médias de 6 blocos (\pm desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer. Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação para cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies dentro de um mesmo tratamento de adubação.

Para a espécie *I. edulis* as maiores TCR-h foram encontradas nos tratamentos T4 e T5 ($0,080 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ e $0,087 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$) um incremento de 234% em relação aos valores encontrados no tratamento T1 ($0,026 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$). *S. amazonicum* obteve as maiores TCR-h no tratamento T5 ($0,125 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$), diferente estatisticamente dos demais tratamentos de adubação, sendo que os menores valores para a espécie foram observados no tratamento T2 ($0,072 \text{ cm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$) (Figura 2).

O mesmo comportamento em relação ao crescimento relativo em altura foi observado na TCR-d. A espécie *D. odorata* teve as maiores taxas nos tratamentos T3 e T5 ($0,057 \text{ mm mm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ e $0,052 \text{ mm mm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$), respectivamente. As TCR-d para *I. edulis* variaram entre $0,044 \text{ mm mm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ e $0,107 \text{ mm mm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ nos tratamentos T1 e T5 respectivamente (Figura 2). A espécie *S. amazonicum* obteve as maiores TCR-d no tratamento T5 ($0,117 \text{ mm mm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$), diferente dos demais tratamentos de adubação, os menores valores foram encontrados no tratamento T2 ($0,075 \text{ mm cm}^{-1} \text{ mês}^{-1}$). Diferente das taxas de crescimento absoluto os maiores valores para TCR foram observadas para a espécie *S. amazonicum*. A espécie *I. edulis* obteve taxas de crescimento relativo em altura e diâmetro próximas a *D. odorata* e *S. amazonicum* (Figura 2).

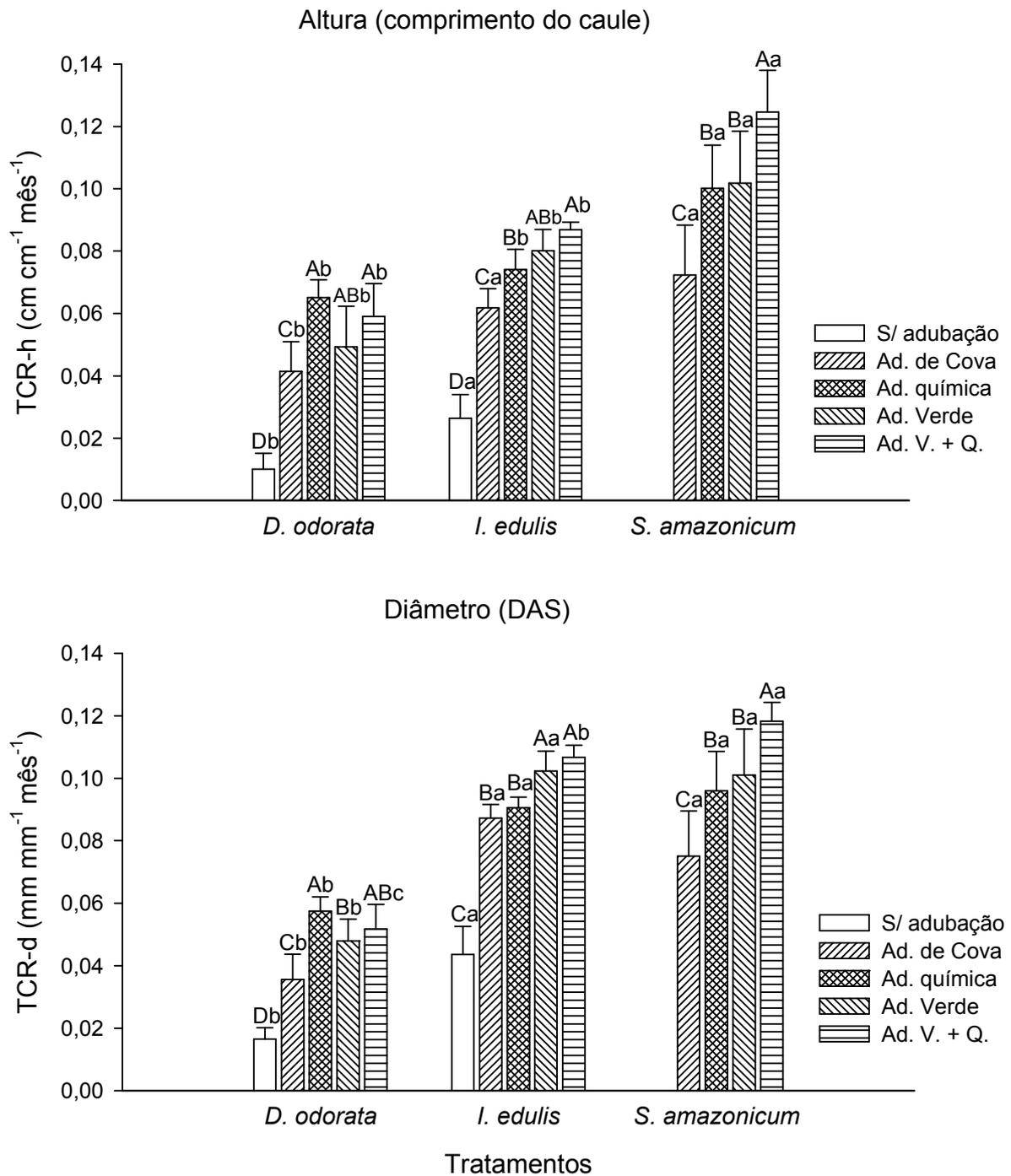


Figura 2: Taxa de crescimento relativo (TCR) das três espécies estudadas nos diferentes tratamentos de adubação, 10 meses após o plantio na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM). TCR-h = taxa de crescimento relativo em altura; TCR-d = taxa de crescimento relativo em diâmetro. Médias de 6 blocos (\pm desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer. Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação para cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies dentro de um mesmo tratamento de adubação.

3.3. Biomassa

Foram detectados para biomassa, efeitos significativos dos dois fatores adubação e espécie, em todos os compartimentos assim como para biomassa da parte aérea total e para biomassa total. A espécie *D. odorata*, investiu mais na produção de folhas do que em material lenhoso. Os tratamentos de adubação com maior acúmulo de biomassa para a espécie, nos três compartimentos, foram T3 e T5 com valores médios muito próximos entre si e iguais estatisticamente (folhas $p > 0,05$; caule $p > 0,05$; raízes $p > 0,05$). Verificou-se também um acúmulo de biomassa da parte aérea total 22,6 vezes superior, no tratamento T3 (357,83 g) em relação ao T1 (15,83 g) (Tabela 2). Com relação à razão parte aérea/raiz (PA/R) foi possível observar que os tratamentos T4 e T5, investiram menos em raízes, proporcionalmente, em comparação aos tratamentos T1 e T2.

A espécie *I. edulis* investiu mais na produção de caules e galhos do que em folhas em todos os tratamentos, sendo que o tratamento T5 (5.252,67 g) acumulou 56 vezes mais biomassa da parte aérea total do que o tratamento T1 (93,50 g) (Tabela 2). Ainda para a mesma espécie não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos T3 e T4, nos três compartimentos (folhas $p > 0,05$; caule $p > 0,05$; raízes $p > 0,05$). Apesar da espécie ter produzido mais matéria seca de raízes no T5, o aumento da razão PA/R neste tratamento indica um maior investimento na parte aérea em relação aos demais tratamentos de adubação.

S. amazonicum assim como *I. edulis* também investiu mais em material lenhoso do que em folhas em todos os tratamentos de adubação. O tratamento com maior acúmulo de biomassa total para esta espécie foi o tratamento T5 (1.877,60 g). A maior diferença observada entre os tratamentos de adubação para a espécie ocorreu na variável parte aérea total onde a produção de biomassa foi 13 vezes superior no tratamento T5 (1.324,17 g) em relação ao T2 (98,28 g) (Tabela 2). O tratamento T3 promoveu um aumento da razão PA/R para a espécie, indicando um menor investimento no sistema radicular neste tratamento.

Quando comparadas as espécie em um mesmo tratamento de adubação a espécie *I. edulis* foi capaz de acumular mais matéria seca em todos os tratamentos de

Tabela 2: Peso da matéria seca de folhas, de caules e galhos, da parte aérea total, das raízes, peso seco total, e razão raiz/parte aérea R/PA, das três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).

Espécies	Adubação	Variáveis		
		Folhas	Caules e galhos (g)	Parte aérea total
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	8,00 ± 3,65 Cb	7,83 ± 1,34 Cb	15,83 ± 4,81 Cb
	Ad. Cova	27,83 ± 6,74 Cb	20,83 ± 6,09 Cb	48,67 ± 11,31 Cb
	Ad. Química	189,67 ± 56,01 Ab	168,17 ± 57,88 Ab	357,83 ± 110,58 Ab
	Ad. Verde	78,05 ± 27,20 Bb	72,75 ± 29,98 Bb	150,80 ± 56,77 Bb
	Ad. V. + Q.	188,17 ± 52,40 Ab	168,67 ± 48,34 Ab	356,83 ± 92,05 Ab
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	36,67 ± 20,29 Da	56,83 ± 23,69 Da	93,50 ± 43,10 Da
	Ad. Cova	404,83 ± 118,37 Ca	615,83 ± 249,58 Ca	1020,67 ± 347,05 Ca
	Ad. Química	1154,17 ± 221,11 Ba	1282,00 ± 342,51 Ba	2436,17 ± 386,69 Ba
	Ad. Verde	1478,50 ± 672,85 Ba	1538,17 ± 375,40 Ba	3016,67 ± 973,47 Ba
	Ad. V. + Q.	2477,17 ± 594,93 Aa	2775,50 ± 831,94 Aa	5252,67 ± 1381,15 Aa
<i>Schizolobium amazonicum</i>	S/ adubação	ND*	ND*	ND*
	Ad. Cova	29,45 ± 11,04 Cb	68,83 ± 35,86 Bb	98,28 ± 45,88 Cb
	Ad. Química	175,00 ± 73,58 Bb	187,17 ± 95,86 Bb	362,17 ± 161,22 BCb
	Ad. Verde	163,33 ± 74,44 Bb	266,33 ± 171,08 Bb	429,67 ± 230,78 Bb
	Ad. V. + Q.	598,50 ± 141,60 Ab	725,67 ± 274,38 Ab	1324,17 ± 374,89 Ab

*ND = Não disponível

Médias de seis plantas (\pm desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer. Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação em cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies em um mesmo tratamento de adubação.

Tabela 2 continuação: Peso da matéria seca de folhas, de caules e galhos, da parte aérea total, das raízes, peso seco total, e razão raiz/parte aérea R/PA, das três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).

Espécies	Adubação	Variáveis		
		Raízes	Biomassa total	Razão PA/R
		(g)		
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	8,33 ± 3,20 Cb	24,17 ± 7,31 Cb	2,11 ± 0,76 Ca
	Ad. Cova	18,50 ± 6,85 BCb	67,17 ± 17,04 Cb	3,02 ± 1,38 BCa
	Ad. Química	97,17 ± 16,28 Ab	455,00 ± 124,32 Ab	3,64 ± 0,63 ABb
	Ad. Verde	35,17 ± 13,22 Bb	185,97 ± 67,71 Bb	4,41 ± 1,45 Aa
	Ad. V. + Q.	85,00 ± 36,25 Ac	443,83 ± 120,43 Ac	4,46 ± 1,00 Aa
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	63,83 ± 32,40 Da	157,33 ± 69,33 Da	1,64 ± 0,62 Ca
	Ad. Cova	711,60 ± 93,35 Ca	1732,27 ± 386,55 Ca	1,44 ± 0,47 Cb
	Ad. Química	1450,80 ± 338,60 Ba	3886,97 ± 457,59 Ba	1,79 ± 0,61 BCc
	Ad. Verde	1303,86 ± 433,66 Ba	4320,53 ± 1395,00 Ba	2,33 ± 0,24 ABb
	Ad. V. + Q.	2097,60 ± 276,76 Aa	7350,27 ± 1505,75 Aa	2,52 ± 0,63 Ab
<i>Schizolobium amazonicum</i>	S/ adubação	ND*	ND*	ND*
	Ad. Cova	44,17 ± 31,82 Cb	142,44 ± 75,00 Cb	2,71 ± 0,78 Ba
	Ad. Química	94,50 ± 54,50 BCb	456,67 ± 212,46 BCb	4,26 ± 0,81 Aa
	Ad. Verde	210,83 ± 120,10 Bb	640,50 ± 324,63 Bb	2,57 ± 1,11 Bb
	Ad. V. + Q.	553,44 ± 178,40 Ab	1877,60 ± 518,65 Ab	2,49 ± 0,51 Bb

* ND = Não disponível

Médias de seis plantas (\pm desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer. Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação em cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies em um mesmo tratamento de adubação.

adubação, sendo que as maiores diferenças foram encontradas no tratamento T4 onde a espécie acumulou 23 vezes mais biomassa total (4.320,53 g) do que *D. odorata* (185,97 g), e quase 7 vezes mais que a espécie *S. amazonicum* (640,50 g). Ainda para biomassa total, no tratamento T5 as diferenças entre *I. edulis* (7.350,27 g) e as demais espécies ficaram na ordem de 16 vezes em relação a *D. odorata* (443,83 g) e de 4 vezes em relação ao *S. amazonicum* (1.877,60 g).

3.4. Parâmetros morfológicos

A espécie *D. odorata* teve um aumento no número de folhas entre o tratamento T1 (8,33) e o tratamento T2 (14,33), mantendo-se constante nos demais tratamentos de adubação. A espécie *I. edulis* aumentou expressivamente a produção de folhas no tratamento T5 chegando a uma produção média de 372,17 folhas por indivíduo o que representa um aumento de 2437% no número de folhas quando comparado ao tratamento T1 (14,67) (Tabela 3). A espécie *S. amazonicum* apresentou um incremento modesto no número de folhas sendo superior apenas no tratamento T5 (13,83) ($p = 0,003$). Quando comparamos as espécies nos mesmos tratamentos de adubação, a produção de folhas do *I. edulis* foi superior em todos os tratamentos, entretanto *D. odorata* e *S. amazonicum* foram estatisticamente iguais em todos os tratamentos de adubação (T2 $p > 0,05$) (T3 $p > 0,05$) (T4 $p > 0,05$) (T5 $p > 0,05$).

A espécie *D. odorata* teve os maiores valores para o comprimento do pecíolo nos tratamentos T3 e T5, 45,17 cm e 40,52 cm respectivamente, sendo diferente dos demais tratamentos exceto para o T4 ($p > 0,05$) (Tabela 3). A amplitude de variação do comprimento do pecíolo para a espécie *I. edulis* foi menor que as demais espécies, sendo diferentes apenas os tratamentos T1 e T2, com os tratamentos T4 e T5, cujos valores foram de 27,48 cm e 28,51 cm respectivamente. A espécie *S. amazonicum* passou de 49,60 cm em média no T2, para 107,78 cm no T5, um acréscimo de 117% (Tabela 3). *S. amazonicum* apresentou valores superiores às demais, em todos os tratamentos de adubação. *D. odorata* e *I. edulis* foram iguais estatisticamente em todos os tratamentos (T1 $p = 0,91$) (T2 $p = 0,42$) (T4 $p = 0,24$) (T5 $p = 0,07$) exceto no T3, onde os valores de *D. odorata* foram superiores ($p = 0,001$) (Tabela 3).

O comportamento das espécies em relação à largura das folhas foi similar ao comprimento do pecíolo. A espécie *D. odorata* obteve os maiores valores nos

tratamentos T3 e T5, 52,57 cm e 52,86 cm respectivamente, sendo observadas diferenças significativas entre estes e os tratamentos T1 e T2 (Tabela 3). Os maiores valores de largura das folhas para a espécie *I. edulis* foram encontrados nos tratamentos T4 e T5, 34,60 cm e 37,24 cm respectivamente (Tabela 3). Uma maior variação dos dados foi encontrada para a espécie *S. amazonicum*, que atingiu os maiores valores no tratamento T5 em média 59,58 cm, diferenciando-se dos demais tratamentos de adubação (Tabela 3). Na comparação das espécies *S. amazonicum* e *D. odorata* foram iguais estatisticamente nos tratamentos T3, T4 e T5. *D. odorata* e *I. edulis* foram iguais nos tratamentos T2 ($p > 0,05$) e T4 ($p > 0,05$) (Tabela 3).

D. odorata foi a espécie que mais investiu em área foliar chegando a 1492,53 cm² no T3 um acréscimo de 758% em relação ao tratamento T1 (173,91 cm²). Considerando a espécie *D. odorata*, outro tratamento que se destacou foi o T5 com área foliar média de 1250,17 cm² (tabela 3). Para *I. edulis*, houve um acréscimo de 92% em relação ao tratamento T1 (520,93 cm²) chegando a uma área foliar média de 1001,01 cm² no T5. Em comparação entre as três espécies estudadas, *I. edulis* atingiu valores superiores a *D. odorata* nos tratamentos T1 e T2. *D. odorata* alcançou valores cerca de duas vezes maiores em relação ao *I. edulis* no T3. Nos demais tratamentos as duas espécies tiveram valores estatisticamente iguais (T4 $p > 0,05$) (T5 $p > 0,05$). Os foliólulos da espécie *S. amazonicum* tiveram um acréscimo de área no T3 (3,18 cm²) e no T5 (3,76 cm²) em relação aos tratamentos T2 e T4.

Para a espécie *D. odorata* os menores valores de área foliar específica foram encontrados nos tratamentos T5 (127,78 cm² g⁻¹) e T3 (118,81 cm² g⁻¹), evidenciando folhas mais espessas nestes tratamentos, sendo detectadas diferenças significativas apenas entre o tratamento T3 e os tratamentos T1 e T2. A espécie *I. edulis* atingiu os maiores valores no tratamento T1 (165,91 cm² g⁻¹), o que indica uma diminuição na espessura das folhas neste tratamento. Houve um aumento da espessura dos foliólulos da espécie *S. amazonicum* no tratamento T5 (139,11 cm² g⁻¹), no entanto essa diferença não foi significativa. Ainda para mesma variável não foram detectadas diferenças significativas entre as espécies em nenhum dos tratamentos de adubação.

Tabela 3: Parâmetros morfológicos número de folhas, comprimento do pecíolo, largura das folhas, área foliar e área foliar específica (AFE) das três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).

Espécies	Adubação	Variáveis		
		Número de folhas	Comp. do pecíolo (cm)	Largura da folha (cm)
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	8,33 ± 1,89 Bb	17,39 ± 3,49 Da	22,71 ± 2,90 Ca
	Ad. Cova	14,33 ± 4,23 Ab	26,76 ± 4,88 Cb	27,57 ± 4,60 Cb
	Ad. Química	15,00 ± 1,83 Ab	45,17 ± 6,63 Ab	52,57 ± 8,60 Aa
	Ad. Verde	15,50 ± 2,99 Ab	36,89 ± 8,74 Bb	42,72 ± 7,04 Bab
	Ad. V. + Q.	14,33 ± 1,60 Ab	40,52 ± 4,02 ABb	52,86 ± 7,38 Aa
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	14,67 ± 3,54 Ca	17,71 ± 5,49 Ca	26,32 ± 5,58 Ca
	Ad. Cova	76,33 ± 37,35 Ca	22,90 ± 3,04 Bb	30,25 ± 2,13 BCab
	Ad. Química	223,33 ± 49,49 Ba	24,09 ± 1,51 Abc	31,08 ± 2,63 BCb
	Ad. Verde	216,33 ± 91,30 Ba	27,48 ± 1,66 Ab	34,60 ± 2,43 ABb
	Ad. V. + Q.	372,17 ± 79,96 Aa	28,51 ± 4,42 Ab	37,24 ± 4,93 Ab
<i>Schizolobium amazonicum</i>	S/ adubação	ND*	ND*	ND*
	Ad. Cova	6,00 ± 2,00 Bb	49,60 ± 11,55 Ca	33,79 ± 3,19 Ca
	Ad. Química	7,17 ± 1,67 Bb	78,67 ± 12,71 Ba	47,19 ± 1,76 Ba
	Ad. Verde	9,33 ± 2,36 Bb	78,79 ± 19,02 Ba	47,24 ± 10,19 Ba
	Ad. V. + Q.	13,83 ± 2,27 Ab	107,78 ± 15,79 Aa	59,58 ± 3,47 Aa

* ND = Não disponível

Médias de seis plantas (\pm desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer. Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação em cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies em um mesmo tratamento de adubação.

Tabela 3 continuação: Parâmetros morfológicos número de folhas, comprimento do pecíolo, largura das folhas, área foliar e área foliar específica (AFE) das três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).

Espécies	Adubação	Variáveis	
		Área foliar (cm ²)	A.F.E. (cm ² g ⁻¹)
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	173,91 ± 60,48 Cb	146,01 ± 17,15 Aa
	Ad. Cova	343,05 ± 123,67 Cb	146,81 ± 15,14 Aa
	Ad. Química	1492,53 ± 459,58 Aa	118,81 ± 5,44 Ba
	Ad. Verde	810,96 ± 390,33 Ba	135,35 ± 6,19 ABa
	Ad. V. + Q.	1250,17 ± 297,08 Aa	127,78 ± 24,04 ABa
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	520,93 ± 288,11 Ca	165,91 ± 31,30 Aa
	Ad. Cova	709,35 ± 134,66 BCa	130,61 ± 7,57 Ba
	Ad. Química	728,39 ± 79,22 BCb	139,90 ± 11,70 Ba
	Ad. Verde	921,38 ± 97,11 ABa	131,88 ± 8,06 Ba
	Ad. V. + Q.	1001,01 ± 254,93 Aa	132,84 ± 16,56 Ba
<i>Schizolobium amazonicum</i>	S/ adubação	Nd	Nd
	Ad. Cova	1,53 ± 0,24 B	165,53 ± 36,02 Aa
	Ad. Química	3,18 ± 0,84 A	155,91 ± 23,91 Aa
	Ad. Verde	2,02 ± 0,66 B	144,71 ± 20,18 Aa
	Ad. V. + Q.	3,76 ± 0,51 A	139,11 ± 13,18 Aa

* ND = Não disponível

Médias de seis plantas (±desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer. Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação em cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies em um mesmo tratamento de adubação.

3.5. Fertilidade do solo

As maiores concentrações de C foram encontradas na profundidade 0-2,5 cm nos tratamentos T4 (12,37 g kg⁻¹) e T5 (15,03 g kg⁻¹), onde foi observado um aumento de 118% em relação ao tratamento T1 (6,90 g kg⁻¹). As concentrações deste elemento sofreram uma redução em função do aumento na profundidade, em todos os tratamentos. Na profundidade 20-40 cm as concentrações de C variaram entre 6,43 g kg⁻¹ e 8,85 g kg⁻¹ nos tratamentos T1 e T5, respectivamente (Figura 3).

As maiores concentrações de N total foram verificadas nos tratamentos T4 (0,68 g kg⁻¹) e T5 (0,69 g kg⁻¹) na profundidade 0-2,5, um aumento de 91% em relação ao tratamento T1. A diferença entre os tratamentos foi menor com o aumento da profundidade variando entre 0,34 g kg⁻¹ e 0,45 g kg⁻¹ nos tratamentos T2 e T5 respectivamente para profundidade 7,5-20 cm (Figura 4).

As maiores concentrações de P disponível foram encontradas nas camadas superficiais (0-2,5 cm) em todos os tratamentos de adubação exceto para o T2, onde as maiores concentrações foram verificadas na profundidade 7,5-20 cm. O tratamento T3 obteve valores 3 vezes superiores em relação ao T5 e 1841 vezes em relação ao T1 na profundidade de 0-2,5. Na profundidade de 2,5-7,5 os valores do T3 e T5 estiveram bastante próximos 99,17 mg kg⁻¹ e 93,13 mg kg⁻¹, respectivamente (Figura 5).

As concentrações de K na profundidade 0-2,5 cm foram maiores nos tratamentos T3 e T5, 60,04 e 63,97 mg kg⁻¹ respectivamente, um aumento de 10 vezes em relação ao T1. Na profundidade 2,5-7,5 cm, assim como nas demais profundidades, os maiores valores foram encontrados no tratamento T3, chegando a uma diferença de 94% em relação ao T5 na profundidade 20-40 cm. Os menores valores, em todas as profundidades, estiveram no tratamento T1 seguido dos tratamentos T2 e T4 (Figura 6).

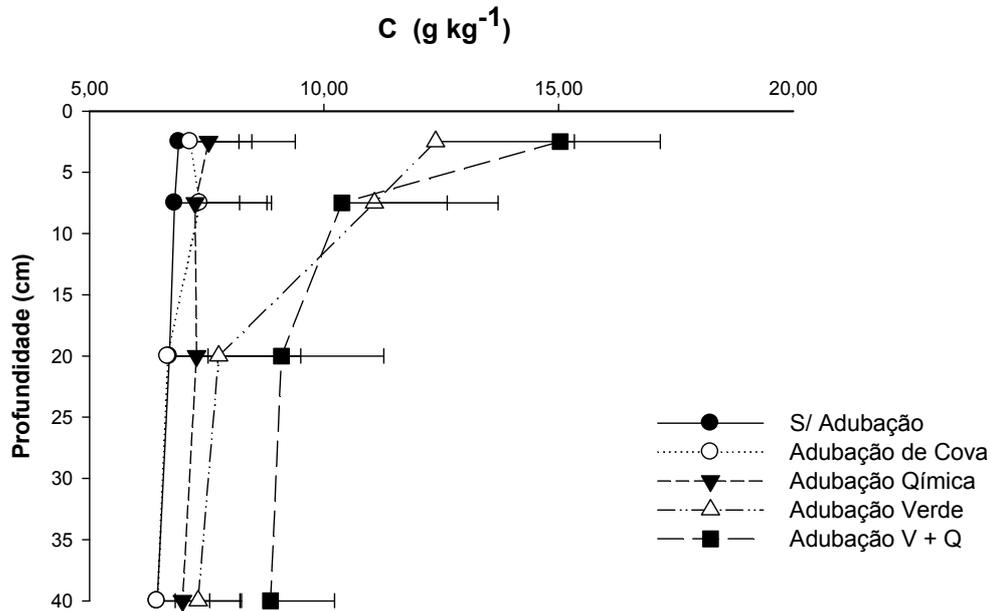


Figura 3: Concentração de C no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM), após as aplicações dos tratamentos de adubação. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n = 6).

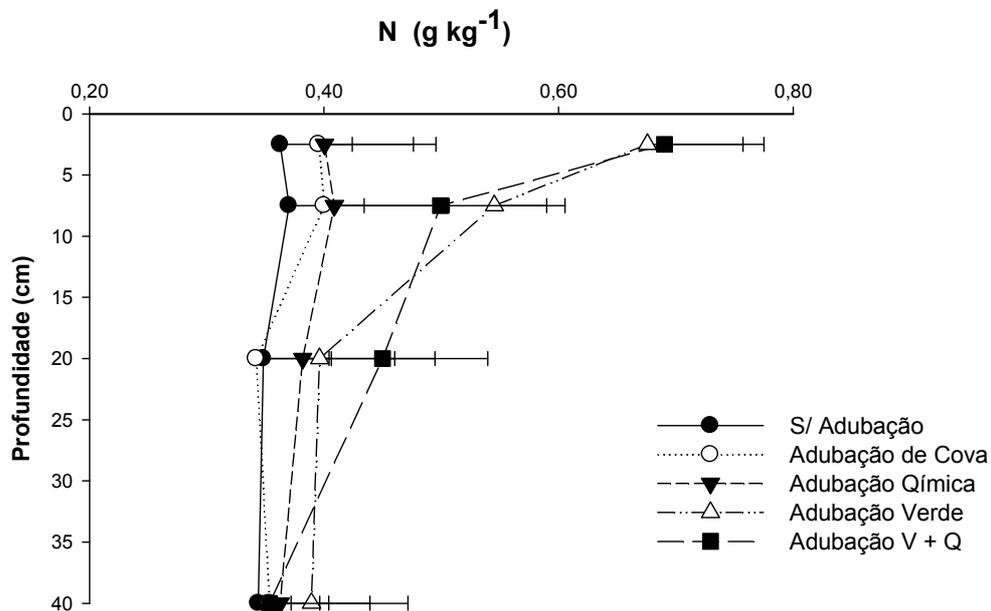


Figura 4: Concentração de N no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM), após as aplicações dos tratamentos de adubação. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=6).

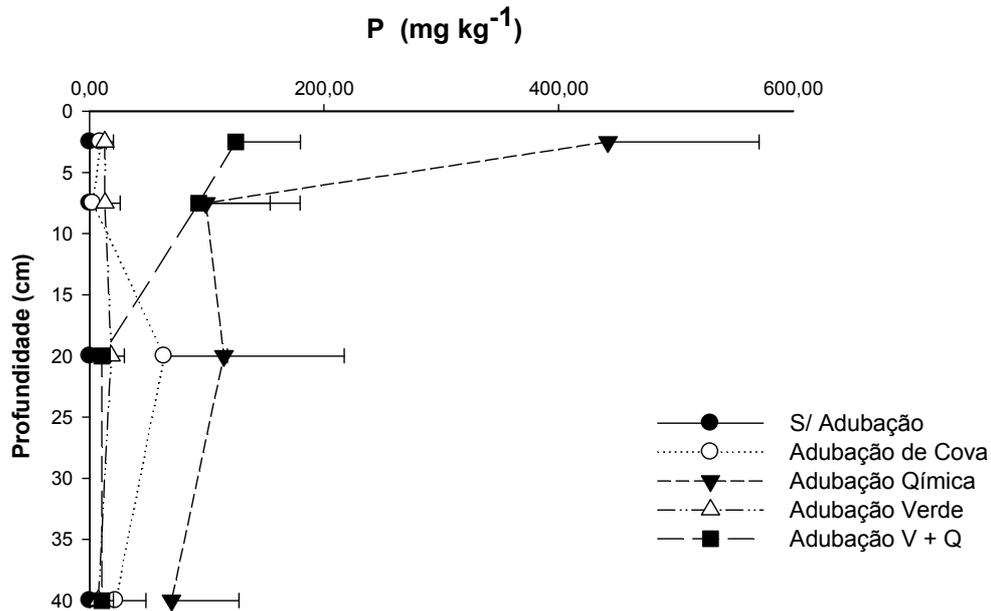


Figura 5: Concentração de P no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM), após as aplicações dos tratamentos de adubação. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=6).

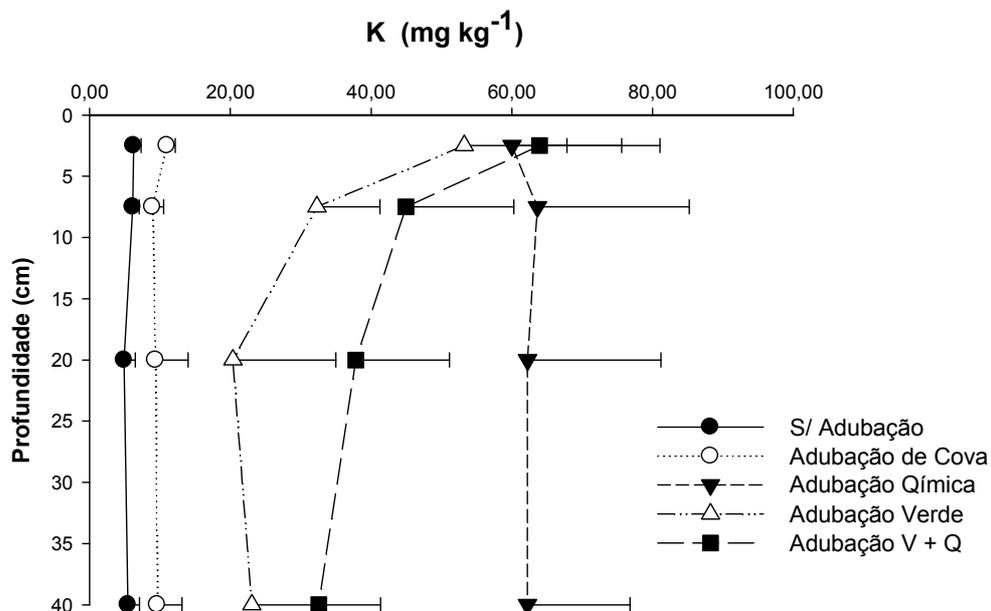


Figura 6: Concentração de K no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM), após as aplicações dos tratamentos de adubação. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=6).

As concentrações de Ca na profundidade 0-2,5 cm foram superiores nos tratamentos T3 (2,20 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e T5 (2,55 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Na profundidade 2,5-7,5 cm valores muito próximos foram encontrados nos tratamentos T4 (0,66 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$), T5 (0,86 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e T3 (1,05 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Na profundidade 7,5-20 cm as concentrações nos tratamentos T3 e T5 foram muito próximas, sendo os maiores valores encontrados no T4 (0,92 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) (Figura 7).

As maiores concentrações de Mg foram encontradas na profundidade 0-2,5 cm em todos os tratamentos de adubação. No tratamento T5 a diferença chegou a 466% entre as profundidade 0-2,5 (0,85 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e 7,5-20 cm (0,15 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$). Os maiores valores na profundidade 0-2,5 foram observados nos tratamentos T3 (0,70 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$) e no T5, na profundidade 2,5-7,5 cm, estes dois tratamentos tiveram os mesmos valores. Na profundidade 7,5-20 cm o tratamento T3 obteve valores 178% superiores em relação ao tratamento T4 (Figura 8).

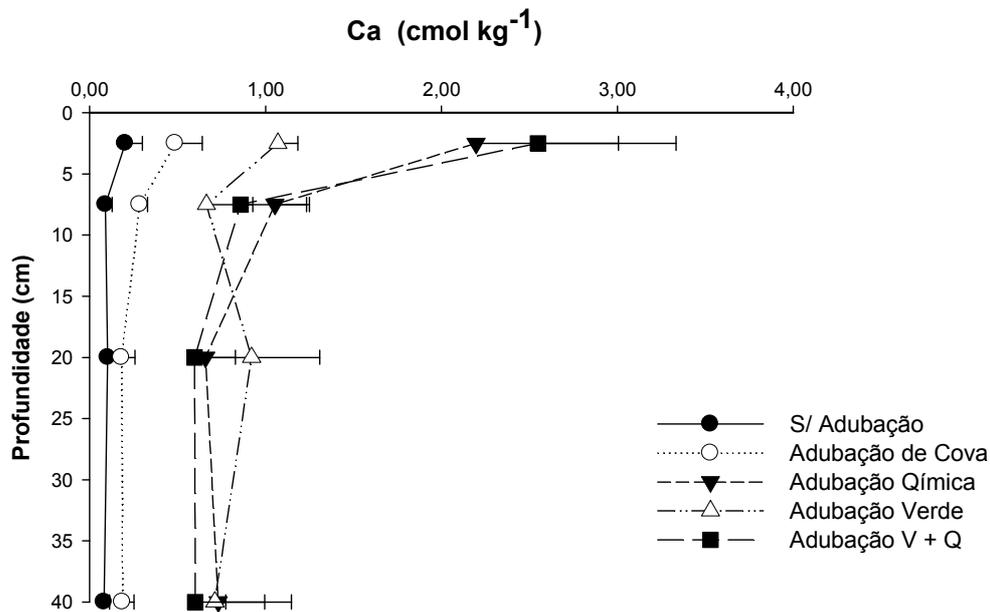


Figura 7: Concentração de Ca no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM), após as aplicações dos tratamentos de adubação. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=6).

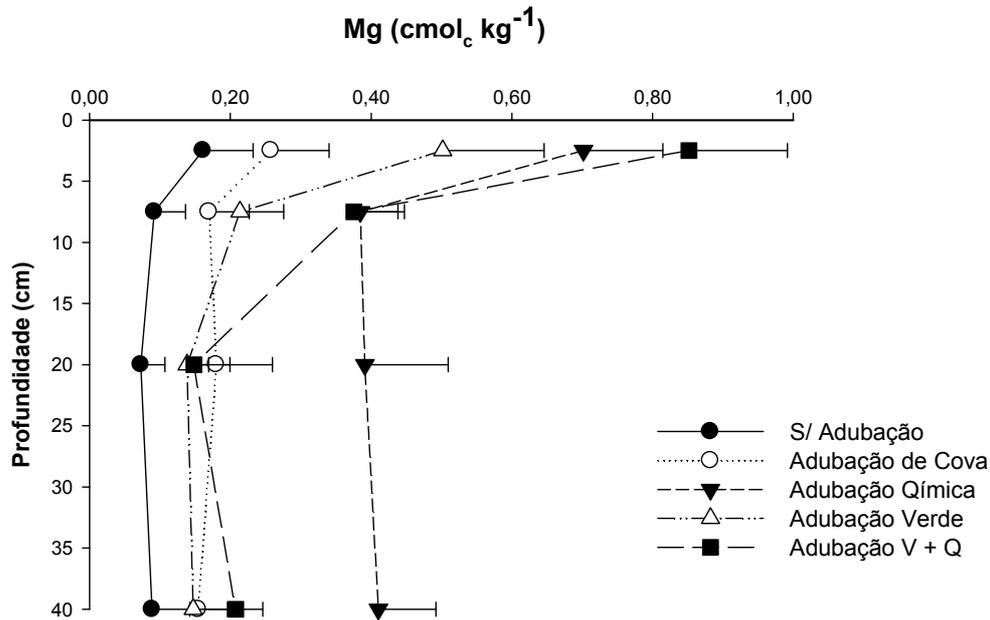


Figura 8: Concentração de Mg no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM), após as aplicações dos tratamentos de adubação. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=6).

Nas profundidades até 2,5-7,5 cm o tratamento com as maiores concentrações de Fe foi o T4 (100,17 mg kg⁻¹) os demais tratamentos obtiveram valores próximos entre si e diferentes do T3 onde foram encontrados os menores valores em todas as profundidades. Em geral as concentrações foram inferiores nas profundidades 7,5-20 e 20-40 cm, exceto do tratamento T5, onde as maiores concentrações foram encontradas na profundidade 7,5-20 cm (93,06 mg kg⁻¹) (Figura 9).

Com relação ao Zn, as maiores concentrações foram encontradas na profundidade 0-2,5 para todos os tratamentos, exceto no tratamento T2, que foram superiores na profundidade 7,5-20 (17,92 mg kg⁻¹). As concentrações variaram entre 44,23 mg kg⁻¹ e 16,87 mg kg⁻¹ para o tratamento T3, nas profundidades 0-2,5 e 20-40 respectivamente, e entre 30,69 mg kg⁻¹ e 6,47 para o tratamento T5, nas mesmas profundidades (Figura10).

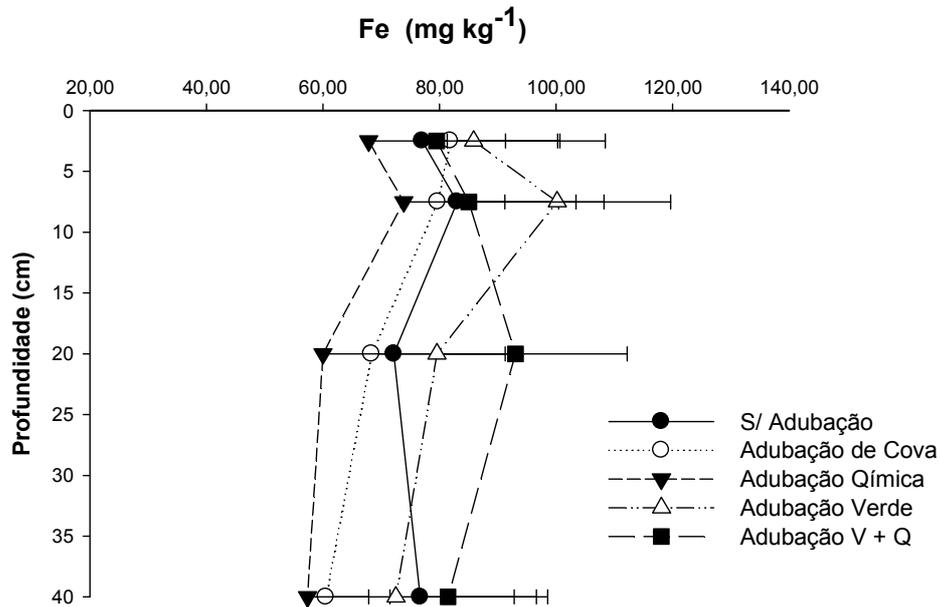


Figura 9: Concentração de Fe no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM), após as aplicações dos tratamentos de adubação. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=6).

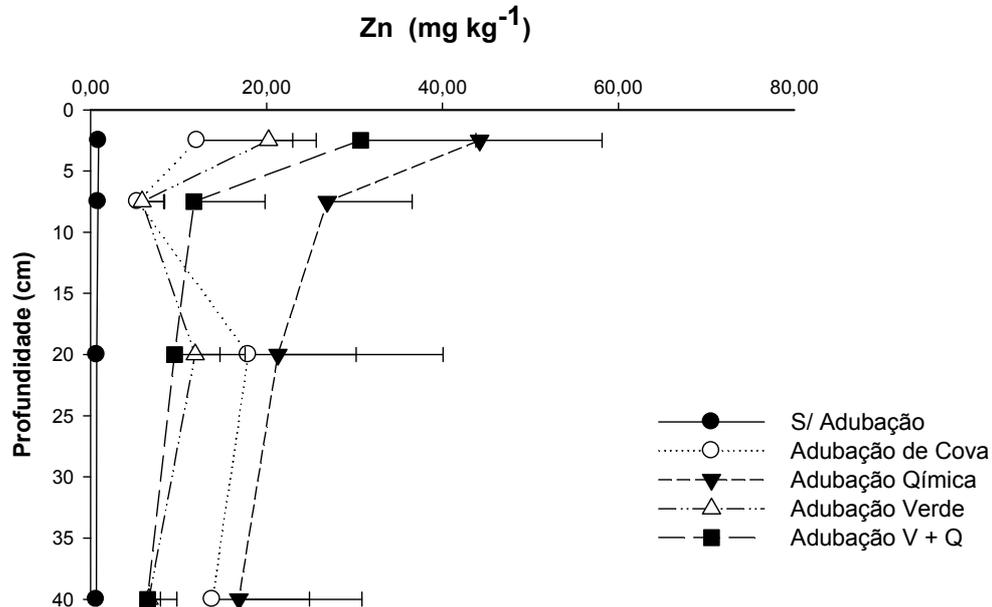


Figura 10: Concentração de Zn no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM), após as aplicações dos tratamentos de adubação. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=6).

As menores concentrações de Al foram encontradas na profundidade 0-2,5 em todos os tratamentos de adubação. Os tratamentos T1, T3 e T5 demonstraram o mesmo comportamento, com um aumento nas concentrações de Al devido ao aumento da profundidade, chegando aos maiores valores na profundidade 7,5-20 cm. Os tratamentos T2 e T4 obtiveram os maiores valores nas profundidades 2,5-7,5 cm e 20-40 cm (Figura 11).

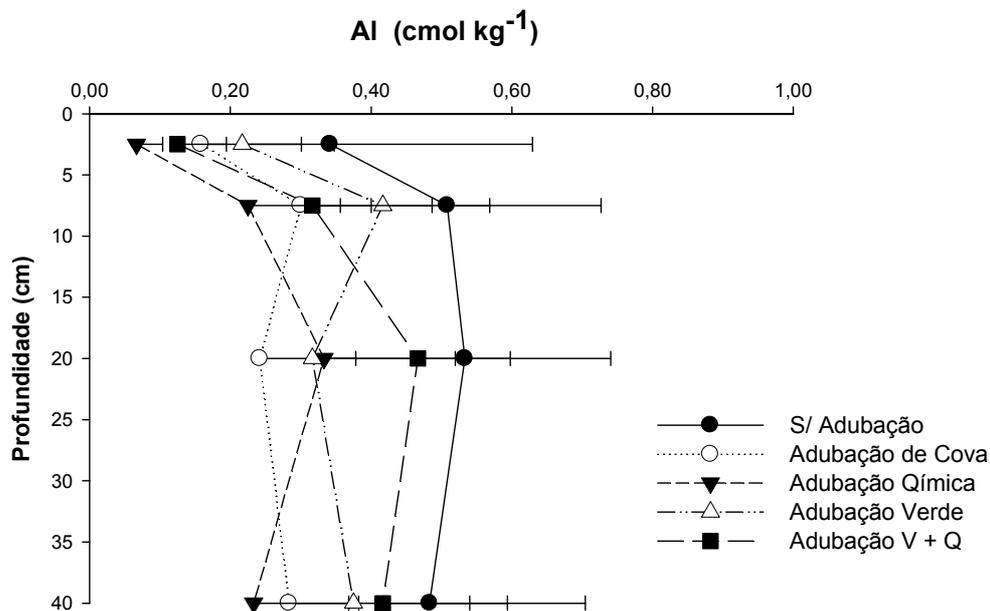


Figura 11: Concentração de Al no solo em um plantio florestal com espécies leguminosas arbóreas, sobre uma área degradada na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM), após as aplicações dos tratamentos de adubação. Os valores são médias e as linhas horizontais são desvios padrão (n=6).

3.6. Teores foliares de nutrientes

Os teores de N nos tecidos foliares variaram entre $14,21 \text{ g kg}^{-1}$ e $24,23 \text{ g kg}^{-1}$ para a espécie *D. odorata* nos tratamentos T2 e T3 respectivamente, onde este último tratamento se diferenciou dos demais, inclusive do tratamento T5 ($19,01 \text{ g kg}^{-1}$) ($p = 0,004$). A espécie *I. edulis* alcançou os maiores valores nos tratamentos T5 ($29,12 \text{ g kg}^{-1}$) e T1 ($29,27 \text{ g kg}^{-1}$). Os menores valores foram encontrados no T4 ($25,07 \text{ g kg}^{-1}$), e diferenças significativas foram apresentadas apenas entre estes tratamentos. *S. amazonicum* atingiu os maiores teores de N no tratamento T3 ($21,47 \text{ g kg}^{-1}$) sendo este tratamento diferente dos demais, os menores valores foram observados nos

tratamentos T1 (15,71 g kg⁻¹) ($p < 0,001$) e T4 (15,79 g kg⁻¹) ($p < 0,001$). Na comparação entre as espécies *I. edulis* apresentou maiores teores de N em todos os tratamentos de adubação enquanto, *D. odorata* e *S. amazonicum* adquiriram valores semelhantes (Tabela 4).

Os tratamentos de adubação não tiveram efeito nos teores foliares de P para a espécie *D. odorata* que variaram entre 0,76 g kg⁻¹ e 0,98 g kg⁻¹. *I. edulis* acumulou mais P nas folhas do tratamento T1 (2,06 g kg⁻¹), sendo este diferente dos demais tratamentos ($p < 0,01$). *S. amazonicum* demonstrou uma tendência inversa variando entre 1,05 g kg⁻¹ no T1, e 1,29 g kg⁻¹ no T5 diferente dos demais tratamentos (T2 $p < 0,01$) (T3 $p < 0,01$) (T4 $p < 0,05$). No geral a espécie *I. edulis* apresentou maiores teores de P e *D. odorata* os menores (Tabela 4).

A maior variação de macronutrientes entre os tratamentos foi observada para o nutriente K⁺. Para a espécie *D. odorata* os maiores teores deste elemento foram encontrados no T3, seguidos pelo T4 e T5. Estes tratamentos foram diferentes dos demais com um incremento de 216% entre o T3 e o T1. Ainda para o mesmo elemento, houve uma diferença significativa entre os tratamentos de adubação para a espécie *I. edulis*, com valores máximos de 7,60 g kg⁻¹ e 7,52 g kg⁻¹ nos tratamentos T4 e T5 respectivamente. As diferenças entre os tratamentos de adubação para a espécie *S. amazonicum* não foram significativas, e os valores variaram entre 8,14 g kg⁻¹ e 6,94 g kg⁻¹ nos tratamentos T4 e T5 respectivamente ($p > 0,05$) (Tabela 4). De maneira geral a espécie *D. odorata* atingiu maiores teores de K⁺ em comparação com as demais espécies sendo igual estatisticamente ao *I. edulis* no T1 ($p > 0,05$) e no T2 ($p > 0,05$) e ao *S. amazonicum* no T2 ($p > 0,05$).

Os teores de Ca²⁺ variaram entre 2,37 g kg⁻¹ e 4,70 g kg⁻¹ para a espécie *D. odorata* nos tratamentos T4 e T1 respectivamente. Os teores para a espécie *I. edulis* estiveram entre 7,20 g kg⁻¹ no T3 e 10,95 g kg⁻¹ no T4 sendo diferentes estatisticamente ($p < 0,05$). Para a espécie *S. amazonicum* os teores foram em média 98% maiores no tratamento T5 (9,94 g kg⁻¹) em relação ao T2 (5,01 g kg⁻¹) (Tabela 4). A espécie *I. edulis* acumulou mais Ca²⁺ nas folhas em relação a espécie *D. odorata* em todos tratamentos, e em relação ao *S. amazonicum* nos tratamentos T2 ($p < 0,01$) e T4 ($p < 0,01$).

Não foram observadas diferenças significativas nos teores foliares para o elemento Mg^{2+} nas espécies *I. edulis* e *S. amazonicum*, cujos valores variaram entre $1,93 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,69 \text{ g kg}^{-1}$ para *I. edulis* e entre $1,70 \text{ g kg}^{-1}$ e $1,40 \text{ g kg}^{-1}$ para *S. amazonicum*. Para a espécie *D. odorata* houve um maior acúmulo de Mg^{2+} no tratamento T1 ($1,31 \text{ g kg}^{-1}$), que foi diferente do tratamento T3 ($0,94 \text{ g kg}^{-1}$) ($p < 0,05$) (Tabela 4). As espécies *I. edulis* e *S. amazonicum* tiveram teores iguais estatisticamente para Mg^{2+} em todos os tratamentos de adubação exceto no T4 ($p < 0,01$). Ambas as espécies *I. edulis* e *S. amazonicum* apresentaram maiores teores em comparação a *D. odorata* em todos os tratamentos de adubação.

Para os teores dos micronutrientes nas folhas, pode-se observar que a espécie *D. odorata* acumulou mais Fe no tratamento T1 ($143,00 \text{ mg kg}^{-1}$), diferente dos demais tratamentos de adubação ($p < 0,001$), onde os menores valores para espécie foram encontrados no T4 ($39,83 \text{ mg kg}^{-1}$). A espécie *I. edulis* também alcançou os maiores teores de Fe no tratamento T1 ($149,83 \text{ mg kg}^{-1}$), no entanto somente foram detectadas diferenças entre este tratamento e o T2 ($82,33 \text{ mg kg}^{-1}$) ($p < 0,05$) (Tabela 5). Não foram detectadas diferenças significativas nos teores foliares de Fe para a espécie *S. amazonicum*, cujos valores variaram entre $150,30 \text{ mg kg}^{-1}$ no T3 e $185,67 \text{ mg kg}^{-1}$ no T5, sendo que os teores deste elemento foram superiores em relação às demais espécies em todos os tratamentos de adubação (Tabela 5).

Os teores de Zn nas folhas de *D. odorata* foram superiores no tratamento T3 ($55,50 \text{ mg kg}^{-1}$) sendo diferente estatisticamente apenas do tratamento T4 ($38,83 \text{ mg kg}^{-1}$) ($p < 0,05$). A espécie *I. edulis* teve maiores teores de Zn no tratamento T5 ($45,33 \text{ mg kg}^{-1}$) e menores no T1 ($28,17 \text{ mg kg}^{-1}$), no entanto estas diferenças não foram significativas ($p > 0,05$). Para *S. amazonicum* os maiores teores de Zn foram encontrados no T3 ($97,67 \text{ mg kg}^{-1}$) e no T5 ($94,50 \text{ mg kg}^{-1}$) e os menores teores foram encontrados no tratamento T4 ($50,00 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 5). Os teores de Zn nas folhas de *S. amazonicum*, assim com o Fe, foram superiores em relação às demais espécies em todos os tratamentos.

Tabela 4: Teores de macronutrientes em tecidos foliares das três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).

Espécies	Adubação	Variáveis				
		N	P	K	Ca	Mg
		g kg ⁻¹				
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	16,81 ± 3,65 BCb	0,76 ± 0,20 Bb	3,81 ± 1,33 Ca	4,70 ± 2,20 Ab	1,31 ± 0,24 Ab
	Ad. Cova	14,81 ± 2,19 Cb	0,98 ± 0,24 Aa	7,43 ± 2,92 Bab	3,15 ± 1,43 ABc	1,00 ± 0,29 ABb
	Ad. Química	24,23 ± 2,19 Aab	0,91 ± 0,13 ABc	12,05 ± 1,34 Aa	4,28 ± 1,06 Ab	0,94 ± 0,25 Bb
	Ad. Verde	16,45 ± 2,13 BCb	0,87 ± 0,12 ABa	10,35 ± 1,90 Aa	2,37 ± 0,51 Bc	1,01 ± 0,20 ABc
	Ad. V. + Q.	19,01 ± 2,34 Bb	0,82 ± 0,09 ABb	10,29 ± 1,56 Aa	3,98 ± 0,84 ABb	1,13 ± 0,31 ABb
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	29,27 ± 5,30 Aa	2,06 ± 0,84 Aa	4,38 ± 1,36 Ba	7,89 ± 2,38 Ba	1,91 ± 0,42 Aa
	Ad. Cova	25,36 ± 1,58 ABa	1,22 ± 0,19 Ba	5,14 ± 1,07 Bb	8,40 ± 2,12 ABa	1,93 ± 0,30 Aa
	Ad. Química	27,77 ± 2,14 ABa	1,27 ± 0,07 Ba	6,77 ± 0,87 Ab	7,20 ± 2,04 Ba	1,71 ± 0,37 Aa
	Ad. Verde	25,07 ± 2,33 Ba	1,21 ± 0,25 Ba	7,60 ± 0,53 Ab	10,95 ± 2,41 Aa	1,87 ± 0,14 Aa
	Ad. V. + Q.	29,12 ± 2,69 Aa	1,32 ± 0,18 Ba	7,52 ± 1,13 Ab	9,75 ± 2,70 ABa	1,69 ± 0,13 Aa
<i>Schizolobium amazonicum</i>	S/ adubação	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
	Ad. Cova	15,71 ± 0,94 Bb	1,04 ± 0,16 Ba	7,87 ± 1,38 Aa	5,01 ± 0,91 Bb	1,65 ± 0,36 Aa
	Ad. Química	21,47 ± 3,78 Ab	1,05 ± 0,10 Bb	7,96 ± 1,35 Ab	5,20 ± 1,38 Bab	1,45 ± 0,21 Aa
	Ad. Verde	15,79 ± 1,95 Bb	1,08 ± 0,16 Ba	8,14 ± 1,00 Ab	6,69 ± 2,42 Bb	1,40 ± 0,33 Ab
	Ad. V. + Q.	18,02 ± 2,09 Bb	1,28 ± 0,08 Aa	6,94 ± 1,00 Ab	9,94 ± 3,22 Aa	1,70 ± 0,29 Aa

* ND = Não disponível

Médias de seis plantas (\pm desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer. Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação em cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies em um mesmo tratamento de adubação.

Tabela 5: Teores de micronutrientes em tecidos foliares das três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).

Espécies	Adubação	Variáveis	
		Fe	Zn
		mg kg ⁻¹	
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	143,60 ± 60,30 Aa	39,67 ± 12,85 ABa
	Ad. Cova	59,00 ± 14,25 Bb	41,00 ± 16,56 ABab
	Ad. Química	65,17 ± 21,84 Bb	55,50 ± 10,19 Ab
	Ad. Verde	39,83 ± 6,69 Bc	38,83 ± 12,14 Ba
	Ad. V. + Q.	59,5 ± 13,52 Bb	44,00 ± 9,87 ABb
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	149,83 ± 51,59 Aa	28,17 ± 12,53 Aa
	Ad. Cova	82,33 ± 37,17 Bb	30,33 ± 9,45 Ab
	Ad. Química	114,50 ± 47,73 ABb	30,00 ± 9,92 Ac
	Ad. Verde	93,50 ± 38,25 ABb	40,17 ± 16,92 Aa
	Ad. V. + Q.	131,00 ± 47,70 ABa	45,33 ± 22,39 Ab
<i>Schizolobium amazonicum</i>	S/ adubação	Nd	Nd
	Ad. Cova	167,66 ± 20,11 Aa	63,00 ± 25,50 Ba
	Ad. Química	150,30 ± 16,22 Aa	97,67 ± 30,10 Aa
	Ad. Verde	163,00 ± 28,54 Aa	50,00 ± 10,65 Ba
	Ad. V. + Q.	185,67 ± 40,83 Aa	94,50 ± 22,21 Aa

Médias de seis plantas (±desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer.

Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação para cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies dentro do mesmo tratamento de adubação.

4. DISCUSSÃO

4.1. Sobrevivência

Os valores da porcentagem de sobrevivência encontrados neste estudo para a espécie *D. odorata* foram superiores aos encontrados por Souza *et al.* (2010) para a mesma espécie em um plantio florestal misto com 6 anos na região de Manaus, a pleno sol (86,1%) e em condições de sombreamento (83,3%) para o enriquecimento de capoeira.

A espécie *I. edulis* demonstrou valores de sobrevivência similares aos reportados em diversos estudos. Nichols *et al.*, (2001) observou aos 2 anos em um plantio florestal misto na Costa Rica, 97% de sobrevivência para a espécie em um sistema de interplântio com a espécie *Terminalia amazonia*, o mesmo valor foi encontrado por Brienza Junior *et al.* (2011) no enriquecimento de capoeira em Igarapé-açu – PA. Santos Junior *et al.* (2006) constatou que a sobrevivência de *I. edulis* foi maior que 95%, dois meses após plantio de restauração de uma área degradada por atividade petrolífera em Urucu – AM. Em outro estudo desenvolvido por Joslin *et al.* (2010) no município de Igarapé-açu – PA, *I. edulis* foi utilizada no enriquecimento da capoeira posteriormente incorporada como adubo verde, obtendo 51,3% e 98,8% de sobrevivência com e sem adubação inicial, respectivamente. Ainda no estudo desenvolvido por Joslin *et al.* (2010) após a incorporação da capoeira foi instalado um sistema agroflorestal onde *S. amazonicum* teve entre 43,6% e 65,8% de sobrevivência após a incorporação de adubo verde, com e sem adubação química, respectivamente. Piotto *et al.* (2004) observou para *Schizolobium parahyba* 28 e 46,2% de sobrevivência, após 68 meses, em um plantio florestal puro e misto respectivamente.

Uma das causas do aumento da mortalidade nos tratamentos com adubação verde, especialmente para a espécie *I. edulis*, pode estar relacionado com a infecção de doenças (fungos, vírus ou bactérias) devido a presença de pequenos insetos voadores (possíveis vetores), observado no material vegetal aplicado pouco antes do plantio.

A sobrevivência das mudas no campo está ligada à capacidade de aclimação das espécies em resistir aos fatores estressores em uma área degradada, sendo um fator determinante no sucesso de um plantio florestal comercial ou de restauração de

áreas degradadas (Santos Junior *et al.*, 2006). A alta sobrevivência das espécies no experimento pode ser, em parte, explicada por fatores como: a) a proveniência das mudas de um viveiro, onde são oferecidas boas condições para a germinação e desenvolvimento nos primeiros estágios da planta (Santos Junior, 2003); b) pelo tempo de coleta de dados, uma vez que plantios mais velhos estão sujeitos a maiores índices de mortalidade (Parrotta, 1997; Joslin *et al.*, 2010); e c) pela época de plantio (início do período chuvoso), proporcionando condições mais amenas nos primeiros meses de desenvolvimento das mudas.

4.2. Crescimento em altura e diâmetro

Alguns fatores podem ter contribuído para o aumento nas taxas de crescimento absoluto em altura e diâmetro. O aumento da disponibilidade de nutrientes no solo e dos teores de alguns nutrientes nas folhas, aliado supostamente a um maior conforto térmico e uma maior disponibilidade hídrica nos tratamentos com adubação verde (Ferreira, 2009), podem ter contribuído de maneira integrada para o aumento da fotossíntese e da assimilação de carbono, refletindo o maior crescimento das plantas.

Avaliando o crescimento das espécies podemos sugerir que a espécie *D. odorata* tem uma maior limitação do seu crescimento relacionada com a deficiência nutricional. No caso das espécies *I. edulis* e *S. amazonicum* seu crescimento parece estar limitado pela disponibilidade hídrica e nutricional este comportamento pôde ser observado quando comparamos o crescimento dos tratamentos de adubação verde em relação aos demais. Talvez estas sejam estratégias desenvolvidas por diferentes grupos sucessionais, para vencer as limitações impostas pelas condições ambientais.

Os resultados deste estudo corroboram alguns dados encontrados na literatura para as mesmas espécies. Para a espécie *D. odorata* Souza *et al.* (2010) observaram um crescimento em altura e diâmetro de 11,6 cm mês⁻¹ e 0,92 mm mês⁻¹ em um plantio a pleno sol com adubação de cova aos 6 anos de idade. Este maior crescimento, principalmente em altura, pode estar relacionado com um maior tempo de avaliação dos indivíduos. Em um plantio para enriquecimento de capoeira Souza e Mendonça (1999) encontraram um incremento médio de 2,6 cm mês⁻¹ em altura e 0,5 mm mês⁻¹ em diâmetro, abaixo dos valores encontrados neste estudo para o T2 (Figura 1).

Segundo reportado por Joslin *et al.* (2011) a espécie *I. edulis*, após adubação verde, apresentou um crescimento médio em altura de 12,5 cm mês⁻¹ e 22,5 cm mês⁻¹, respectivamente, na ausência e na presença de adubação com P e K, confirmando a limitação nutricional da espécie. O crescimento encontrado por Santos Junior *et al.* (2006) dois meses após o plantio foi de 5,15 cm mês⁻¹, abaixo do valor encontrado neste estudo para a condição de adubação de cova.

Após a incorporação de adubo verde Joslin *et al.* (2011) verificou um incremento no diâmetro da espécie *S. amazonicum* de aproximadamente 5,4 mm mês⁻¹ e 1,25 mm mês⁻¹ com e sem adubação com P e K, respectivamente. Segundo Keefe *et al.* (2009) este incremento para um plantio de enriquecimento de clareiras foi de 2,75 mm mês⁻¹, muito próximo ao valor encontrado para a espécie no T2 (Figura 1). Em um plantio puro da espécie no município de Tailândia – PA, Monteiro *et al.* (2010) observaram um efeito positivo da adição de resíduo de madeira no crescimento em diâmetro de *S. amazonicum*. Rondon (2002) testou diferentes espaçamentos para espécie e verificou o maior crescimento no plantio 4 X 4 com 3,25 mm mês⁻¹, valores próximos ao encontrado no T4 deste estudo (Figura 1). O crescimento encontrado em um plantio consorciado com *Cordia goeldiana* foi de 2,40 mm mês⁻¹ em um estudo desenvolvido no município de Aurora do Pará – PA (Silva *et al.*, 2011).

O crescimento inicial, em altura e diâmetro, das três espécies foi diferenciado, o que demonstra a potencialidade na combinação das espécies para o melhor uso dos recursos naturais no caso de um plantio florestal misto ou de restauração ecológica (Guariguata *et al.*, 1995; Forrester *et al.*, 2005).

4.3. Biomassa

De acordo com os resultados encontrados neste estudo, pode-se observar que o tratamento T5 no geral foi o mais eficiente em relação à utilização dos recursos naturais, favorecendo o crescimento e proporcionando um maior acúmulo de biomassa, exceto para a espécie *D. odorata* que teve as melhores respostas no tratamento T3.

Um maior ganho de biomassa vegetal está geralmente associado com um mecanismo fotossintético mais eficiente (Santos Junior *et al.*, 2006). Por outro lado, o estresse causado por fatores abióticos como alta irradiância, deficiência hídrica ou nutricional pode resultar na queda da produtividade dos indivíduos (Cakmak, 2005).

Neste sentido o maior acúmulo de biomassa da espécie *I. edulis* comprova seu potencial para utilização em plantios florestais, seja com a finalidade de sequestro de carbono ou produção de biomassa para adubação verde. Ambas as espécies *D. odorata* e *S. amazonicum* apresentaram taxas de crescimento e acúmulo de biomassa satisfatórios, sendo recomendadas para utilização em plantios florestais mistos de produção, ou de restauração ecológica.

Em geral os tratamentos de adubação proporcionaram um aumento da razão PA/R o que demonstra um menor investimento em raízes, ou ainda a limitação nutricional encontrada no sítio para os tratamentos T1 e T2 (Tabela 2). Outro aspecto importante observado neste estudo foi a estratificação das raízes, principalmente nos tratamentos com adubação verde. *D. odorata* investiu em uma raiz pivotante com poucas raízes secundárias, as espécies *I. edulis* e *S. amazonicum* nos tratamentos T4 e T5 produziram uma ampla rede de raízes finas e superficiais além de raízes grossas e profundas. A estratificação de raízes de diferentes espécies permite a completa utilização dos recursos naturais principalmente água e nutrientes do solo (Piotto *et al.*, 2004).

Em um estudo desenvolvido por Arco-Verde *et al.* (2009) no município Cantá – RO, a espécie *I. edulis* plantada como adubo verde em um sistema agroflorestal produziu nas podas em média de 4.140 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ e 7.254 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa da parte aérea total sem adubação e com adubação (P + micronutrientes), respectivamente, no terceiro ano após o plantio. Foi observado por Lojka *et al.* (2010) uma alta correlação entre o diâmetro e a biomassa do material lenhoso e de folhas. Segundo estes autores, a espécie *I. edulis* tem o potencial de produção de 4.440 Kg ha⁻¹ ano⁻¹ de matéria seca.

Silva *et al.* (2011) estudando a espécie *S. amazonicum* observaram que a produção de liteira aos 6 anos, foi menor em um monoplantio (5,61 Mg ha⁻¹) em comparação a um sistema agroflorestal (6,12 Mg ha⁻¹). Por outro lado a produção de raízes finas, avaliado em um período de 8 meses, foi maior no monoplantio (380,3 g m⁻²) do que no sistema agroflorestal (265,5 g m⁻²). Ainda neste mesmo estudo, a produção de biomassa foi estimada, através de equações alométricas, cujos valores

obtidos variaram entre 55,3 Mg ha⁻¹ no monoplantio e 64,3 Mg ha⁻¹ para *S. amazonicum* em plantio florestal misto com a espécie *Cordia goeldiana*.

4.4. Parâmetros morfológicos

Podemos observar com os resultados apresentados que conforme diminui a limitação imposta pela deficiência nutricional, as três espécies foram capazes de investir na produção de órgãos e tecidos capazes de maximizar a absorção de energia luminosa. Neste sentido, a espécie *D. odorata* investiu bastante nas dimensões foliares e na área foliar, enquanto *S. amazonicum* aumentou a superfície da lamina foliar principalmente pelo aumento do comprimento das folhas. *I. edulis* por outro lado, investiu mais no número de folhas do que no aumento da área foliar. Estas estratégias desenvolvidas pelas três espécies permitem uma maior eficiência na captação da energia solar que chega ao sistema, favorecendo a fotossíntese e a assimilação de carbono (Santos Junior, 2003), que por sua vez são os responsáveis por maiores taxas de crescimento e produção de biomassa da planta como um todo. Não foram encontrados valores de referência na literatura para os parâmetros morfológicos das espécies estudadas. Apenas Santos Junior, (2003) reportou um crescimento absoluto na área foliar de *I. edulis* de 187,19 cm² e um ganho de 4,9 folhas, 60 dias após o plantio de restauração em Urucu – AM. A área foliar específica para a espécie no mesmo estudo foi de 150,4 cm² g⁻¹, próximo ao valor encontrado no T3 (139,90 cm² g⁻¹) (Tabela 3).

4.5. Fertilidade do solo

A concentração de N na solução do solo é muito variável em tempo e espaço, dependendo do tipo de solo, do tratamento de adubação e da atividade microbiana (Miller *et al.*, 2007; Miller e Cramer, 2008), o que explica as maiores concentrações encontradas nos tratamentos T4 e T5. Grande parte do N total no solo está presente na matéria orgânica, geralmente não disponível diretamente às plantas, onde a conversão para formas inorgânicas ocorre via processos biológicos envolvendo microorganismos do solo (Dechorgnat *et al.*, 2010).

As menores concentrações de nitrogênio nos tratamentos T1, T2 e T3 pode ter limitado o crescimento e a produtividade dos indivíduos, pois este é constituinte de

diversos componentes celulares incluindo proteínas, aminoácidos e ácidos nucleicos (Hu e Schmidhalter, 2005; Gruber e Galloway, 2008; Lambers *et al.*, 2008). Por isso, o aumento nas concentrações de N no solo pela adubação pode ser responsável pelo aumento das taxas de crescimento, ao menos em parte, devido à maior produção de proteínas e aminoácidos, de coenzimas, de pigmentos fotossintetizantes e metabólicos secundários (Maathuis, 2009). Além disso, quando presente em grandes quantidades no solo o NO_3^- pode ser depositado no vacúolo contribuindo expressivamente para a manutenção do turgor e do crescimento celular (Maathuis, 2009). A presença do N, especialmente, nas moléculas de clorofila e da proteína rubisco é essencial para o pleno funcionamento do aparato fotossintético (Larcher, 2003). Outras funções importantes que o N desenvolve relacionadas ao crescimento vegetal são equilíbrio energético e sinalizador metabólico (Miller e Smith, 2008; Maathuis, 2009).

Depois do nitrogênio, o fósforo é frequentemente citado como o macronutriente mais limitante ao crescimento das plantas (Schachtman *et al.*, 1998). Em solos antigos, como na bacia Amazônica, a limitação imposta pelo P pode ser maior do que pelo N (Lambers *et al.*, 2008). A disponibilização do P na solução do solo é um processo bastante lento que causa deficiência de P em diversos ecossistemas (Maathuis, 2009). A correção do pH do solo, pode ter contribuído com o aumento na disponibilidade de P no solo, uma vez que uma ótima assimilação ocorre na faixa entre pH 5,0 e 6,0 (Taiz e Zeigler, 2006).

Os efeitos positivos no crescimento das plantas, pelo aumento das concentrações de P através da adubação, observado nos tratamentos T3 e T5, pode ser explicado em parte, pelo aumento da eficiência no uso da água, da condutância estomática e da fotossíntese, e da maior estabilidade estrutural das membranas celulares (Hu e Schmidhalter, 2005; Maathuis, 2009). Outros fatores que explicam um maior crescimento dos indivíduos pelo acréscimo de P relacionam-se com as funções bioquímicas deste elemento dentro da planta. O fósforo é um constituinte integrante de ácidos nucleicos, fosfolípidios, fosfoproteínas, e da molécula de ATP (adenosina trifosfato), estando diretamente ligado aos processos de armazenamento e transferência de energia, fotossíntese e regulação enzimática (Schachtman *et al.*, 1998; Hu e Schmidhalter, 2005; Rubio *et al.*, 2009). O fósforo ainda desempenha um papel

fundamental na exportação de fotoassimilados do cloroplasto (Schachtman *et al.*, 1998; Hu e Schmidhalter, 2005), favorecendo os mecanismos de regulação osmótica.

O potássio é um nutriente essencial para o desenvolvimento e crescimento das plantas (Ashley *et al.*, 2006), e alguns fatores podem explicar os efeitos positivos da aplicação de K^+ no solo. O potássio atua de forma marcante em vários processos fisiológicos, como na síntese de proteínas e enzimas, na fotossíntese, na expansão celular, na manutenção do turgor celular e do estado hídrico, e no transporte de fotoassimilados aos drenos (Cakmak, 2005; Hu e Schmidhalter, 2005; Mahouachi *et al.*, 2006). O K^+ é necessário em diversas reações metabólicas devido a sua capacidade de ativar inúmeras enzimas (Maathuis, 2009), entre elas as envolvidas no metabolismo do carbono (Marschner, 2011).

O potássio pode também aumentar a resistência das plantas em situações de estresse por meio de um melhor desempenho na movimentação estomática e na regulação osmótica, nas trocas iônicas, na síntese de proteínas e no equilíbrio metabólico (Mahouachi *et al.*, 2006; Marschner, 2011). Este nutriente também é capaz de manter o turgor celular e reduzir a transpiração nestas condições (Hu e Schmidhalter, 2005). Durante a fotossíntese são produzidas espécies reativas de O_2 (radicais livres), em situações de estresse fisiológico a superprodução destes compostos é a principal causa de danos celulares e da degradação da clorofila, acarretando uma acentuada queda na fotossíntese e no crescimento (Cakmak, 2005), uma das causas da redução no desempenho das plantas no T1. Contudo a maior disponibilidade de K^+ , através da adubação química e verde, pode diminuir bastante a produção de radicais livres, favorecendo o perfeito funcionamento do transporte de elétrons na fotossíntese (Ashley *et al.*, 2006).

No solo o Ca^{2+} pode estar adsorvido aos coloides, ou ainda ser disponibilizado na solução do solo formando compostos insolúveis e causando a imobilização de nutrientes como o P (Maathuis, 2009). Este nutriente na maioria das vezes não é considerado um fator limitante ao crescimento das plantas (White e Broadley, 2003; Hepler, 2005). Os altos valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} exibidos nos tratamentos T3, T4 e T5, principalmente nas camadas mais superficiais, são reflexos da correção da acidez do solo através da aplicação do calcário dolomítico (Silva *et al.* 2006; Ferreira, 2009). As

altas concentrações de Ca^{2+} nos tratamentos com adubação verde também são resultado dos elevados teores deste elemento presente no material vegetal aplicado.

O Ca^{2+} é parte estrutural e funcional das membranas e paredes celulares (White e Broadley, 2003; Hepler, 2005). O cálcio atua ainda como regulador de inúmeros processos fisiológicos, que influenciam o desenvolvimento e as respostas a diversos fatores de estresse, como a regulação do fluxo hídrico (influenciado pelos efeitos na membrana celular e na abertura estomática), a divisão e a síntese da parede celular e como sinalizador (mensageiro secundário), ativando os mecanismos de defesa e reparo dos vegetais (White e Broadley, 2003; Hu e Schmidhalter, 2005; Lecourieux *et al.*, 2006; Mahouachi *et al.*, 2006; Maathuis, 2009; McAinsh e Pittman, 2009). Devido a estes fatores, existe atualmente um amplo reconhecimento do Ca^{2+} como regulador do crescimento e do desenvolvimento vegetal (Hepler, 2005), favorecendo o crescimento dos indivíduos nos tratamentos T3, T4 e T5. A mudança nas concentrações de Ca^{2+} no citosol pode ainda estimular a nodulação de espécies leguminosas (McAinsh e Pittman, 2009), aumentando a capacidade da espécie *I. edulis* de fixar nitrogênio.

A deficiência em Mg^{2+} pode ser comum devido à fraca ligação entre o elemento as partículas do solo, facilitando a lixiviação deste elemento (Deng *et al.*, 2006), conforme foi observado nos tratamentos T3 e T5. O Mg^{2+} é o componente central da clorofila (Maathuis, 2009) e desempenha um papel fundamental na fotossíntese, particularmente na capacidade de promover as reações luminosas no estroma. O magnésio participa ativamente do balanço fotossintético, podendo impor limitações a esse balanço, por desempenhar funções essenciais na regulação e controle de muitas reações bioquímicas relacionadas com o crescimento e desenvolvimento das plantas (Hepler, 2005). O magnésio presente na célula desenvolve ainda um papel de co-fator enzimático e de estabilização de nucleotídeos e ácidos nucleicos. Estes fatores podem ter contribuído de maneira integrada para o maior crescimento das plantas nos tratamentos T3, T4 e T5.

Quanto aos diferentes tratamentos de adubação, a adubação verde (T4) foi mais eficiente em reter a maioria dos nutrientes no solo quando comparados à adubação de cova (T2). O tratamento T5, por sua vez, reduziu a percolação de diversos nutrientes (K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) em comparação ao T3. Este fato deve-se provavelmente a

imobilização e liberação mais lenta e gradual de alguns nutrientes pela adubação verde, o que favorece o aumento no estoque destes nutrientes no solo (Aulakh *et al.*, 2000; Cherr *et al.*, 2006).

Deficiências nutricionais em condições de seca podem reduzir bastante às taxas de crescimento das plantas devido à baixa disponibilidade e mobilidade, e ao transporte e alocação ineficientes dos nutrientes (Hu e Schmidhalter, 2005). De fato, o fornecimento de nutrientes via adubação não favorece o crescimento das plantas quando o estresse hídrico é acentuado, o que pode explicar o menor desempenho das espécies *I. edulis* e *S. amazonicum* no tratamento T3 em relação ao T4 e T5.

4.6 Teores foliares de nutrientes

Em comparação com os dados encontrados no presente estudo Morais, (2003) trabalhando em um plantio florestal na Amazônia com a espécie *D. odorata*, observou em folhas maduras valores superiores ($1,4 \text{ g kg}^{-1}$) e inferiores ($0,2 \text{ g kg}^{-1}$) para P nos períodos de menor e maior precipitação, respectivamente, e menores teores de K^+ em relação à adubação de cova tanto no período de menor ($6,8 \text{ g kg}^{-1}$) como de maior precipitação ($2,4 \text{ g kg}^{-1}$). Ainda no mesmo trabalho o autor encontrou valores próximos para Ca^{2+} e Mg^{2+} , no período de menor precipitação, e valores maiores no período de maior precipitação.

Santos Junior (2003) estudando o comportamento de diversas espécies tropicais em um plantio florestal de restauração ecológica, encontrou para a espécie *I. edulis* maiores teores para os elementos K ($12,34 \text{ g kg}^{-1}$), Ca ($14,59 \text{ g kg}^{-1}$), Mg ($2,05 \text{ g kg}^{-1}$) e Fe ($355,23 \text{ g kg}^{-1}$) e menores teores para P ($1,04 \text{ g kg}^{-1}$) e Zn ($20,43 \text{ g kg}^{-1}$), em relação a todos os tratamentos de adubação deste estudo. Estas diferenças podem estar relacionadas com o período de coleta e análise do material vegetal, que apresenta diferenças nos teores foliares de nutrientes entre as diferentes épocas do ano.

5. CONCLUSÃO

Diferentes fontes de adubação são capazes de melhorar a fertilidade do solo, favorecendo o metabolismo e os mecanismos fisiológicos das espécies estudadas. Conforme foi reduzida a limitação nutricional, e supostamente hídrica, imposta pelas condições encontradas na área degradada, cada espécie foi capaz de desenvolver

mecanismos para utilizar melhor os recursos disponíveis. Neste sentido, *I. edulis* investiu bastante no número de folhas, enquanto que *D. odorata* e *S. amazonicum* optaram por aumentar as dimensões e a área foliar. Com isso as três espécies conseguiram aperfeiçoar a captação e a utilização da energia luminosa, favorecendo o crescimento e o acúmulo de biomassa. As três espécies responderam positivamente aos tratamentos de adubação, em destaque para o tratamento adubação verde mais química (T5) para *I. edulis* e *S. amazonicum*, e na adubação química (T3) para *D. odorata*. Com relação ao desempenho de cada espécie, podemos dizer que as três espécies apresentaram um crescimento satisfatório, sendo recomendadas para plantios floretais de produção ou de restauração ecológica. A espécie *I. edulis* que apresentou maiores taxas de crescimento absoluto, chegou a uma diferença de 23 vezes na produção de biomassa total no T4 em relação a *D. odorata*, e quase 7 vezes mais que a espécie *S. amazonicum*. Através deste estudo podemos enfim recomendar a necessidade em melhorar as propriedades físico-químicas e biológicas do solo, a fim de facilitar o estabelecimento e o desenvolvimento das espécies tropicais nativas.

Capítulo 2

Trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e pigmentos cloroplastídicos de três espécies leguminosas arbóreas, submetidas à adubação em um plantio florestal misto na Amazônia

1. INTRODUÇÃO

Na floresta Amazônica a preocupação em restaurar ecossistemas degradados tem crescido, principalmente devido às pressões internacionais. Atualmente 20% do bioma Amazônia encontra-se degradado ou alterado (Davidson *et al.*, 2012). A situação encontrada nestas áreas é diferente do ecossistema original, onde as condições ambientais por muitas vezes são desfavoráveis (Parrotta *et al.*, 1997; Gonçalves e Santos Júnior, 2005; Santos Junior *et al.*, 2006). A disponibilidade de recursos hídricos e nutricionais é fortemente reduzida (Gonçalves *et al.* 2005, Silva *et al.* 2006), e o excesso de radiação solar pode causar inúmeros danos ao aparato fotossintético (Gonçalves *et al.*, 2001; Gonçalves *et al.*, 2005). Neste aspecto as diferentes estratégias ecofisiológicas adotadas pelas espécies, podem ser determinantes para o sucesso do estabelecimento de plantios florestais em áreas degradadas (Morais *et al.*, 2007).

O crescimento das plantas é determinado pela capacidade de cada espécie em interceptar a luz solar, e pela eficiência desta em utilizar esta energia no processo fotossintético (Morais, 2003; Larcher, 2003). Parte do carbono assimilado no processo fotossintético é direcionada para a produção de biomassa, outra quantidade significativa é utilizada, através da respiração, em todo metabolismo da planta, e na manutenção de tecidos e células (Taiz e Zeiger, 2006; Larcher, 2003). Em uma área degradada, especificamente de regiões tropicais, por outro lado, existem inúmeros fatores de estresse fisiológico responsáveis pela diminuição da fotossíntese (Larcher, 2003), e consequente redução do crescimento (Cakmak, 2005), sendo que alta irradiância, déficit hídrico e nutricional, e altas temperaturas são os principais fatores.

Durante a fotossíntese espécies reativas de O₂ (oxigênio singleto) são produzidas, na cadeia de transporte de elétrons e na redução do NADPH. Em situações de estresse fisiológico ocorre uma superprodução destes compostos, sendo esta a principal causa de danos celulares e da degradação da clorofila, acarretando uma acentuada queda no crescimento (Demmig-Adams e Adams, 1996; Dat *et al.*, 2000; Müller *et al.*, 2001; Mittler, 2002; Cakmak, 2005; Sunkar *et al.*, 2007). Em situações de alta irradiância, quando a espécie não é capaz de dissipar a energia em excesso, esta pode ainda diminuir drasticamente a capacidade fotossintética devido ao

processo de fotoinibição (Demmig-Adams e Adams 1992). O processo fotoinibitório pode ser potencializado pela interação entre outros fatores estressores como o aumento das temperaturas e/ou a deficiência hídrica e nutricional dos solos (Cakmak, 2005; Mittler, 2006).

Assim como a irradiância a disponibilidade hídrica também afeta diretamente os processos fisiológicos e metabólicos da planta, principalmente o crescimento celular, a síntese de proteínas, o transporte de fotoassimilados, o transporte de nutrientes, a abertura estomática e a fotossíntese (Larcher, 2003; Taiz e Zeiger, 2006; Seki *et al.*, 2007). De modo particular, em condições de déficit hídrico, o aparato estomático é um dos primeiros componentes da planta a ser afetado, tendo como consequência direta a redução da fotossíntese (Cakmak, 2005; Neill *et al.*, 2008; Cordeiro *et al.*, 2009).

A baixa fertilidade do solo também pode comprometer o crescimento das espécies, uma vez que nutrientes como o N, P, K desempenham funções vitais como às relacionadas aos processos de fotossíntese e manutenção do estado hídrico das plantas (Ashley *et al.*, 2006; Marschner, 2011). Em situações de estresse nutricional a planta é capaz de ativar inúmeras respostas adaptativas, na tentativa de minimizar os efeitos causados pela baixa disponibilidade de nutrientes (Sunkar *et al.*, 2007; Rubio *et al.*, 2009). O suprimento adequado de nutrientes, ao contrário, pode favorecer inúmeros mecanismos de crescimento das plantas (Marenco *et al.* 2001, Gonçalves *et al.* 2005, Silva *et al.* 2008; Marschner, 2011). Alguns nutrientes como K, Ca e Mg podem ainda contribuir para a tolerância a estresses abióticos (Cakmak, 2005; Ashley *et al.*, 2006; Lecourieux *et al.*, 2006; Maathuis, 2009; McAinsh e Pittman, 2009).

O estudo de parâmetros fisiológicos (trocas gasosas, metabolismo, transferência de energia, respostas ao estresse fisiológico e estado nutricional) pode ser utilizado para entender o funcionamento de um ecossistema e os fatores que interagem entre si. Este conhecimento pode nos ajudar a desenvolver estratégias de restauração eficientes, que levam em consideração a qualidade do habitat no desempenho de cada indivíduo (Cooke e Suski, 2008). Estes parâmetros, no entanto, ainda são pouco utilizados no campo da restauração ecológica, principalmente para espécies florestais nos trópicos.

Os parâmetros da fluorescência da clorofila *a*, e os teores de clorofilas e carotenóides podem ser bons indicadores de estresse fisiológico em plantas em condições de alta irradiância, (Gonçalves *et al.*, 2001; Force *et al.*, 2003; Gonçalves *et al.*, 2007; Stirbet e Govindjee, 2011), podendo ser utilizados para avaliar a capacidade de aclimação de espécies em áreas degradadas (Gonçalves *et al.*, 2005; Gonçalves e Santos Junior, 2005; Santos Junior *et al.*, 2006). Danos causados pela fotoinibição têm sido estudados por meio da indução da fluorescência da clorofila *a*, uma técnica rápida, e não destrutiva (Govindjee, 1995), usada para investigar os danos causados ao aparato fotossintético por diversos fatores estressores (Gonçalves *et al.*, 2001; Force *et al.*, 2003; Stirbet e Govindjee, 2011). Sob alta irradiância, a taxa de degradação das clorofilas tende a ser mais intensa, como resultado, nestas condições são encontradas menores teores de clorofila total, e maiores teores de carotenóides como forma de proteção (Müller *et al.*, 2001).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo investigar a influência de diferentes tratamentos de adubação nas respostas fotossintéticas (trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a*, e teores de clorofilas e carotenóides), de três espécies leguminosas arbóreas em um plantio florestal misto. Para tanto este trabalho testou a hipótese que diferentes tratamentos de adubação são capazes de favorecer o desempenho fisiológico da planta, melhorando a captação e utilização de luz, e conseqüentemente a fotossíntese, proporcionado por melhores condições físicas, químicas e biológicas do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Determinação das trocas gasosas

As medidas de trocas gasosas foram realizadas 10 meses após o plantio, em cinco indivíduos por tratamento. Os dados foram coletados entre 8:00 e 11:00 horas, em folhas completamente expandidas, situadas no terço médio das plantas, expostas a pleno sol e em bom estado fitossanitário. As variáveis taxa de fotossíntese líquida (A), respiração no escuro (R_d), condutância estomática (g_s), e transpiração (E) foram determinadas por meio de um analisador de gás infravermelho (IRGA) portátil, de sistema aberto, modelo LI-COR 6400, conforme metodologia adotada por Santos Junior *et al.* (2006). Os dados das variáveis mencionadas acima foram determinados a

uma densidade de fluxo de fótons (PPFD) de $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e $1.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com a câmara foliar ajustada para concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 4 \mu\text{mol mol}^{-1}$, $31 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente.

2.2. Fluorescência da clorofila *a*

A determinação dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* foi realizada no mesmo período e nos mesmos indivíduos, em que foram determinadas as trocas gasosas, por meio de um fluorômetro portátil (PEA, MK2–9600, Norfolk, UK) em folhas completamente expandidas em bom estado fitossanitário, situadas no terço médio da planta. Os dados foram coletados, entre 09:00 e 12:00 horas. As folhas selecionadas foram submetidas a um período de adaptação de 30 min no escuro, tempo suficiente para a completa oxidação dos centros de reação. Estas folhas foram então expostas a pulsos de luz saturante à intensidade de $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e comprimento de onda de 650 nm por 5 s (Gonçalves *et al.*, 2001). A partir da indução da fluorescência foram obtidas a fluorescência inicial (F_0), máxima (F_m) e variável ($F_v = F_m - F_0$), a eficiência máxima do fotossistema II (F_v/F_m) e o Índice de desempenho (P.I.) (Gonçalves *et al.*, 2007).

2.3. Teores de pigmentos cloroplastídicos

A coleta de amostras para a determinação dos pigmentos cloroplastídicos foi realizada no mesmo período das demais determinações fisiológicas. Foram coletadas duas folhas para cada indivíduo amostrado, completamente expandidas, situadas no terço médio e adequadas do ponto de vista fitossanitário. Estas folhas foram envoltas em papel alumínio, acondicionadas em uma caixa térmica com gelo e conduzidas imediatamente ao Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Vegetal (LBFV-Inpa), onde foram determinados os teores de clorofila *a* (663 nm), clorofila *b* (645 nm) e carotenóides (480 nm) conforme metodologia de Lichtenthaler e Wellburn (1983). Os teores de pigmentos cloroplastídicos, na base da massa foliar fresca ($\mu\text{mol g}^{-1}$) foram calculados a partir das equações descritas por Hendry e Price (1993).

3. RESULTADOS

3.1. Trocas gasosas

Para os resultados das trocas gasosas foi possível observar um efeito significativo dos fatores adubação e espécie para todas as variáveis. Para a espécie *D. odorata*, as taxas de fotossíntese líquida foram superiores nos tratamentos T3 e T4, atingindo os maiores valores no tratamento T5 ($13,08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), o que representa um aumento de 73% da fotossíntese em relação ao T1 ($7,55 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 1). O mesmo ocorreu para a espécie *I. edulis* que apresentou os maiores valores nos tratamentos T4 e T5, atingindo os maiores valores neste último tratamento ($20,65 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), o que corresponde a um aumento de 70% em relação ao T1 ($12,12 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Para a espécie *S. amazonicum* as taxas fotossintéticas passaram de $14,19 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no tratamento T2 para $18,24 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no T5, um incremento de 28% nas taxas fotossintéticas (Tabela 1). Quando comparadas nos mesmos tratamentos de adubação a espécie *I. edulis* alcançou maiores taxas fotossintéticas em comparação a espécie *D. odorata* em todos os tratamentos de adubação; por outro lado a espécie *S. amazonicum* apresentou valores estatisticamente iguais ao *I. edulis* em todos os tratamentos de adubação exceto no T4 ($p < 0,01$) (Tabela 1).

Não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos de adubação para as taxas de respiração nas espécies *D. odorata* e *S. amazonicum* cujos valores variaram entre $0,50 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $1,02 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *D. odorata* e entre $1,31 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $1,91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *S. amazonicum* (Tabela 1). A espécie *I. edulis*, apresentou as menores taxas de respiração no tratamento T3 ($1,08 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e as maiores no tratamento T1 ($2,36 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo este tratamento significativamente diferente dos demais ($p = 0,03$) (Tabela 1). De maneira geral a espécie *D. odorata* obteve menores taxas respiratórias em relação às demais espécies.

Os valores para condutância estomática variaram entre $143,80 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ a $220,38 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *D. odorata*, e entre $279,13$ e $344,52 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para *S. amazonicum* (Tabela 1). *I. edulis* alcançou os maiores valores para condutância nos tratamentos com adubação verde, chegando a $641,89 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no

Tabela 1: Trocas gasosas em plantas das três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM). Fotossíntese líquida (A), respiração no escuro (R_d) condutância estomática (g_s) e transpiração (E) estimados a uma densidade de fluxo de fótons (PPDF) de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Espécies	Adubação	Variáveis			
		A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	R_d	g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	E
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	7,55 ± 2,51 Cb	1,02 ± 0,27 Ab	143,80 ± 65,00 Ab	2,89 ± 1,17 Ab
	Ad. Cova	8,06 ± 2,32 BCb	0,91 ± 0,42 Ab	166,89 ± 44,74 Ab	3,35 ± 0,76 Ac
	Ad. Química	11,03 ± 1,90 ABb	0,60 ± 0,44 Ab	187,28 ± 80,19 Ac	3,52 ± 1,21 Ab
	Ad. Verde	11,36 ± 2,67 ABb	0,66 ± 0,39 Ab	205,26 ± 59,44 Ab	3,22 ± 1,36 Ab
	Ad. V. + Q.	13,08 ± 2,37 Ab	0,50 ± 0,31 Ab	220,38 ± 76,16 Ab	3,94 ± 0,94 Ab
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	12,12 ± 3,07 Ca	2,36 ± 0,73 Aa	340,38 ± 76,25 Ca	5,35 ± 0,76 Ca
	Ad. Cova	15,91 ± 1,83 Ba	1,53 ± 0,42 Ba	463,72 ± 149,03 BCa	6,28 ± 1,22 BCa
	Ad. Química	16,78 ± 0,70 Ba	1,08 ± 0,18 Bab	383,29 ± 67,20 BCa	5,81 ± 0,55 Ca
	Ad. Verde	18,93 ± 1,91 ABa	1,54 ± 0,21 Ba	511,91 ± 69,99 ABa	7,10 ± 0,58 ABa
	Ad. V. + Q.	20,65 ± 2,66 Aa	1,39 ± 0,63 Ba	641,89 ± 73,78 Aa	7,61 ± 0,36 Aa
<i>Schizolobium amazonicum</i>	S/ adubação	ND*	ND*	ND*	ND*
	Ad. Cova	14,19 ± 2,01 Ba	1,31 ± 0,53 Aa	279,13 ± 63,09 Ab	4,76 ± 0,69 Ab
	Ad. Química	15,03 ± 2,50 ABa	1,83 ± 0,65 Aa	329,21 ± 117,01 Aa	5,11 ± 0,93 Aab
	Ad. Verde	14,22 ± 1,90 Bb	1,91 ± 0,51 Aa	301,01 ± 92,82 Ab	5,00 ± 0,95 Ab
	Ad. V. + Q.	18,24 ± 3,39 Aab	1,33 ± 0,54 Aa	344,52 ± 106,61 Ab	5,35 ± 1,06 Ab

* ND = Não disponível

Médias de cinco plantas (\pm desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer.

Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação em cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies em um mesmo tratamento de adubação.

tratamento T5 o que representa um aumento de 88% na condutância estomática em comparação ao tratamento T1 ($340,38 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 1). A espécie *I. edulis* alcançou valores superiores em comparação às demais espécies em todos os tratamentos de adubação. *S. amazonicum* foi superior a *D. odorata* em todos os tratamentos de adubação, no entanto as diferenças encontradas entre as duas espécies nos tratamentos T2 ($p > 0,05$), T4 ($p > 0,05$) e T5 ($p > 0,05$) não foram significativas (Tabela 1).

Para a transpiração também não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos de adubação para as duas espécies *D. odorata* e *S. amazonicum*, com valores médios respectivamente entre $2,89 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $3,94 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e entre $4,76 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $5,35 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 1). Os tratamentos de adubação com maiores taxas de transpiração para a espécie *I. edulis* foram T4 e T5, chegando a $7,61 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no T5, enquanto que as menores taxas foram encontradas no tratamento T1 ($5,35 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 1). A espécie *I. edulis* apresentou valores médios de transpiração superiores às demais espécies em todos os tratamentos de adubação, sendo estatisticamente igual a espécie *S. amazonicum* apenas no tratamento T3 ($p > 0,05$).

3.2. Fluorescência da clorofila *a*

Com relação aos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* não foram observados efeitos dos tratamentos de adubação para a fluorescência inicial (F_0) nas espécies *D. odorata* e *S. amazonicum*. Apenas *I. edulis* apresentou diferença significativa entre o tratamento T1 e os demais ($p < 0,01$), passando de 718 no tratamento T5 para 1177 no T1 (Tabela 2). Apenas no tratamento T1 foi observado efeito do fator espécie, sendo os valores de *I. edulis* superiores aos de *D. odorata* ($p < 0,05$). Para fluorescência máxima não foram detectadas diferenças estatísticas entre os tratamentos de adubação para as espécies *I. edulis* e *S. amazonicum*, no entanto, *D. odorata* teve um aumento dos valores nos tratamentos T3, T4 e T5 (Tabela 2).

Para a razão F_v/F_M os menores valores foram encontrados para a espécie *I. edulis* no tratamento T1 (0,59), diferente dos demais tratamentos de adubação ($p < 0,001$). Os maiores valores foram alcançados pela espécie *S. amazonicum* no tratamento T5 (0,80), que foram superiores aos tratamentos T2 ($p < 0,05$) e T3

Tabela 2: Parâmetros da fluorescência da clorofila *a* em plantas das três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM). Fluorescência inicial (F₀), fluorescência máxima (F_m) e fluorescência variável (F_v = F_m – F₀).

Espécies	Adubação	Variáveis				
		F ₀	F _m	F _v	F _v / F _m	PI _{ABS}
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	781,80 ± 58,72 Ab	2610,20 ± 369,57 BCa	1828,40 ± 323,68 BCa	0,69 ± 0,03 ABa	1,16 ± 1,15 Ba
	Ad. Cova	823,60 ± 60,84 Aa	2495,30 ± 492,87 Ca	1671,70 ± 473,56 Cb	0,65 ± 0,06 Bb	0,48 ± 0,41 Bb
	Ad. Química	792,20 ± 33,48 Aa	3277,80 ± 435,24 Aa	2485,60 ± 419,75 Aa	0,75 ± 0,03 Aa	1,97 ± 1,36 ABa
	Ad. Verde	882,00 ± 94,58 Aa	3516,70 ± 307,33 Aa	2634,70 ± 356,80 Aa	0,75 ± 0,04 Aa	1,31 ± 0,75 ABb
	Ad. V. + Q.	806,30 ± 186,29 Aa	3216,20 ± 565,02 ABa	2409,90 ± 490,74 ABa	0,74 ± 0,05 Ab	2,89 ± 1,77 Ab
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	1177,10 ± 297,27 Aa	2860,40 ± 592,58 Aa	1683,30 ± 371,24 Ba	0,59 ± 0,05 Bb	0,47 ± 0,53 Ba
	Ad. Cova	750,30 ± 117,58 Ba	3300,70 ± 718,02 Aa	2550,40 ± 606,69 Aa	0,76 ± 0,04 Aa	2,66 ± 1,38 ABa
	Ad. Química	787,80 ± 94,61 Ba	3471,90 ± 554,66 Aa	2684,10 ± 481,10 Aa	0,77 ± 0,03 Aa	2,73 ± 1,56 ABa
	Ad. Verde	729,90 ± 140,18 Ba	3173,40 ± 719,03 Aa	2443,50 ± 594,62 ABa	0,77 ± 0,02 Aa	4,31 ± 2,96 Aab
	Ad. V. + Q.	717,70 ± 132,72 Ba	3072,70 ± 700,29 Aa	2355,00 ± 571,15 ABa	0,76 ± 0,02 Aab	5,17 ± 2,82 Ab
<i>Schizolobium amazonicum</i>	S/ adubação	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
	Ad. Cova	805,10 ± 130,46 Aa	2838,30 ± 577,93 Aa	2033,20 ± 570,24 Aab	0,70 ± 0,07 Bab	2,36 ± 2,04 Bab
	Ad. Química	759,60 ± 102,26 Aa	2900,00 ± 815,74 Aa	2140,40 ± 751,58 Aa	0,72 ± 0,08 Ba	2,92 ± 1,80 Ba
	Ad. Verde	799,30 ± 88,94 Aa	3221,50 ± 375,84 Aa	2422,20 ± 419,93 Aa	0,75 ± 0,05 ABa	4,67 ± 2,24 Ba
	Ad. V. + Q.	705,10 ± 35,17 Aa	3607,70 ± 275,24 Aa	2902,60 ± 261,91 Aa	0,80 ± 0,01 Aa	10,15 ± 3,37 Aa

* ND = Não disponível

Médias de cinco plantas (±desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer.

Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação em cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies em um mesmo tratamento de adubação.

($p = 0,05$) para a espécie (Tabela 2). Diferenças significativas entre as espécies *I. edulis* e *D. odorata* foram observados nos tratamentos T1 ($p = 0,007$) e no T2 ($p = 0,04$) e para as espécies *S. amazonicum* e *D. odorata* no T5 ($p = 0,01$). Os valores para o índice de desempenho (PI_{ABS}) demonstraram maior variação entre os tratamentos do que a razão F_v/F_m . Os maiores valores de PI_{ABS} foram encontrados na espécie *S. amazonicum* no tratamento T5 (10,15), diferente dos demais tratamentos de adubação ($p < 0,01$) para a mesma espécie (Tabela 2). Para *I. edulis* os maiores valores também foram observados no T5 (5,17). Os menores valores para a mesma variável foram obtidos nos tratamentos T1 (0,47) e T2 (0,48) para as espécies *I. edulis* e *D. odorata* respectivamente (Tabela 2). De maneira geral a espécie *S. amazonicum* apresentou maiores valores de índice de desempenho do que as outras espécies.

3.3. Pigmentos cloroplásticos

Os teores de clorofila *a* (chl *a*) foram calculados por unidade de massa foliar, variando entre $0,75 \mu\text{mol g}^{-1}$ e $1,35 \mu\text{mol g}^{-1}$ nos tratamentos T2 e T3 respectivamente, para a espécie *D. odorata*, um acréscimo de 80% nos teores deste pigmento. A espécie *I. edulis* atingiu um aumento de 100% para os teores de chl *a* entre os tratamentos T1 ($0,72 \mu\text{mol g}^{-1}$) e T5 ($1,44 \mu\text{mol g}^{-1}$) (Tabela 3). O mesmo comportamento foi observado para os teores de clorofila *b* (chl *b*) onde os valores variaram entre $0,24 \mu\text{mol g}^{-1}$ e $0,39 \mu\text{mol g}^{-1}$ para *D. odorata* e entre $0,22 \mu\text{mol g}^{-1}$ e $0,37 \mu\text{mol g}^{-1}$ para a espécie *I. edulis* nos mesmos tratamentos de adubação citados para chl *a* (Tabela 3). O parâmetro chl_{tot} também apresentou os valores máximos e mínimos nos mesmos tratamentos de adubação que a chl *a*, variando entre $1,00 \mu\text{mol g}^{-2}$ e $1,74 \mu\text{mol g}^{-1}$ para *D. odorata*, e entre $0,93 \mu\text{mol g}^{-1}$ e $1,82 \mu\text{mol g}^{-1}$ para *I. edulis* (Tabela 3).

Os maiores teores de carotenóides (c_{x+c}) foram encontrados nos tratamentos T4 para as espécies *D. odorata* ($0,49 \mu\text{mol g}^{-1}$) e na adubação química T3 para *I. edulis* ($0,62 \mu\text{mol g}^{-1}$) (Tabela 3). Não foi observado um efeito significativo dos tratamentos de adubação para os valores de chl *a/b* para a espécie *D. odorata*. Os maiores valores da razão chl *a/b* para *I. edulis*, foram encontrados nos tratamentos T2 (4,10) e T5 (4,05) (Tabela 3). Estes valores foram superiores para a espécie *I. edulis* em todos os tratamentos de adubação, no entanto as diferenças entre as espécies não foram significativas. Para a razão chl_{tot}/c_{x+c} os maiores valores foram encontrados nos

Tabela 3: Teores de pigmentos cloroplastídicos na base de massa foliar para as três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM). Clorofila a (chl a), clorofila b (chl b), carotenóides (C_{x+c}), clorofila total (chl a + chl b); clorofila a / clorofila b (chl a/b) e clorofila total / carotenóides (chl_{tot}/C_{x+c}).

Espécies	Adubação	Parâmetros					
		chl a	chl b	chl _{tot}	C _{x+c}	chl a/b	chl _{tot} /C _{x+c}
		$\mu\text{mol g}^{-1}$					
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	0,83 ± 0,23 Ba	0,26 ± 0,05 Ba	1,09 ± 0,28 Ba	0,42 ± 0,09 Aa	3,16 ± 0,43 Aa	2,60 ± 0,46 Ba
	Ad. Cova	0,75 ± 0,29 Ba	0,24 ± 0,12 Ba	1,00 ± 0,41 Ba	0,39 ± 0,16 Aa	3,30 ± 0,57 Ab	2,51 ± 0,35 Bb
	Ad. Química	1,35 ± 0,25 Aa	0,39 ± 0,08 Aa	1,74 ± 0,32 Aa	0,48 ± 0,08 Aa	3,50 ± 0,28 Aa	3,61 ± 0,38 Aa
	Ad. Verde	1,07 ± 0,13 ABb	0,32 ± 0,20 ABa	1,39 ± 0,13 ABa	0,49 ± 0,07 Aa	3,36 ± 0,47 Ab	2,86 ± 0,33 Ba
	Ad. V. + Q.	1,25 ± 0,29 Aa	0,39 ± 0,09 Aa	1,65 ± 0,37 Aa	0,43 ± 0,11 Aa	3,18 ± 0,35 Ab	3,87 ± 0,61 Aa
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	0,72 ± 0,20 Ca	0,22 ± 0,05 Ca	0,93 ± 0,24 Ca	0,35 ± 0,11 Ca	3,34 ± 0,70 Ba	2,75 ± 0,47 Ba
	Ad. Cova	1,04 ± 0,18 BCa	0,25 ± 0,05 BCa	1,29 ± 0,22 BCa	0,41 ± 0,04 BCa	4,10 ± 0,38 Aa	3,15 ± 0,36 ABa
	Ad. Química	1,33 ± 0,31 ABa	0,35 ± 0,10 ABa	1,68 ± 0,39 ABa	0,62 ± 0,13 Aa	3,84 ± 0,58 ABa	2,79 ± 0,70 ABa
	Ad. Verde	1,34 ± 0,20 ABa	0,34 ± 0,07 ABa	1,68 ± 0,27 ABa	0,54 ± 0,08 ABa	4,05 ± 0,29 Aa	3,10 ± 0,19 ABa
	Ad. V. + Q.	1,44 ± 0,30 Aa	0,37 ± 0,10 Aa	1,82 ± 0,40 Aa	0,53 ± 0,08 ABa	3,93 ± 0,40 ABa	3,42 ± 0,33 Aa

* ND = Não disponível

Médias de cinco plantas (\pm desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer.

Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação em cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies em um mesmo tratamento de adubação.

tratamentos T3 (3,61) e T5 (3,87) para a espécie *D. odorata*, e no tratamento adubação T5 (3,42) para *I. edulis* (Tabela 3).

4. DISCUSSÃO

4.1. Trocas gasosas

As altas taxas fotossintéticas encontradas para as espécies *I. edulis* e *S. amazonicum*, principalmente no tratamento adubação verde mais química, podem ser uma das principais causas do rápido crescimento, e a alta incorporação de biomassa, sendo de grande interesse para plantios florestais de restauração de áreas degradadas (Santos Junior *et al.*, 2006). O efeito dos tratamentos de adubação no aumento das taxas fotossintéticas para as três espécies parece estar relacionado com a maior disponibilidade de nutrientes envolvidos nas fases luminosas e de carboxilação da fotossíntese (Larcher, 2003; Ferreira, 2009).

A queda nas taxas fotossintéticas por outro lado pode ter ocorrido devido a vários fatores, tais como: menor absorção de nutrientes essenciais para o perfeito funcionamento do aparato fotossintético, a presença de fatores de estresse como hídrico, ou por alta irradiância (Morais, 2003). A deficiência nutricional, especialmente para o K^+ , pode causar um sério decréscimo nas taxas fotossintéticas em condições de alta irradiância. O que está relacionado com os baixos teores de clorofilas, a baixa resistência estrutural dos cloroplastos, a redução da condutância estomática, a diminuição da atividade carboxilativa da Rubisco, e ao transporte de fotoassimilados (Zhao *et al.*, 2001; Cakmak, 2005). Espécies reativas de O_2 são produzidos pelas plantas durante a fotossíntese, e são responsáveis por danos fotooxidativos às células, degradando as membranas celulares, e as clorofilas (Cakmak, 2005). Em situações de baixa disponibilidade de K^+ a produção destes compostos é acentuada causando uma queda da fotossíntese e do crescimento (Cakmak, 2005; Ashley *et al.*, 2006).

A respiração das plantas, por outro lado, pode aumentar em condições de alta irradiância e temperatura (Marenco *et al.*, 2001; Moraes, 2003), devido ao custo de manutenção das células, tecidos e do aparato fotossintético, e do aumento no investimento em mecanismos de fotoproteção como carotenóides (Clearwater *et al.*, 1999). Diversos estudos demonstram uma diminuição da condutância estomática e consequente queda das trocas gasosas em situações de estresse hídrico (Seki *et al.*,

2007; Neill *et al.*, 2008; Cordeiro *et al.*, 2009). Além do K^+ , o Ca^{2+} também desenvolve um papel fundamental no processo de fechamento dos estômatos, através das mudanças nas concentrações, no citosol das células-guarda, como resposta a estímulos externos, como fatores de estresse bióticos e abióticos (Bush, 1993; Mahouachi *et al.*, 2006; Maathuis, 2009; McAinsh e Pittman, 2009). O nitrogênio, por sua vez, desenvolve um papel fundamental, no pleno funcionamento do aparato fotossintético, por ser parte integrante das moléculas de clorofila e da Rubisco (Makoto e Koike, 2007).

Marenco *et al.*, (2001) e Morais, (2003) ambos trabalhando em plantios florestais com espécies tropicais a pleno sol, encontraram taxas fotossintéticas similares ($8,68 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para a espécie *D. odorata*, valores muito próximos aos encontrados neste trabalho, nas condições de adubação de cova ($8,06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e sem adubação ($7,55 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 1). O mesmo ocorreu para as demais variáveis como respiração, condutância estomática e transpiração. Santos Junior, (2003) observou valores muito próximos das taxas de fotossíntese ($15,83 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), respiratórias ($1,96 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e de transpiração ($5,11 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) encontradas neste estudo ($15,91 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $1,53 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, $6,28 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) para a espécie *I. edulis* no tratamento T2 (Tabela 1), no entanto, valores próximos para condutância estomática ($673,00 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) só foram atingidos no T5 ($641,89 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

4.2. Fluorescência da clorofila a

A fluorescência inicial está associada com a energia proveniente da absorção de fótons que consegue alcançar o centro de reação do PS II (Force *et al.*, 2003). O aumento dos valores de F_0 no tratamento T1 para a espécie *I. edulis* (1.177,10) pode estar relacionado a diversos fatores como: Danos causados pela alta irradiância ao centro de reação do PS II (Rosenqvist *et al.*, 1991; Taiz e Zeiger, 2006), ou devido a mudanças estruturais sobre a membrana dos tilacóides causadas por altas temperaturas (Schreiber e Bilger, 1987 apud Santos Junior, 2003).

Com relação à eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_M), podemos observar que as três espécies estudadas apresentaram sinais de fotoinibição por excesso de radiação, obtendo valores inferiores principalmente nos tratamentos T1 para espécie *I.*

edulis, e no T2 para as espécies *D. odorata* e *S. amazonicum*. Menores valores de F_v/F_M podem ainda estar associados com o aumento na dissipação de energia em forma de calor ou em processos não fotoquímicos (Müller *et al.*, 2001).

Estes resultados indicam melhores condições dos tratamentos de adubação, para a captura e utilização da energia (Ferreira, 2009). Os valores da razão F_v/F_M encontrados para a espécie *D. odorata* no presente estudo, são similares aos encontrados por Gonçalves *et al.* (2010) em condição de plena luminosidade, por Gonçalves *et al.* (2001) em um plantio misto sob duas condições de luminosidade, e por Morais *et al.* (2007) em um plantio florestal misto com 10 anos próximo a região de Manaus. Valores próximos para razão F_v/F_M , foram encontrados por Santos Junior *et al.* (2006) para a espécie *I. edulis* dois meses após o plantio florestal em uma área degradada por atividade petrolífera na Amazônia.

O índice de desempenho (PI_{ABS}) foi um parâmetro mais sensível do que a razão F_v/F_M , para detectar as diferenças entre os tratamentos de adubação e entre as diferentes espécies, por relacionar eventos de transporte de elétrons com a dissipação de energia durante o processo (Force *et al.*, 2003; Gonçalves *et al.*, 2007; Stirbet e Govindjee, 2011). Neste sentido, o tratamento T5 proporcionou maiores valores de índice de desempenho para as três espécies (Tabela 2), supostamente pela melhoria das condições nutricionais e do conforto físico, como maior umidade e menor temperatura do solo. Para a espécie *S. amazonicum* houve um aumento de cerca de 4 vezes nos valores de PI_{ABS} do tratamento T5 em relação ao T2. Este aumento foi da ordem de 6 vezes para *D. odorata* entre os mesmos tratamentos, chegando a um aumento de 11 vezes nos valores médios para a espécie *I. edulis* entre os tratamentos T1 e T5 (Tabela 2). Segundo Gonçalves *et al.*, 2010 plantas jovens de *D. odorata* expostas a pleno sol alcançaram menores valores de PI_{ABS} em comparação as plantas de sombra. Comparando as mesmas condições de luminosidade, os valores ficaram próximos ao tratamento T2 e inferiores aos demais tratamentos com adubação (Tabela 2).

4.3. Pigmentos cloroplastídicos

Os resultados encontrados neste trabalho foram inferiores aos reportados por Santos Junior, (2003) para a espécie *I. edulis*, para as variáveis chl a ($2,51 \mu\text{mol g}^{-1}$),

chl *b* ($0,73 \mu\text{mol g}^{-1}$) e c_{x+c} ($1,14 \mu\text{mol g}^{-1}$) em todos os tratamentos. No entanto, para as razões chl *a/b* e $\text{chl}_{\text{tot}}/c_{x+c}$, os valores foram superiores na maioria dos tratamentos de adubação (Tabela 3). Neste sentido a razão chl *a/b* tem sido utilizada como um indicador de resposta das plantas a alta irradiância (Anderson *et al.*, 1988). O aumento da razão chl *a/b* resulta na diminuição da absorção de energia, podendo ser considerado um indicativo da diminuição do estresse causado pelo excesso de luz (Krause *et al.*, 2001). Os menores valores para a razão chl *a/b* foram encontrados no tratamento T1 (3,16 e 3,34) para as espécies *D. odorata* e *I. edulis*, respectivamente (Tabela 3), sendo um indicativo de estresse por alta irradiância nestas condições.

A presença do N, especialmente, nas moléculas de clorofila e da proteína rubisco é essencial para o pleno funcionamento do aparato fotossintético (Makoto e Koike, 2007). O Mg^{2+} é o maior componente da clorofila e de íons primários envolvidos no balanço fotossintético (Liu *et al.*, 1997). A superprodução de espécies reativas de O_2 em condições de alta irradiância e deficiência nutricional podem causar danos às membranas e a degradação da clorofila, sendo responsável pela diminuição dos teores de pigmentos fotossintetizantes nos tratamentos sem adubação (Cakmak, 2005).

Os carotenóides fazem parte dos fotossistemas nas membranas dos tilacóides, sendo essencial para a fotoproteção do aparato fotossintético (Larcher, 2003). Em condições de alta irradiância pode ser intensificada a formação de espécies reativas de oxigênio (radicais superóxidos) altamente danosas à integridade das membranas dos tilacóides (Richter *et al.*, 1990; Barber e Anderson, 1992), causando danos irreparáveis ao aparato fotossintético e induzindo a fotoinibição (Hideg, 1997). Nestas condições, concentrações insuficientes de carotenóides nas folhas podem resultar severos danos fotooxidativos as células e aos tecidos (Bartley e Scolnik, 1995). Portanto a razão $\text{chl}_{\text{tot}}/c_{x+c}$ tem sido utilizada como um indicador de possíveis danos fotooxidativos, onde maiores valores dessa razão sugerem uma maior adaptação a alta irradiância (Hendry e Price, 1993). Conforme citado os tratamentos com os maiores valores da razão $\text{chl}_{\text{tot}}/c_{x+c}$ encontraram-se nos tratamentos T3 para *D. odorata* e no tratamento T5 para *D. odorata* e *I. edulis*, evidenciando uma melhor adaptação nestes tratamentos de adubação (Tabela 3).

5. CONCLUSÃO

Um maior acúmulo de pigmentos cloroplastídicos, e uma maior eficiência na captação de energia dos indivíduos sob adubação, refletiram as altas taxas fotossintéticas, conforme encontrado nos tratamentos adubação verde (T4) e adubação verde mais química (T5). Frente às condições encontradas na área, cada espécie foi capaz de desenvolver diferentes mecanismos fisiológicos, para superar as barreiras impostas pelo meio. Conforme a limitação nutricional foi reduzida, através da adubação verde ou química as espécies *I. eduis* e *D. odorata* foram capazes de aumentar sua capacidade fotossintética. Assim como o *S. amazonicum*, que investiu em mecanismos mais eficientes na captação de energia. De maneira geral a nutrição mineral através da adubação química e verde resultou na melhora do desempenho fotossintético, que por sua vez foi responsável pelo maior crescimento e acúmulo de biomassa das espécies. Com base nos resultados obtidos neste trabalho, podemos concluir que diferentes tratamentos silviculturais, especialmente com relação à melhoria da qualidade do solo, afetam diretamente a ecofisiologia e o metabolismo das plantas como um todo.

CONCLUSÃO GERAL

O processo de ciclagem de nutrientes em florestas tropicais é essencial para a manutenção da produtividade do sistema. Conforme tentou-se reproduzir estas condições, por meio da aplicação da capoeira picada (adubação verde) as três espécies responderam positivamente, com relação ao desenvolvimento dos seus indivíduos. A melhoria na fertilidade do solo pela adubação química e verde, e nas propriedades físicas e biológicas pela adubação verde, aumentaram o desempenho nos processos fisiológicos das plantas. A maior absorção de nutrientes resultou em maior produção de pigmentos cloroplastídicos, e conseqüentemente uma captação e utilização mais eficiente da energia luminosa, com isso as plantas sofreram menos de estresse por alta irradiância. Todos estes fatores contribuíram de forma integrada, refletindo em maiores taxas fotossintéticas, que por sua vez foi responsável em promover maiores taxas de crescimento em altura e diâmetro, e maior produção de biomassa. Confirma-se através deste estudo, a necessidade em se recuperar *a priori* as propriedades edáficas de uma área degradada, para o melhor desenvolvimento dos indivíduos. É importante ressaltar a necessidade de novas pesquisas que avaliem a contribuição de diferentes métodos e arranjos silviculturais, a fim de fortalecer o estabelecimento de plantios florestais na região Amazônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Introdução geral

ABRAF. 2011. *Anuário estatístico da ABRAF 2011 ano base 2010 / ABRAF*. – Brasília. 130p.

Acosta-Durán, C.; Martínez-Romero, E. 2002. Diversity of rhizobia from nodules of the leguminous tree *Gliricidia sepium*, a natural host of *Rhizobium tropici*. *Arch Microbiol*, 178: 161-164.

Aide, T.M.; Zimmerman, J.K.; Herrera, L.; Rosario, M.; Serrano, M. 1995. Forest recovery in abandoned tropical pastures in Puerto Rico. *Forest Ecology and Management*, 77: 77-86.

Arco-Verde, M.F.; Silva, I.C.; Júnior, M.M. 2009. Aporte de nutrientes e produtividade de espécies arbóreas e de cultivos agrícolas em sistemas agroflorestais na Amazônia. *Floresta*, 39: 11-22.

Asner, G.P.; Knapp, D.E.; Broadbent, E.N.; Oliveira, P.J.C.; Keller, M.; Silva, J.N. 2005. Selective logging in the Brazilian Amazon. *Science*, 310: 480-482.

Aulakh, M.S.; T. S. Kheray, T.S.; Doran, J.W.; Singh, K.; Singh, B. 2000. Yields and Nitrogen Dynamics in a Rice-Wheat System Using Green Manure and Inorganic Fertilizer. *Soil Science Society American Journal*, 65: 820-827.

Aulakh, M.S.; T. S. Kheray, T.S.; Doran, J.W.; Bronson, K.F. 2001. Managing crop residue with green manure, urea, and tillage in a rice-Wheat rotation. *Soil Science Society American Journal*, 65: 820-827.

Barona, E.; Ramankutty, N.; Hyman, G.; Coomes, O.T. 2010. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 5: 1-9.

Barros, E.; Grimaldi, M.; Sarrazin, M.; Chauvel, A.; Mitja, D.; Desjardins, T.; Lavelle, P. 2004. Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. *Applied Soil Ecology*, 26: 157-168.

Biederbeck, V.O.; Campbell, C.A.; Rasiah, V.; Zentner, R.P.; Wen, G. 1998. Soil quality attributes as influenced by annual legumes used as green manure. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(8/9): 1177-1185.

Biederbeck, V.O.; Zentner, R.P.; Campbell, C.A. 2005. Soil microbial populations and activities as influenced by legume green fallow in a semiarid climate. *Soil Biology and Biochemistry*, 37: 1775-1784.

Binkley, D.; Dunkin, K.A.; DeBell, D.; Ryan, M.G.; 1992. Production and nutrient cycling in mixed plantations of Eucalyptus and Albizia in Hawaii. *Forest Science*, 38: 393-408.

Buschbacher, R.; Uhl, C.; Serrão, E.A.S. 1988. Abandoned pastures in eastern Amazonia. II. Nutrient stocks in the soil and vegetation. *Journal of Ecology*, 76: 682-699.

Campoe, O.C.; Stape, J.L.; Mendes, J.C.T. 2010. Can intensive management accelerate the restoration of Brazil's Atlantic forests?. *Forest Ecology and Management*, 259: 1808-1814.

Carnevale, N.; Montagnini, F. 2002. Facilitating regeneration of secondary forests with the use of mixed and pure plantations of indigenous tree species. *Forest Ecology and Management*, 163: 217-227.

Chander, K.; Goyal, S.; Mundra, M.C.; Kapoor, K.K. 1997. Organic matter, microbial biomass and enzyme activity of soils under different crop rotations in the tropics. *Biol Fertil Soils*, 24: 306-310.

Chazdon, R.L. 2003. Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6: 51-71.

Cherr, C.M.; Scholberg, J.M.S.; McSorley, R. 2006. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. *Agronomy Journal*, 98: 302-319.

- Cole, R.J.; Holl, K.D.; Zahawi, R.A. 2010. Seed rain under tree islands planted to restore degraded lands in a tropical agricultural landscape. *Ecological Applications*, 20: 1255-1269.
- Cusack, D.; Montagnini, F. 2004. The role of native species plantations in recovery of understory woody diversity in degraded pasturelands of Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 188: 1-15.
- Davidson, E.A.; Carvalho, C.J.R.; Figueira, A.M.; Ishida, F.Y.; Ometto, J.P.H.B.; Nardoto, G.B.; Sabá, 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: 995-998.
- Davidson, E.A.; Araujo, A.C.; Artaxo, P.; Balch, J.K.; Brown, I.F.; Bustamante, M.M.C.; Coe, M.T.; DeFries, R.S.; Keller, M.; Longo, M.; Munger, J.W.; Schroeder, W.; Soares-Filho, B.S.; Souza Jr, C.M.; Wofsy, S.C. 2012. Amazon basin in transition. *Nature*, 481: 321-328.
- DeBell, D.S.; Cole, T.C.; Whitesell, C.D. 1997. Growth, development, and yield of pure and mixed stands of Eucalyptus and Albizia. *Forest Science*, 43: 286-298.
- De Faria, S.M.; Diedhiou, A.G.; De Lima, H.C.; Ribeiro, R.D.; Galiana, A.; Castilho, A.F.; Henriques, J.C. 2010. Evaluating the nodulation status of leguminous species from the Amazonian forest of Brazil. *Journal of Experimental Botany*, 61(11): 3119-3127.
- Denich, M.; Vlek, P.L.G.; Abreu Sá, T.D.; Vielhauer, K.; Lücke, W. 2005. A concept for the development of fire-free fallow management in the Eastern Amazon, Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 110: 43-58.
- Doyle, J.J. 1998. Phylogenetic perspectives on nodulation: evolving views of plants and symbiotic bacteria. *Trends in Plant Science*, 12(3): 473-478.
- Eden, M.J., Furley, P.A., McGregor, D.F.M., Milliken, W., Ratter, J.A., 1991. Effect of forest clearance and burning on soil properties in northern Roraima, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 38: 283-290.

- Eletronorte. 1997. *Memória Técnica, Usina Hidrelétrica Balbina/ Centrais Elétricas do Norte do Brasil-Eletronorte*, Diretoria de Engenharia-DE, Superintendência de Projeto-EE – Brasília, 550pp.
- Engel, V.L.; Parrotta, J.A. 2001. An evaluation of direct seeding for reforestation of degraded lands in central São Paulo state, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 152: 169-181.
- Evans, J.; Turnbull, J. 2004. *Plantation Forestry in the Tropics*. Oxford University Press, Oxford. 467 pp..
- Ewel, J.; Berish, C.; Brown, B.; Price, N.; Raich, J. 1981. Slash and burn impacts on a Costa Rican wet forest site. *Ecology*, 62: 816-829.
- Ewers, R.M.; Laurence, W.F.; Souza Junior, C.M. Temporal fluctuations in Amazonian deforestation rates. *Environmental Conservation*, 35 (4): 303-310.
- Fearnside, P. M. 1996. Amazonian deforestation and global warming: carbon stocks in vegetation replacing Brazil's Amazon forest. *Forest Ecology and Management*, 80: 21-34.
- Fearnside P.M. 2008. The Roles and Movements of Actors in the Deforestation of Brazilian Amazonia. *Ecology and Society*, 13(1): 23.
- Fernandes, E.C.M.; Motavalli, P.P.; Castilla, C.; Mukurumbira, L. 1997. Management control of soil organic matter dynamics in tropical land-use systems. *Geoderma*, 79: 49-67.
- Ferreira, M.J. 2009. *Crescimento, estado nutricional e características fotossintéticas de Bertolhettia excelsa sob tratamentos de adubação em área degradada na Amazônia central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 52pp.
- Fisher, R.F. 1995. Amelioration of degraded rain forest soils by plantations of native trees. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59: 544-549.

- Forrester, D.I.; Bauskus, J.; Khanna, P.K. 2004. Growth dynamics in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*, 193: 81-95.
- Forrester, D.I.; Bauskus, J.; Annette L. Cowie, A.L.; Vanclay, J.K. 2006. Mixed-species plantations of *Eucalyptus* with nitrogen-fixing trees: A review. *Forest Ecology and Management*, 233: 211-230.
- Franche, C.; Lindström, K.; Elmerich, C. 2009. Nitrogen-fixing bacteria associated with leguminous and non-leguminous plants. *Plant Soil*, 321: 35-59.
- Franco, A.A.; De Faria, S.M. 1997. The contribution of N₂-fixing tree legumes to land reclamation and sustainability in the tropics. *Soil Biol. Biochem*, 29(5/6): 897-903.
- Gomes, A.C.S.; Luizão, F.J. 2011. Leaf and Soil Nutrients in a Chronosequence of Second-Growth Forest in Central Amazonia: Implications for Restoration of Abandoned Lands. *Restoration Ecology*,
- Goyal, S.; Chander, K.; Mundra, M.C.; K. K. Kapoor, K.K. 1999. Influence of inorganic fertilizers and organic amendments on soil organic matter and soil microbial properties under tropical conditions. *Biol Fertil Soils*, 29: 196-200.
- Guariguata, M.; Rheingans, R.; Montagnini, F. 1995. Early woody invasion under tree plantations in Costa Rica: implications for forest restoration. *Restoration Ecology*, 3: 52-260.
- Höfer, H.; Hanagarth, W.; Garcia, M.; Martius, C.; Franklin, E.; Römbke, J.; Beck, L. 2001. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 37: 229-235.
- Hunt, R. 1990. *Basic Growth Analysis*. Unwin Hyman, 112pp.
- Imai, T.; Inoue, S.; Ohdaira, N.; Matsushita, Y.; Suzuki, R.; Sakurai, M.; Jesus, J.M.H.; Ozaki, S.K.; Finger, Z.; Fukushima, K. 2008. Heartwood extractives from the Amazonian trees *Dipteryx odorata*, *Hymenaea courbaril*, and *Astronium lecointei* and their antioxidant activities. *Journal of Wood Science*, 54: 470-475.

Jang, D.S.; Park, E.J.; Hawthorne, M.E.; Vigo, J.S.; Graham, J.G.; Cabieses, F.; Santarsiero, B.D.; Mesecar, A.D.; Fong, H.H.S.; Mehta, R.G.; Pezzuto, J.M.; Kinghorn, A.D. 2003. Potential Cancer Chemopreventive Constituents of the Seeds of *Dipteryx odorata* (Tonka Bean). *Journal of Natural Products*, 66: 583-587.

Jordan, C.F. 1985. *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems*. Wiley, 190pp.

Joslin, A.H.; Markewitz, D.; Morris, L.A.; Oliveira, F.A.; Figueiredo, R.O.; Kato, O.R. 2011. Five native tree species and manioc under slash-and-mulch agroforestry in the eastern Amazon of Brazil: plant growth and soil responses. *Agroforest Systems* 81: 1-14.

Kato, M.S.A.; Kato, O.R.; Denich, M.; Vlek, P.L.G. Fire-free alternatives to slash-and-burn for shifting cultivation in the eastern Amazon region: the role of fertilizers. *Field Crops Research*, 62: 225-237.

Kauffman, J.B.; Hughes, R.F.; Heider, C. 2009. Carbon pool and biomass dynamics associated with deforestation, land use, and agricultural abandonment in the neotropics. *Ecological Applications*, 19: 1211-1222.

Keenan, R.; Lamb, D.; Woldring, O.; Irvine, T.; Jensen, R. 1997. Restoration of plant biodiversity beneath tropical tree plantations in northern Australia. *Forest Ecology and Management*, 99: 117-131.

Kelty, M.J.; Cameron, I.R. 1995. Plot designs for the analysis of species interactions in mixed stands. *Commonwealth Forestry Review*, 74(4): 322-332.

Kelty, M.J. 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest Ecology and Management*, 233: 195-204.

Khanna, P.K. 1997. Comparison of growth and nutrition of young monocultures and mixed stands of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*, 94: 105-113.

Khanna, P.K. 1998. Nutrient cycling under mixed-species tree systems in southeast Asia. *Agroforestry Systems*, 38: 99-120.

- Lamb, D.; Erskine, P.D.; Parrotta, J.A. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310: 1628-1632.
- Lambers, H.; Raven, J.A.; Shaver, G.R.; Smith, S.E. 2008. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology and Evolution*, 23(2): 95-103.
- Lawrence, A. 1995. Farmer knowledge and use of Inga species. In Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils. In: Evans, D.O. Szott, L.T. *Nitrogen Fixing Tree Research Reports*, 142–151.
- Leblanc, H.A.; McGraw, R.L.; Nygren, P.; Le Roux, C. 2005. Neotropical legume tree *Inga edulis* forms N₂-fixing symbiosis with fast-growing Bradyrhizobium strains. *Plant and Soil*, 275:123-133.
- Liebman, M.; Davis, A.S. 2000. Integration of soil, crop and weed management in low-external-input farming systems. *Weed Research*, 40: 27-47.
- Lindell, L.; Aström, M.; Öberg, T. 2010. Land-use versus natural controls on soil fertility in the subandean Amazon, Peru. *Science of the Total Environment*, 408: 965-975.
- Lojka, B.; Lojkova, J.; Banout, J.; Polesny, Z.; Preininger, D. 2008. Performance of an improved fallow system in the Peruvian Amazon-modelling approach. *Agroforest Syst*, 72: 27-39.
- Lojka, B.; Dumas, L.; Preininger, D.; Polesny, Z.; Banout, J. 2010. The use and integration of *Inga edulis* in agroforestry systems in the Amazon – review article. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 43(4): 352-359.
- 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.
- Mackensen, J.; Hölscher, D.; Klinge, R.; Fölster, H. 1996. Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 86: 121-128.

Mafia, R.G.; Alfenas, A.C.; Andrade, G.C.G.; Zauza, E.A.V.; Pfenning, L.H.; Rosa, J. 2003. Tombamento de mudas causado por *Fusarium solani*: uma nova doença do paricá no Brasil. *Fitopatologia Brasileira*, 28(4):.

Marschner H.P. 2011. *Mineral Nutrition in Higher Plants*. London: Academic Press. 672pp.

Martins, P.F.S.; Cerri, C.C.; Volkoff, B.; Andreux, F.; Chauvel, A. 1991. Consequences of clearing and tillage on the soil of a natural Amazonian ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 38: 273-282.

Montagnini, F.; Gonzáles, E.; Porras, C. 1995. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. *Commonwealth Forestry Review*, 74: 306-314.

Montagnini, F. 2000. Accumulation in above-ground biomass and soil storage of mineral nutrients in pure and mixed plantations in a humid tropical lowland. *Forest Ecology and Management*, 134: 257-270.

Moraes, J.F.L.; Volkoff, B.; Cerri, C.C.; Bemoux, M. 1996. Soil properties under Amazon forest and changes due to pasture installation in Rondônia, Brazil. *Geoderma*, 70: 63-81.

Morais, R.R. 2003. *Ecofisiologia de espécies arbóreas crescidas sob condições de plantios na Amazônia Central*. Tese de Doutorado, Instituto Nacional Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 151pp.

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.

Nichols, J.D.; Carpenter, F.L. 2006. Interplanting *Inga edulis* yields nitrogen benefits to *Terminalia* Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 233: 344-351.

- Palm, C.A.; Sanchez, P.A. 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.*, 23: 83-88.
- Parrotta, J.A.; Turnbull, J.W.; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forestry Ecology and Management*, 99: 1-7.
- Parrotta, J.A.; Knowles, O.H. 2001. Restoring tropical forests on lands mined for bauxite: Examples from the Brazilian Amazon. *Ecological Engineering*, 17: 219-239.
- Parrotta, J.A.; Francis, J.K.; Knowles, O.H. 2002. Harvesting intensity affects forest structure and composition in an upland Amazonian forest. *Forest Ecology and Management*, 169: 243-255.
- Pastor, J.; Binkley, D. 1998. Nitrogen fixation and the mass balances of carbon and nitrogen in ecosystems. *Biogeochemistry*, 43: 63-78.
- Paul, M.; Catterall C.P.; Pollard P.C.; Kanowski J. 2010. Recovery of soil properties and functions in different rainforest restoration pathways. *Forest Ecology and Management*, 259: 2083-2092.
- Pedlowski, M.A.; Dale, V.H.; Eraldo A.T. Matricardi, E.A.T.; Filho, E.P.S. 1997. Patterns and impacts of deforestation in Rondônia, Brazil. *Landscape and Urban Planning*, 38: 149-157.
- Piotto, D.; Viquez, E.; Montagnini, F.; Kanninen, M. 2004. Pure and mixed forest plantations with native species of the dry tropics of Costa Rica: a comparison of growth and productivity. *Forest Ecology and Management*, 190: 359-372.
- Ramos, M.G.; Villatoro, M.A.A.; Urquiaga, S.; Alves, B.J.R.; Boddey, R.M. 2001. Quantification of the contribution of biological nitrogen fixation to tropical green manure crops and the residual benefit to a subsequent maize crop using ¹⁵N-isotope techniques. *Journal of Biotechnology*, 91: 105-115.
- Rao, M.R.; Mathuva, M.N. 2000. Legumes for improving maize yields and income in semi-arid Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 78: 123-137.

Reddy, K.N.; Zablutowicz, R.M.; Locke, M.A.; Koger, C.H. 2003. Cover crop, tillage, and herbicide effects on weeds, soil properties, microbial populations, and soybean yield. *Weed Science*, 51: 987-994.

Richards, P.W. 1996. *The tropical rainforest: an ecological study*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, USA.

Rothe, A.; Binkley, D. 2001. Nutritional interactions in mixed species forests: a synthesis. *Canadian Journal Forest Research*, 31: 1855-1870.

Saldarriga, J.G., 1985. Forest Succession in the Upper Rio Negro of Colombia and Venezuela. In: Jordan, C. F. 1986. *Amazonian rain forests (Ecological studies; v. 60)*. p.24-33.

Sanchez, P.A. 1999. Improved fallows come of age in the tropics. *Agroforestry Systems*, 47: 3-12.

Siddique, I.; Engel, V.L.; Parrotta, 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.

Silva, A.K.L.; Vasconcelos, S.S.; Carvalho, C.J.R.; Cordeiro, I.M.C.C. 2011. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. *Plant Soil*, publicação online.

Siviero, M.A.; Motta, A.M.; Lima, D.S.; Birolli, R.R.; Huh, S.Y.; Santinoni, I.A.; Murate, L.S.; Castro, C.M.A.; Miyauchi, M.Y.H.; Zangaro, W. 2008. Interaction among N-fixing bacteria and AM fungi in Amazonian legume tree (*Schizolobium amazonicum*) in field conditions. *Applied Soil Ecology*, 39: 144-152.

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.

- Sprent, J.I.; Parsons, R. 2000. Nitrogen fixation in legume and non-legume trees. *Field Crops Research*, 65: 183-196.
- Sprent, J.I. 2007. Evolving ideas of legume evolution and diversity: a taxonomic perspective on the occurrence of nodulation. *New Phytologist*, 174: 11-25.
- Suzuki, R.; Matsushita, Y.; Imai, T.; Sakurai, M.; Jesus, J. M. H.; Ozaki, S K.; Finger, Z.; Fukushima, K. 2008. Characterization and antioxidant activity of Amazonian woods. *Journal of Wood Science*, 54: 174-178
- Tapia-Coral, S.C.; Luizão, F.J.; Wandelli, E.; Fernandes, E.C.M. 2005. Carbon and nutrient stocks in the litter layer of agroforestry systems in central Amazonia, Brazil. *Agroforestry Systems*, 65: 33-42.
- Tremacoldi, C.R.; Lunz, A.M.; Costa, F.R.S. 2008. Cancro em paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*) no estado do Pará. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 59: 69-73.
- Uchida, T.; Campos, M.A.A. 2000. Influência do sombreamento no crescimento de mudas de cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. – Fabaceae), cultivadas em viveiro. *Acta Amazonica*, 30: 107-114.
- Veloso, H.P.; Rangel Filho, A.L.R.; Lima, J.C.A. 1991. *Classificação da vegetação brasileira adaptada a um sistema universal*. IBGE, Rio de Janeiro.
- Vitousek, P.M. 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology*, 17: 1861-1876.
- Vitousek, P.M.; Sanford Jr. R.L. 1986.. Nutrient cycling in moist tropical forest. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 17: 137-167.
- Young, T.P. (2000). Restoration ecology and conservation biology. *Biological Conservation*, 92: 73-83.

Zamora, C.O.; Montagnini, F. 2007. Seed rain and seed dispersal agents in pure and mixed plantations of native trees and abandoned pastures at La Selva Biological Station, Costa Rica. *Restoration Ecology*, 15 (3): 453-461.

Capítulo 1

Agren, G.L. 2008. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 39: 153-70.

Allen, G.J.; Chu, S.P.; Schumacher, K.; Shimazaki, C.T.; Vafeados, D.; Kemper, A.; Hawke, S.D.; Tallman, G.; Tsien, R.Y., Harper, J.F. 2000. Alteration of stimulus specific guard cell calcium oscillations and stomatal closing in *Arabidopsis det3* mutant. *Science*, 289: 2338-2342.

Arco-Verde, M.F.; Silva, I.C.; Júnior, M.M. 2009. Aporte de nutrientes e produtividade de espécies arbóreas e de cultivos agrícolas em sistemas agroflorestais na Amazônia. *Floresta*, 39: 11-22.

Ashley, M.K.; Grant, M.; Grabov, A. 2006. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. *Journal of Experimental Botany*, 57(2): 425-436.

Aulakh, M.S.; Kheray, T.S.; Doran, J.W.; Singh, K.; Singh, B. 2000. Yields and nitrogen dynamics in a rice-wheat system using green manure and inorganic fertilizer. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64: 1867-1876.

Benincasa, M.M.P. 1986. *Análise de crescimento de plantas (noções básicas)*. UEP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus Jaboticabal, Jaboticabal, São Paulo, 41 p.

Bothwell, J.H.F.; Ng, C.K.Y. 2005. The evolution of Ca⁺² signalling in photosynthetic eukaryotes. *New Phytol*, 166: 21-38.

Bush, D.S. 1993. Regulation of Cytosolic Calcium in Plants. *Plant Physiol.*, 103: 7-13.

Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168: 521-530.

- Cherr, C.M.; Scholberg, J.M.S.; McSorley, R. 2006. Green Manure Approaches to Crop Production: A Synthesis. *Agronomy Journal*, 98: 302-319.
- Davidson, E.A.; Araujo, A.C.; Artaxo, P.; Balch, J.K.; Brown, I.F.; Bustamante, M.M.C.; Coe, M.T.; DeFries, R.S.; Keller, M.; Longo, M.; Munger, J.W.; Schroeder, W.; Soares-Filho, B.S.; Souza, C.M.; Wofsy, S.C. 2012. Amazon basin in transition. *Nature*, 481: 321-328.
- DeBell, D.S.; Cole, T.C.; Whitesell, C.D. 1997. Growth, development, and yield of pure and mixed stands of Eucalyptus and Albizia. *Forest Science*, 43: 286-298.
- Dechorgnat, J.; Chi Tam Nguyen, C.T.; Armengaud, P.; Jossier, M.; Diatloff, E.; Filleur, S.; Daniel-Vedele, F. 2010. From the soil to the seeds: the long journey of nitrate in plants. *Journal of Experimental Botany*, 1-11.
- Deng W.; Luo, K.M.; Li, D.M.; Zheng, X.L.; Wei, X.Y.; Smith, W.; Thammina, C.; Lu, L.T.; Li, Y.; Pei, Y. 2006. Overexpression of an Arabidopsis magnesium transport gene, AtMGT1, in *Nicotiana benthamiana* confers Al tolerance. *J Exp Bot*, 57: 4235-4243.
- Embrapa. 2009. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes*. Brasília. 370pp.
- Evans, J. R.; Pooter, H. 2001. Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain. *Plant, Cell & Environment*, 24(8): 755 - 767.
- Evans, J.; Turnbull, J. 2004. *Plantation Forestry in the Tropics*. Oxford University Press, Oxford. 467 pp.
- Ferreira, M.J. 2009. *Crescimento, estado nutricional e características fotossintéticas de Bertollettia excelsa sob tratamentos de adubação em área degradada na Amazônia central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. 52pp.

- Forrester, D.I.; Bauhus, J.; Cowie, A.L. 2005. On the success and failure of mixed-species tree plantations: lessons learned from a model system of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*, 209: 147-155.
- Gruber, N.; Galloway, J.N. 2008. An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. *Nature*, 451: 293-296.
- Harper, J.F.; Breton, G.; Harmon, A. 2004. Decoding Ca⁺² signals through plant protein kinases. *Annu. Rev. Plant Biol.* 55, 263-288.
- Hepler, P.K. 2005. Calcium: A Central Regulator of Plant Growth and Development. *The Plant Cell*, 17: 2142–2155.
- Höfer, H.; Hanagarth, W.; Garcia, M.; Martius, C.; Franklin, E.; Römbke, J.; Beck, L. 2001. Structure and function of soil fauna communities in Amazonian anthropogenic and natural ecosystems. *European Journal of Soil Biology*, 37: 229-235.
- Holford, I.C.R. 1997. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. *Aust J Soil Res*, 35: 227-239.
- Hu, Y.; Schmidhalter, U. 2005. Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168: 541-549.
- Gomes, A.C.S.; Luizão, F.J. 2011. Leaf and Soil Nutrients in a Chronosequence of Second-Growth Forest in Central Amazonia: Implications for Restoration of Abandoned Lands. *Restoration Ecology*,
- Guariguata, M.; Rheingans, R.; Montagnini, F. 1995. Early woody invasion under tree plantations in Costa Rica: implications for forest restoration. *Restoration Ecology*, 3: 52-260.
- Jeschke, W.; Kirkby, E.; Peuke, A.; Pate, J.; Hartung, W. 1997. Effects of P efficiency on assimilation and transport of nitrate and phosphate in intact plants of castor bean (*Ricinus communis* L.). *J Exp Bot*, 48: 75-91.
- Jordan, C.F. 1985. *Nutrient Cycling in Tropical Forest Ecosystems*. Wiley, 190pp.

- Joslin, A.H.; Markewitz, D.; Morris, L.A.; Oliveira, F.A.; Figueiredo, R.O.; Kato, O.R. 2011. Five native tree species and manioc under slash-and-mulch agroforestry in the eastern Amazon of Brazil: plant growth and soil responses. *Agroforest Systems* 81: 1-14.
- 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.
- Keenan, R.; Lamb, D.; Sexton, G. 1995. Experience with mixed species rainforest plantations in North Queensland. *Commonwealth Forestry Review*, 74(4): 315-321.
- Kelty, M.J. 2006. The role of species mixtures in plantation forestry. *Forest Ecology and Management*, 233: 195-204.
- Lamers, J.P.A.; Khamzina, A.; Worbes, M. 2005. The analyses of physiological and morphological attributes of 10 tree species for early determination of their suitability to afforest degraded landscapes in the Aral Sea Basin of Uzbekistan. *Forest Ecology and Management*, 221: 249-259.
- Lamb, D.; Erskine, P.D.; Parrotta, J.A. 2005. Restoration of degraded tropical forest landscapes. *Science*, 310: 1628-1632.
- Lambers, H.; Raven, J.A.; Shaver, G.R.; Smith, S.E. 2008. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. *Trends in Ecology and Evolution*, 23(2): 95-103.
- Lawlor, D. W. 2002. Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems. *Journal of Experimental Botany*, 53(370): 773-787.
- Lecourieux, D.; Ranjeva, R.; Pugin, A. 2006. Calcium in plant defence-signalling pathways. *New Phytologist*, 171: 249-269.
- Lojka, B.; Dumas, L.; Preininger, D.; Polesny, Z.; Banout, J. 2010. The use and integration of *Inga edulis* in agroforestry systems in the Amazon – review article. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 43(4): 352-359.

- Maathuis, F.J.M. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12: 250-258.
- Marschner H.P. 2011. *Mineral Nutrition in Higher Plants*. London: Academic Press. 672pp.
- Mahouachi, J.; Socorro A.R.; Talon, M. 2006. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. *Plant Soil*, 281: 137-146.
- Makoto, K.; Koike, T. 2007. Effects of nitrogen supply on photosynthetic and anatomical changes in current-year needles of *Pinus koraiensis* seedlings grown under two irradiances. *Photosynthetica*, 45: 99-104.
- McAinsh M.R.; Pittman J.K. 2009. Shaping the calcium signature. *New Phytol*, 181: 275-294.
- Miller, A.J.; Fan, X.; Orsel, M.; Smith, S.J.; Wells, D.M. 2007. Nitrate transport and signalling. *Journal of Experimental Botany*, 58: 2297-2306.
- Miller, A.J.; Cramer, M.D. 2008. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Plant Soil*, 274:1-36.
- Miller, A.J.; Smith, S.J. 2008. Cytosolic nitrate ion homeostasis, could it have a role in sensing nitrogen status?. *Annals of Botany*, 101: 485-489.
- Miyazawa, M.; Pavan, M.A.; Muraoka, T.; Carmo C.A.F.S.; Mello, W.J. 1999. Análise química de tecidos vegetais. In: Silva, F.C. (Ed.), *Manual de Análise Química de Solos, Plantas e Fertilizantes*. Embrapa, Brasília. p.172-223.
- Montagnini, F.; Gonzáles, E.; Porras, C. 1995. Mixed and pure forest plantations in the humid neotropics: a comparison of early growth, pest damage and establishment costs. *Commonwealth Forestry Review*, 74: 306-314.

- Morais, R.R.; Gonçalves, J.F.C.; Santos Junior, U.M.; Dünisch, O.; Santos, A.L.W. 2007. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll *a* fluorescence in Amazonian tropical tree species. *Revista Árvore*, 31: 959-966.
- 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.
- Nürnbergger, T.; Scheel, D. 2001. Signal transmission in the plant immune response. *Trends in Plant Science*, 6: 372-379.
- Parrotta, J.A.; Turnbull, J.W.; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forestry Ecology and Management*, 99: 1-7.
- Piotto, D.; Viquez, E.; Montagnini, F.; Kanninen, M. 2004. Pure and mixed forest plantations with native species of the dry tropics of Costa Rica: a comparison of growth and productivity. *Forest Ecology and Management*, 190: 359-372.
- Resende, A.V.; Furtini Neto, A.E.; Muniz, J.A.; Curi, N.; Faquin, V. 1999. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. *Pesq. Agropec. Bras*, 34(11) 2071-2081.
- Rondon, E.V. 2002. Produção de biomassa e crescimento de árvores de *Schizolobium amazonicum* (Huber) Ducke sob diferentes espaçamentos na região da mata. *R. Árvore*, 26(5): 573-576.
- Rubio, V.; Bustos, R.; Irigoyen, M.L.; Cardona-López, X.; Rojas-Triana, M.; Paz-Ares, J. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Mol Biol*, 69: 361-373.
- Santos Junior, U.M. 2003. *Ecofisiologia de espécies arbóreas plantadas sobre área degradada por atividade petrolífera na Amazônia Central*. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional Pesquisas da Amazônia/Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas. 135pp.

Santos Junior, U.M., Gonçalves, J.F.C., Feldpausch, T.R. 2006. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in Central Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 226: 299-309.

Schachtman, D.P.; Robert, J.R.; Ayling, S.M. 1998. Phosphorus Uptake by Plants: From Soil to Cell. *Plant Physiol*, 116: 447-453.

Schroth, G.; D'Angelo, S.A.; Teixeira, W;G.; Haag, D.; Lieberei, R. 2002. Conversion of secondary forest into agroforestry and monoculture plantations in Amazonia: consequences for biomass, litter and soil carbon stocks after 7 years. *Forest Ecology and Management*, 163: 131-150.

Silva, A.K.L.; Vasconcelos, S.S.; Carvalho, C.J.R.; Cordeiro, I.M.C.C. 2011. Litter dynamics and fine root production in *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* plantations and regrowth forest in Eastern Amazon. *Plant Soil*, publicação online.

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.

Taiz, L.; Zeiger, E. 2006. *Plant Physiology*. Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, Massachusetts, 690 p.

Vitti, G.C.; Ferreira, A.C. 1997. *Síntese de análises químicas em tecido vegetal*. Esalq-Departamento de Ciência do Solo.

White, P.J.; Broadley, M.R.. 2003. Calcium in plants. *Annals of Botany*, 92, 487-511.

Zhao, D.; Oosterhuis, D.M.; Bednarz, C.W. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, 39: 103-109.

www.obt.inpe.br/degrad/ acessado em 04/05/2012

Capítulo 2

Allen, G.J.; Chu, S.P.; Schumacher, K.; Shimazaki, C.T.; Vafeados, D.; Kemper, A.; Hawke, S.D.; Tallman, G.; Tsien, R.Y., Harper, J.F. 2000. Alteration of stimulus specific guard cell calcium oscillations and stomatal closing in *Arabidopsis det3* mutant. *Science*, 289: 2338-2342.

Ashley, M.K.; Grant, M.; Grabov, A. 2006. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. *Journal of Experimental Botany*, 57(2): 425-436.

Bush, D.S. 1993. Regulation of Cytosolic Calcium in Plants. *Plant Physiol.*, 103: 7-13.

Cakmak, I. 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 168: 521-530.

Cooke, S.J.; Suski, C.D. 2008. Ecological Restoration and Physiology: An Overdue Integration. *BioScience*, 58(10): 957-968.

Dat J.; Vandenabeele, S.; Vranova, E.; Van Montagu, M.; Inze, D.; Van Breusegem, F. 2000. Dual action of the active oxygen species during plant stress responses. *Cell Mol Life Sci*, 57: 779-795.

Davidson, E.A.; Araujo, A.C.; Artaxo, P.; Balch, J.K.; Brown, I.F.; Bustamante, M.M.C.; Coe, M.T.; DeFries, R.S.; Keller, M.; Longo, M.; Munger, J.W.; Schroeder, W.; Soares-Filho, B.S.; Souza Jr, C.M.; Wofsy, S.C. 2012. Amazon basin in transition. *Nature*, 481: 321-328.

Del Río, L.A.; Sandalio, L.M.; Corpas, F.J.; Palma, J.M.; Barroso, J.B. 2006. Reactive oxygen species and reactive nitrogen species in peroxisomes. Production, scavenging, and role in cell signaling. *Plant Physiology*, 141: 330-335.

Demmig-Adams, B.; Adams, W.W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol*, 43: 599-626.

Demmig-Adams, B.; Adams, W.W. 1996. The role of xanthophyll cycle carotenoids in the protection of photosynthesis. *Trends in Plant Science*, 1: 21-26.

- Force, L.; Critchley, C.; Van Rensen, J.J.S. 2003. New fluorescence parameters for monitoring photosynthesis in plants 1. The effect of illumination on the fluorescence parameters of the JIP-test. *Photosynthesis Research*, 78: 17-33.
- Gonçalves, J.F.C.; Marengo, R.A.; Vieira, G. 2001. Concentration of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two light environments. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 13: 149-157.
- Gonçalves, J.F.C.; Santos Junior, U.M. 2005. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17: 307-313.
- Gonçalves, J.F.C.; Santos Jr., U.M.; Adamir R. Nina Jr., A.R.; Chevreuil, L.R. 2007. Energetic flux and performance index in copaiba (*Copaifera multijuga* Hayne) and mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings grown under two irradiance environments. *Braz. J. Plant Physiol.*, 19(3): 171-184.
- Gonçalves, J.F.C.; Carlos Eduardo Silva, C.E.S.; Guimarães, D.G.; Bernardes, R.S. 2010. Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. *Acta Amazonica*, 40(1): 89-98.
- Larcher, W. 2003. *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. 4th Ed. – Springer-Verlag, Berlin 2003.
- Lecourieux, D.; Ranjeva, R.; Pugin, A. 2006. Calcium in plant defence-signalling pathways. *New Phytologist*, 171: 249-269.
- Marschner H.P. 2011. *Mineral Nutrition in Higher Plants*. London: Academic Press. 672pp.
- Maathuis, F.J.M. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12: 250-258.

- Mahouachi, J.; Socorro A.R.; Talon, M. 2006. Responses of papaya seedlings (*Carica papaya* L.) to water stress and re-hydration: growth, photosynthesis and mineral nutrient imbalance. *Plant Soil*, 281: 137-146.
- Makoto, K.; Koike, T. 2007. Effects of nitrogen supply on photosynthetic and anatomical changes in current-year needles of *Pinus koraiensis* seedlings grown under two irradiances. *Photosynthetica*, 45: 99-104.
- Marenco, R.A.; Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G. 2001. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional status in two light environments in central Amazonia. *Tree Physiology*, 21: 1311-1318.
- McAinsh M.R.; Pittman J.K. 2009. Shaping the calcium signature. *New Phytol*, 181: 275-294.
- Mittler, R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science*, 7: 405-410.
- Mittler, R. 2006. Abiotic stress, the field environment and stress combination. *Trends in Plant Science*, 11(1): 15-19.
- Morais, R.R.; Gonçalves, J.F.C.; Santos Junior, U.M.; Dünisch, O.; Santos, A.L.W. 2007. Chloroplastid pigment contents and chlorophyll *a* fluorescence in Amazonian tropical tree species. *Revista Árvore*, 31: 959-966.
- Müller, P.; Li, X.; Niyogi, K.K. 2001. Non-Photochemical Quenching. A Response to Excess Light Energy. *Plant Physiology*, 125: 1558-1566.
- Parrotta, J.A.; Turnbull, J.W.; Jones, N. 1997. Catalyzing native forest regeneration on degraded tropical lands. *Forestry Ecology and Management*, 99: 1-7.
- Rosenqvist, E.; Wingsle, G.; Ogren, E. 1991. Photoinhibition of photosynthesis in intact willow leaves in response to moderate changes in light and temperature. *Physiologia Plantarum*, 83: 390-396.

Rubio, V.; Bustos, R.; Irigoyen, M.L.; Cardona-López, X.; Rojas-Triana, M.; Paz-Ares, J. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Mol Biol*, 69: 361-373.

Santos Junior, U.M., Gonçalves, J.F.C., Feldpausch, T.R. 2006. Growth, leaf nutrient concentration and photosynthetic nutrient use efficiency in tropical tree species planted in degraded areas in Central Amazonia. *Forest Ecology and Management*, 226: 299-309.

Sunkar, R.; Chinnusamy, V.; Zhu, J.; Zhu, J. 2007. Small RNAs as big players in plant abiotic stress responses and nutrient deprivation. *Trends in Plant Scienc*, 12(7): 301-309.

Shinozaki, K.; Yamaguchi-Shinozaki, K. 2007. Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 58: 221-227.

Stirbet, A.; Govindjee. 2011. On the relation between the Kautsky effect (chlorophyll a fluorescence induction) and Photosystem II: Basics and applications of the OJIP fluorescence transient. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 104: 236-257.

Zhao, D.; Oosterhuis, D.M.; Bednarz, C.W. 2001. Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. *Photosynthetica*, 39: 103-109.

ANEXO 1. Levantamento das espécies presentes na regeneração natural, na área do "Aeroporto", de acordo com a classificação adotado por Ribeiro (1999).

Espécies Arbóreas			
Família	Subfamília	Genero	Nome científico
Annonaceae		Bocageopsis	<i>Bocageopsis</i> sp.
Apocynaceae		Geissospermum	<i>Geissospermum</i> sp.
Cecropiaceae		Cecropia	<i>Cecropia sciadophylla</i>
Clusiaceae		Clusia	<i>Clusia panapanari</i>
Clusiaceae		Vismia	<i>Vismia cayannensis</i>
Clusiaceae		Vismia	<i>Vismia</i> cf. <i>gracilis</i>
Clusiaceae		Vismia	<i>Vismia guianensis</i>
Dilleniaceae		Dolioscarpus	<i>Dolioscarpus</i> sp.
Euphorbiaceae		Croton	<i>Croton lanjowensis</i>
Humiriaceae		Endopleura	<i>Endopleura</i> sp.
Lecythidaceae		Lecythis	<i>Lecythis zabucajo</i>
Lecythidaceae		Lecythis	<i>Lecythis</i> sp.
Leguminosae	Mimosoideae	Abarema	<i>Abarema</i> sp.
Leguminosae	Mimosoideae	Stryphnodendron	<i>Stryphnodendron pulcherrimum</i>
Leguminosae	Mimosoideae	Stryphnodendron	<i>Stryphnodendron</i> sp.
Leguminosae	Papilionoideae	Machaerium	<i>Machaerium</i> sp.
Leguminosae	Papilionoideae	Ormosia	<i>Ormosia</i> sp.
Leguminosae	Papilionoideae	Swartzia	<i>Swartzia</i> sp.
Malpighiaceae		Byrsonimia	<i>Byrsonimia crissofilia</i>
Malpighiaceae		Byrsonimia	<i>Byrsonimia incarnata</i>
Melastomataceae		Bellucia	<i>Bellucia grossularioides</i>
Myrtaceae		Eugenia	<i>Eugenia</i> sp.
Rubiaceae		Duroia	<i>Duroia</i> sp.
Rubiaceae		Faramea	<i>Faramea</i> sp.
Rubiaceae		Palicourea	<i>Palicourea guianensis</i>
Espécies Arbustivas/Lianas			
Família	Subfamília	Genero	Nome científico
Dilleniaceae		Davilla	<i>Davilla rugosa</i>
Melastomataceae		Clidemia	<i>Clidemia</i> sp.
Melastomataceae		Miconia	<i>Miconia alata</i>

ANEXO 2. Tabela 1: Taxa de crescimento absoluto (TCA) e Taxa de crescimento relativo (TCR), das três espécies leguminosas arbóreas estudadas, submetidas a diferentes adubações em um plantio florestal na UHE-Balbina (Presidente Figueiredo – AM).

Espécies	Adubação	Variáveis			
		TCA		TCR	
		Comprimento do caule (CC) cm mês ⁻¹	Diâmetro a altura do solo (DAS) mm mês ⁻¹	Comprimento do caule (CC) cm cm ⁻¹ mês ⁻¹	Diâmetro a altura do solo (DAS) mm mm ⁻¹ mês ⁻¹
<i>Dipteryx odorata</i>	S/ adubação	0,93 ± 0,51 Cb	0,26 ± 0,07 Db	0,010 ± 0,01 Db	0,017 ± 0,00 Db
	Ad. Cova	5,64 ± 1,93 Bb	0,71 ± 0,22 Cc	0,041 ± 0,01 Cb	0,036 ± 0,01 Cb
	Ad. Química	12,24 ± 2,17 Ab	1,54 ± 0,20 Ac	0,065 ± 0,01 Ab	0,057 ± 0,00 Ab
	Ad. Verde	6,44 ± 1,45 Bb	1,13 ± 0,32 BCc	0,049 ± 0,01 BCc	0,048 ± 0,01 Bb
	Ad. V. + Q.	10,16 ± 3,22 Ab	1,27 ± 0,36 ABC	0,059 ± 0,01 Abc	0,052 ± 0,01 ABC
<i>Inga edulis</i>	S/ adubação	3,12 ± 1,20 Ea	1,00 ± 0,31 Da	0,026 ± 0,01 Da	0,044 ± 0,01 Ca
	Ad. Cova	11,39 ± 1,95 Da	3,54 ± 0,45 Ca	0,062 ± 0,01 Ca	0,087 ± 0,00 Ba
	Ad. Química	16,34 ± 2,20 Ca	4,13 ± 0,37 Ca	0,074 ± 0,01 Bb	0,091 ± 0,00 Ba
	Ad. Verde	19,51 ± 2,90 Ba	5,34 ± 0,77 Ba	0,080 ± 0,01 ABb	0,102 ± 0,01 Aa
	Ad. V. + Q.	23,02 ± 1,28 Aa	6,04 ± 0,62 Aa	0,087 ± 0,00 Ab	0,107 ± 0,00 Ab
<i>Schizolobium amazonicum</i>	S/ adubação	Nd*	Nd	Nd	Nd
	Ad. Cova	6,21 ± 2,79 Cb	1,62 ± 0,66 Cb	0,072 ± 0,02 Ca	0,075 ± 0,01 Ca
	Ad. Química	10,02 ± 3,18 BCb	2,70 ± 0,63 Bb	0,100 ± 0,01 Ba	0,096 ± 0,01 Ba
	Ad. Verde	10,95 ± 2,87 Bb	3,11 ± 1,20 ABb	0,102 ± 0,02 Ba	0,101 ± 0,01 Ba
	Ad. V. + Q.	20,11 ± 4,07 Aa	4,45 ± 0,55 Ab	0,125 ± 0,01 Aa	0,118 ± 0,01 Aa

Médias de seis plantas (±desvios padrão); valores seguidos pelas mesmas letras entre os tratamentos não diferem a $p \leq 0,05$ pelo teste de Fischer.

Letras maiúsculas comparam os diferentes tratamentos de adubação para cada espécie, as letras minúsculas comparam as três espécies dentro do mesmo tratamento de adubação.

*Nd = Não disponível.