



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

GLAUCO ANDRÉ DOS SANTOS NOGUEIRA

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS JOVENS DE
Ochroma pyramidale (Cav. Ex Lam) Urb. SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA E
ALAGAMENTO**

**BELÉM
2015**



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

GLAUCO ANDRÉ DOS SANTOS NOGUEIRA

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS JOVENS DE
Ochroma pyramidale (Cav. Ex Lam) Urb. SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA E
ALAGAMENTO**

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em ciências florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências florestais: área de concentração: Ciências florestais, para obtenção do título de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto

Co-Orientador: Roberto Cezar Lobo da Costa

**BELÉM
2015**

Nogueira, Glauco André dos Santos

Respostas ecofisiológicas e bioquímicas de plantas jovens de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb. Submetidas à deficiência hídrica e alagamento / Glauco André dos Santos Nogueira. - Belém, 2015.

65 f.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2015.

1. *Ochroma pyramidale* – potencial hídrico 2. Pau de balsa
3. Processos Metabólicos I. Título.

CDD – 583.685



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

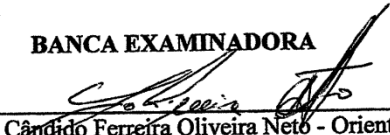
GLAUCO ANDRÉ DOS SANTOS NOGUEIRA

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E BIOQUÍMICAS DE PLANTAS JOVENS
DE *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb. SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA
HÍDRICA E ALAGAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Ciências Florestais: área de concentração em ciências florestais, para obtenção do título de **mestre**.

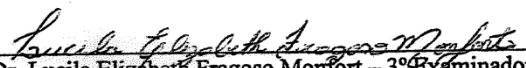
Data da Aprovação: 20/01/2014

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Cândido Ferreira Oliveira Neto - Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA


Dr. Roberto Lisboa Cunha - 1º Examinador
EMBRAPA AMAZONIA ORIENTAL


Prof. Dr. Heráclito Eugênio Oliveira da Conceição - 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA


Prof. Dr. Lucila Elizabeth Fragozo Monfort - 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA

DEDICO

À Deus, Por toda força concedida para vencer mais uma etapa da minha vida e por todas as maravilhas que me tem proporcionado

Ofereço

Aos meus exemplos de vida, meus amigos, além de serem as pessoas mais importantes da minha vida, Gerson da Silva Nogueira (pai), Selma dos Santos Nogueira (mãe) e Gerson da Silva Nogueira Junior (irmão) e a minha vida, companheira de todas as horas Wanessa Menezes do Carmo Nogueira (esposa).

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo durante o curso de mestrado;

Ao curso de pós-graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural da Amazônia, na pessoa do coordenador Francisco de Assis Oliveira;

A prof^a. Dr^a. Leonilde dos Santos Rosa, por toda atenção, orientação, conselhos, ensinamentos e, principalmente, por mostrar-me a vida acadêmica de outra forma;

Ao meu orientador, professor e amigo, Dr. Cândido Ferreira de Oliveira Neto pela oportunidade, acolhimento, incentivo, atenção, no processo de orientação e construção desta dissertação. Ao meu Co-orientador Dr. E professor Roberto Cezar Lobo da Costa, pela suas valorosas orientações para elaboração deste trabalho;

A prof^a. E Dr^a. Rosangela Souza pelo apoio e conselhos; aos engenheiros florestais Benedito Cabral e Allan Péricles pela amizade;

A funcionária do ICA, à secretária Mylena Rodrigues da pós-graduação por toda sua atenção em resolver os processos burocráticos;

Aos amigos e amigas do grupo de estudos da biodiversidade em plantas superiores, Ellen Lima; Tamires Borges; Kerolém Cardoso; Thays Correa; Jessica Martins; Karollyne Silva; Dielle Thaina; Susana Eliot; Luciana Sousa; Wander Ataíde; Bruno Maltarolo e Vitor Resende. Por toda força e incentivo para formação desse trabalho;

Aos todos os meus familiares do lado materno e paterno por todo apoio, força, oração e principalmente em acreditar na minha pessoa;

A minha segunda família que me acolheu de forma divina, sogro e sogra, cunhado e tias, tio e avó da minha amada esposa Wanessa Nogueira por todo carinho e atenção nas horas difíceis, meu muito obrigado;

E a todos que, direto ou indiretamente, contribuíram para a realização desta dissertação, muito obrigado.

Lista de Figuras

Capítulo I

Figura 1 - Potencial hídrico na antemanhã (Ψ_{am} , Fig. 1A), transpiração (E , Fig. 1B), condutância estomática (g_s , Fig. 1C) e ácido abscísico (Fig. 1D), em plantas jovens de *Ochroma pyramidale*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e as letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.....41

Figura 2 - Concentrações de amido (Fig. 2A), concentrações de carboidratos solúveis totais (Fig. 2B) e concentrações de sacarose (Fig. 2C) em plantas jovens de *Ochroma pyramidale*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e as letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.....42

Capítulo II

Figura 1 - Potencial hídrico antemanhã em plantas jovens de *Ochroma pyramidale*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.....65

Figura 2 - Teores de nitrato (2A), atividade da redutase do nitrato (2B), teores de amônio livre (2C), atividade da glutamina sintetase (2D) em plantas jovens de *Ochroma pyramidale*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e as letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.....66

Figura 3 - Aminoácidos solúveis totais (3A), proteínas solúveis totais (3B), teores de prolina (3C), teores de glicina betaína (3D) em plantas jovens de *Ochroma pyramidale*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e as letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.....67

Sumário

RESUMO	10
ABSTRACT	11
INTRODUÇÃO GERAL	12
OBJETIVOS E HIPÓTESES.....	16
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPÍTULO I	22
RESUMO	22
INTRODUÇÃO	23
MATERIAL E MÉTODOS.....	25
Local e condução do experimento.....	25
Delineamento experimental.....	26
Análise dos dados estatísticos.....	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
Potencial Hídrico antemanhã.....	27
Transpiração e condutância estomática.....	28
Concentração de ácido abscísico e concentrações de amido.....	29
Concentrações de Carboidratos Solúveis Totais e concentrações de sacarose	30
CONCLUSÃO	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
CAPÍTULO II.....	43
RESUMO	43

INTRODUÇÃO	44
RESULTADOS.....	45
Potencial Hídrico Antemanhã, Teores de Nitrato, Atividade da Enzima Redutase do Nitrato	45
Concentrações de Amônio Livre, Atividade da Glutamina Sintetase e Teores de Aminoácidos Solúveis Totais	46
Teores de Proteínas Solúveis Totais, Teores de Prolina e Teores de glicina betaína.....	47
DISCUSSÃO	48
Potencial Hídrico Antemanhã e Teores de Nitrato	48
Atividade da Enzima Redutase do Nitrato e Concentrações de Amônio Livre	49
Atividade da Glutamina Sintetase e Teores de Aminoácidos Solúveis Totais	50
Teores de Proteínas Solúveis Totais, Teores de Prolina	51
Teores de Glicina Betaína.....	52
MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
Local e Condução do Experimento.....	52
Dados meteorológicos, Delineamento experimental.....	53
Potencial hídrico Antemanhã e Análises Bioquímicas	54
Análise dos dados estatístico.....	58
CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi avaliar os efeitos da deficiência hídrica e do alagamento nos comportamentos fisiológicos e metabólicos do carbono e nitrogênio em plantas jovens de pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale*). Para isso foi conduzido um experimento em casa-de-vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Capitão/Poço, em julho de 2013. Utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x4) em três condições hídricas: controle (irrigado), deficiência hídrica e alagamento, em quatro períodos (0, 4, 8 e 12 dias), com 5 repetições, totalizando 60 unidades experimentais. As variáveis fisiológicas avaliadas foram: Potencial Hídrico de Antemanhã, (Ψ_{am}); Condutância Estomática, (g_s) e Transpiração, (E); As variáveis bioquímicas foram: Ácido Abscísico, Teores de Amido, Carboidratos Solúveis Totais, Sacarose, Nitrato, Atividade da Redutase do Nitrato, Teores de Amônio Livre, Atividade da Glutamina Sintetase, Aminoácidos Solúveis Totais, Proteínas Solúveis Totais, Teores de Prolina e Glicina Betaína. O potencial hídrico antemanhã e as trocas gasosas decresceram significativamente ao longo do tempo nas plantas sob estresse hídrico, enquanto que as concentrações de Ácido Abscísico aumentaram nas plantas sob deficiência hídrica e alagamento. Já os teores de amido decresceram tanto nas plantas sob deficiência hídrica quanto nas em alagamento representando uma queda de 2,06 e 8 vezes respectivamente, quando comparado as plantas controle. O conteúdo de carboidratos solúveis totais e sacarose aumentaram nas plantas sob deficiência hídrica representando 1,65 e 1,54 vezes, quando comparado as plantas controle. O mesmo não ocorrendo com as plantas sob alagamento para as mesmas variáveis onde decresceram em torno de 2 e 6,93 vezes respectivamente. Os teores de nitrato, atividade da redutase do nitrato e glutamina sintetase reduziram significativamente nas plantas sob estresse hídrico ao longo do tempo, fato não observado nas concentrações de amônio livre que aumentou significativamente. As concentrações de aminoácidos, glicina betaína e prolina aumentaram nas plantas sob deficiência hídrica, entretanto na condição de alagamento essas variáveis decresceram consideravelmente a partir do 4º dia. Os teores de proteínas decresceram nas plantas sob deficiência hídrica e alagamento. Contudo, a pesquisa concluiu que as condições sob deficiência hídrica e alagamento por um período de doze dias foi o suficiente para alterar os processos fisiológicos e metabólicos das plantas de pau-de-balsa.

Palavras-chave: *Ochroma pyramidale* – Potencial hídrico. Pau de balsa. Processos metabólicos

ABSTRACT

The objective of the research was evaluate the effects of water deficit and the flooding in the physiological and metabolic behaviors of the carbon and nitrogen in young plants of balsa wood (*Ochroma pyramidale*). For this was carried out an experiment on a greenhouse of the Universidade Federal Rural da Amazônia, Capitão Poço campus, on July, 2013. Was used a completely randomized desing on factorial scheme (3x4) on three water conditions: control (irrigated), water deficit and flooding, in four periods (0, 4, 8 and 12 days), with five replications, totaling 60 experimental units. The physiological variables evaluated were: predawn water potential, (Ψ_{am}); stomatal conductance, (g_s) and transpiration, (E). The biochemical variables were: abscisic acid, contents of starch, total soluble carbohydrate, sucrose, nitrate, nitrate reductase activity, contents of free ammonium, glutamine synthetase, total soluble amino acids, contents of proline and glycine betaine. The predawn water potential and the gas exchanges decreased significantly over time in the plants under water stress, while abscisic acid increased in the plants under water deficit and flooding. The contents of starch decreased as in the plants under water deficit as in the plants under flooding, representing a down to 2,06 and 8 times respectively , when compared to control plants. The contents of total soluble carbohydrate and sucrose increased in the plants under water deficit, representing 1,65 and 1,54 times, when compared to control plants; Which did not occur with plants under flooding to the same variables that decreased around to 2 and 6,93 times respectively. The contents of nitrate, nitrate reductase activity and glutamine synthetase decreased significantly in the plants under water stress over time, fact not observed in the free ammonium concentrations that increased significantly. The concentrations of amino acids, glycine betaine and proline increased in the plants under water deficit. However, in the flooding condition these variables decreased substantially from the fourth day. The contents of proteins decreased in the plants under water deficit and flooding. However, the research concluded that the conditions of water deficit and flooding for a period of twelve days were enough to change the physiological and metabolic process of the plants of balsa wood.

Keywords: *Ochroma pyramidale* - Water potential. Balsa wood. Metabolical process.

INTRODUÇÃO GERAL

A floresta amazônica desempenha um importante papel nas trocas de energia, umidade e massa entre a superfície continental e atmosfera, além de fornecer serviços ambientais fundamentais para a manutenção do clima regional e global, tais como: o armazenamento e absorção do excesso de carbono da atmosfera, a ciclagem de água e o transporte de gases e vapor d'água para regiões longínquas (ROCHA et. al., 2004; FEARNSIDE, 2005; ARTAXO et. al., 2005; MARENGO, 2006; MALHI et. al., 2008; DAVIDSON et. al., 2012).

Entretanto, nas últimas décadas, essa região tem passado por diversas fases de desenvolvimento e transformações que tem contribuído para alterações de suas características naturais, o homem tem sido o ator principal dessas mudanças sem precedentes que vai desde sua extensão territorial (FERREIRA & SALATI, 2005; BECKER, 2005), expansão das fronteiras agrícolas que adentrando em direção às áreas de florestas (CASTRO, 2005; FEARNSIDE, 2005; SOUZA et al., 2012), atividades agropecuárias (BARONA et al., 2010; OLIVEIRA Jr. et al., 2010) até a exploração de práticas mineradoras.

Essas práticas têm contribuído de forma significativa para os aumentos das mudanças climáticas tanto em nível global como regional, com isso aumentando o aquecimento da superfície terrestre e até mesmo diminuindo os níveis de precipitação ocasionando secas prolongadas em algumas regiões e alagamentos permanentes em outras (MALHI & PHILLIPS, 2004).

Ainda sobre o tema Boyer, (1982) afirma que a baixa disponibilidade de água no solo aliada a ocorrência de chuvas mal distribuídas são cruciais para a existência de áreas propícias a estresse hídrico, o mesmo por sua vez é capaz de influenciar de maneira significativa o crescimento, produtividade e sobrevivência das plantas.

Dessa forma, a fisiologia vegetal pode contribuir de forma impar na seleção de espécies promissoras com maior capacidade produtiva, através da elaboração de fichas de descritores fisiológicos que as classifiquem como tolerantes e adaptadas aos diversos fatores de estresses ambientais principalmente relacionados à seca e alagamento (NASCIMENTO, 2013).

Para isso lança-se mão das espécies arbóreas nativas, com o intuito de manter a flora natural assim como aumentar o conhecimento sobre os mecanismos de adaptação que essas espécies exercem frente às mudanças climáticas (CARNEIRO, 1995; JOSÉ, 2003; PAIVA, 2003).

A espécie *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam.) Urb. é uma planta típica da região amazônica, ocorre na faixa de 19° N e 20° S em regiões tropicais das Américas do Sul e Central e em altitudes de 0 a 1000 m. Por se tratar de uma espécie de importância econômica,

ambiental e social é necessário aprofundar o conhecimento dos seus processos fisiológicos e metabólicos, contribuindo assim, para maior sucesso no uso desta nas atividades silviculturais.

O pau-de-balsa como é conhecida vulgarmente, participa das primeiras etapas de sucessão secundária em zonas tropicais úmidas, vem sendo muito utilizado em plantios mistos destinados à recomposição de áreas degradadas e de preservação permanente, graças ao seu rápido crescimento e tolerância à luminosidade (VASQUEZ & YANES 1974). Sua madeira, apesar da baixa densidade volumétrica (0,07-0,15 g/cm³), possui elevada resistência mecânica (VASQUEZ & YANES, 1974), segundo LAMPRECHT, (1990) essa espécie vem sendo utilizado na confecção de aeromodelos, revestimento de navios, balsas, embalagens especiais, bem como sucedâneo da cortiça na fabricação de coletes salva-vidas. Segundo o mesmo autor vem sendo usada também em sistemas pastoris, pois é plantada em pastos para fornecer sombreamento ao gado, contudo, não é uma prática recomendável, se há também a intenção de explorar a madeira, pois os animais provocam vários danos ao fuste. A espécie também é usada como ornamental, pela sua beleza.

A árvore tem vida curta, cresce rapidamente e pode chegar ao sobrecéu da floresta, com 20 a 25 m de altura e até 1,2 m de diâmetro. A casca é lisa, mas lenticelada e com estrias lineares, de cor clara, às vezes parda ou parda-acizentada e com manchas esbranquiçadas e até 1 cm de espessura. A copa é aberta e ampla e pode alcançar até 18 m de diâmetro. As folhas são simples, alternas e dispostas em espiral, apresentam pecíolo longo e 5 a 7 nervuras principais. O ápice da folha é arredondado ou subagudo e a base cordiforme. As flores são solitárias, vistosas, aromáticas, com 10-15 cm de largura e 7-9 cm de diâmetro e apoiadas por pedúnculos largos e grossos. O fruto é uma cápsula loculicida quase cilíndrica, lenhosa, de 10 a 25 cm de comprimento e 2 a 3 cm, excepcionalmente, 5 cm de diâmetro, de cor marrom-avermelhada a ferrugínea e pubescente. A deiscência locular se dá por cinco valvas longitudinais. Os frutos possuem um elevado número de sementes envoltas por uma paina sedosa de cor pardo-clara ou amarelada. As sementes são ovóides, mas com uma extremidade acuminada, de cor castanho escura de 2 a 5 mm de comprimento e 1,5 mm de diâmetro; fortemente aderidas à paina, que auxilia na dispersão das sementes. O endosperma é abundante e o embrião é reto (RIZZINI, 1978; FRANCIS, 1991).

Contudo, essa espécie ainda é pouco explorada cientificamente principalmente na área da fisiologia vegetal, com as mudanças de clima em escala regional e global, nada mais promissor avançar sobre o comportamento dessa espécie frente a essas mudanças.

Os vegetais estão expostos aos mais diversos tipos de estresses bióticos e abióticos, os quais restringem vários processos metabólicos (anabólicos e catabólicos) responsáveis pelo desenvolvimento dos mesmos (XIONG et al., 2002; ZHU, 2002; LARCHER, 2004; MAHAJAN & TUTEJA, 2005; MARAGHNI et al., 2011; SILVA et al., 2010; NOGUEIRA et al., 2005).

Dentre os estresses abióticos que mais limitam o crescimento e desenvolvimento dos vegetais está à deficiência hídrica e o excesso de água, em se tratando de estresse hídrico, Boyer, (1982), e Osmond et al., (1987) asseguram que esse tipo de estresse afeta a produtividade das culturas, bem como, a distribuição das espécies nos ecossistemas naturais.

O primeiro efeito da falta de água é o decréscimo no alongamento celular em função da redução na turgescência da célula resultando na diminuição do desenvolvimento da área foliar e consequentemente no decréscimo na produção e alocação de fitomassa (HSIAO, 1973; BOYER, 1982; LUDLOW & MUCHOW, 1990; LARCHER, 2006).

Dependendo da espécie os teores de carboidratos solúveis podem aumentar ou diminuir, os mesmos apresentam papel crucial na regulação do metabolismo energético: fotossíntese e respiração (COSTA, 2012). Os carboidratos regulam a taxa de fixação de CO₂ e/ou a síntese ou hidrólise do amido, ambos no cloroplasto (GORAI, 2010). Pimentel, (2004) e Lissar et al., (2012) afirmam que sob deficiência hídrica, parte dos carboidratos dispostos no citoplasma, são utilizados na ativação dos mecanismos de tolerância a seca, independente do mecanismo em questão. Fato que promove a hidrólise de amido (reserva), após o fechamento estomático e a inibição da fotossíntese, convertendo-o em açúcares solúveis para exportação as regiões de interesse. Algumas plantas acumulam carboidratos no citosol e vacúolo, na tentativa de buscar o ajustamento osmótico (LIU et al, 2011).

Algumas plantas lenhosas apresentam fortes reduções na condutância dos estômatos e transpiração quando expostas ao déficit hídrico e alagamento, a ascensão de seiva via xilema pode ser favorecida pela síntese ou pelo acúmulo de solutos (orgânicos e inorgânicos) osmoticamente ativos no citosol celular (NEPOMUCENO et al., 2001). Entre os compostos osmoticamente ativos mais comuns, figuram a prolina (SZABADOS & SAVOURÉ, 2010), a glicina betaína (CHEN & MURATA, 2008) e os carboidratos solúveis totais (SUDACHKOVA et al., 2002). O acúmulo desses compostos nas folhas diminui o potencial hídrico foliar (Ψ_w), o que aumenta a capacidade de absorção de água das plantas e atenua os efeitos da deficiência hídrica no conteúdo relativo de água da planta (PAGTER et al., 2005).

No caso do estresse imposto pela saturação hídrica do solo, essa condição possui um caráter fortemente seletivo. No decorrer do processo evolutivo, espécies tolerantes desenvolveram uma variedade de estratégias que as capacitaram a ocupar áreas sujeitas ao alagamento do solo. Dentre estas estratégias, ocorrem alterações morfoanatômicas que auxiliam a aeração interna da planta (DAVANSO et al., 1998; MEDRI et al., 2002), e alterações metabólicas, com diminuição no consumo de energia, ativação de rotas anaeróbias e menor investimento no crescimento (PIMENTA, 1998; MEDRI et al., 2002).

De maneira geral, as plantas lenhosas empregam grande quantidade de assimilados na construção dos tecidos de sustentação e condutores. No primeiro ano de vida, dependendo da espécie, a fitomassa pode representar a metade do total de matéria seca da planta, quando a mesma for adulta (LARCHER, 2006). Dessa forma torna-se fundamental o estudo ecofisiológico dessa espécie em sua fase inicial de crescimento, principalmente por auxiliar no estabelecimento de parâmetros fisiológicos indicativos de tolerância a estresses abióticos. Parâmetros esses que, se bem empregados e manejados, podem melhorar a produção e estabelecimento de novas mudas, além de facilitar na seleção de material genético mais resistente as condições edafoclimáticas desejadas (NOGUEIRA & SILVA, 2002).

Tendo em vista a importância da espécie *Ochroma pyramidale*, assim como o baixo conteúdo de informações científicas na área de fisiologia vegetal dessa espécie a pesquisa tem como objetivo avaliar os efeitos da deficiência hídrica e do alagamento nos comportamentos fisiológicos e metabólicos do carbono e nitrogênio.

OBJETIVO GERAL

Ampliar os conhecimentos sobre os mecanismos de respostas da espécie pau-de-balsa, mediante o estudo de aspectos ecofisiológicos e bioquímicos visando uma melhor compreensão das estratégias desenvolvidas por esta espécie em processo de estresse hídrico.

Objetivos Específicos:

1 - Avaliar os mecanismos ecofisiológicos e bioquímicos de adaptação à deficiência hídrica e alagamento em plantas jovens de pau-de-balsa com ênfase no comportamento das relações hídricas, trocas gasosas e metabolismo do carbono.

2- Avaliar os mecanismos fisiológicos e bioquímicos de adaptação à deficiência hídrica e alagamento em plantas jovens de pau-de-balsa com ênfase no comportamento das relações hídricas e metabolismo do nitrogênio.

HIPOTESES:

H0: O estresse hídrico promoverá alterações ecofisiológicas em plantas de pau-de-balsa.

H0: O estresse hídrico causará alterações no metabolismo do carbono em plantas de pau-de-balsa.

H0: O estresse hídrico causará alterações no metabolismo nitrogenado em plantas de pau-de-balsa.

H0: As plantas de pau-de-balsa são tolerantes ao alagamento e a deficiência hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTAXO, P.; GATTI, L. V.; LEAL, A. M. C.; LONGO, K. M.; FREITAS, S. R.; LARA, L. L.; PAULIQUEVIS, T. M.; PROCPÓPIO, A. S.; RIZZO, L. V. Química atmosférica na Amazônia: a floresta e as emissões de queimadas controlando a composição da atmosfera amazônica. *Acta Amazônica*, v.35, n.2, p.185-196, 2005.

BOYER, J. S. Plant productivity and environment. *Science*, v.218, p.443-448, 1982.

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. *Estudos Avançados*, v.19 (53), 2005.

BARONA, E.; RAMANKUTTY, N.; HYMAN, G.; COOMES, O. T. The role of pasture and soybean in deforestation of the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, n. 5, 2010.

CARNEIRO, J. G. A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR /FUPEF/Campos: UENF, p.451, 1995.

CASTRO, E. Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia. *Novos Cadernos NAEA*, Pará. v. 8, n.2, p. 5-39, 2005.

CHEN, T. H. H.; MURATA, N. Glycine betaine: an effective protect ant against abiotic stress in plants. *Trends in Plant Science*, DOI: 10.1016/j.t plants. 2008.06.007. v.13, p.499-505, 2008.

COSTA, M. F. Dicionário de Termos Médicos. Editora: Porto Editora, Coleção: DICIONARIOS TEMATICOS. p. 1584, 2012.

DAVANSO-FABRO, V. M.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação: aspectos da anatomia ecológica e do desenvolvimento da *Sesbania virgata* (CAV.) Pers. (Fabaceae). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 41 n. 4, p. 475-482, 1998.

DAVIDSON, E. A.; ARAÚJO, 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. The Amazon basin in transition. *Nature*, v. 481, p. 321-328, 2012.

- FRANCIS, J. K. *Ochroma pyramidale* Cav. Balsa. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. P. 6, 1991.
- FEARNSIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation Biology*, v.19, n.3, p. 680-688, 2005.
- FERREIRA, A. M. M.; SALATI, E. Forças de transformação do ecossistema amazônico. *Estudos Avançados*, v.19, n. 54. 2005.
- GUTSCHICK, V. P. Biotic and abiotic consequences of differences in leaf structure. *New Phytologist*, 143: p.3-18, 1999.
- GORAI, M., MARAGHNI, M. AND NEFFATI, M. The relationship between phenological traits and water potential patterns of the wild jujube *Ziziphus lótus* in southern Tunisia. *Plant Ecology & Diversity*. v.3, p.273-280, 2010.
- HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, v.24, p.519-570, 1973.
- JOSÉ, A. C. Utilização de mudas de espécies florestais produzidas em tubetes e sacos plásticos para revegetação de áreas degradadas. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2003.
- LAMPRECHT, H. Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas e possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado. Eschborn: Dt Ges. Fur Techn. Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, p.343, 1990.
- LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited. *Advances in Agronomy*, v.43, p.107-153, 1990.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. Tradução: Prado, C. H. B. A. São Carlos: Rima, 531 p. 2006.
- LIU, C., LIU, Y., GUO, K., FAN, D., LI, G., ZHENG, Y., YU, L. AND YANG, R. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China, *Environmental and Experimental Botany*, n. 71, p. 174–183, 2011.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M., RAHMAN, I. M M. Water stress in plants: Causes, effects and responses. In: Water Stress, Edited by: Ismail M. M. Rahman and Hiroshi Hasegawa. 1–14 Rijeka, Croatia: In Tech, 2012.

MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; PIMENTA, J. A.; COLLI, S.; MULLER, C. Estudos sobre a tolerância ao alagamento em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A.; PIMENTA, J. A. (Ed.). A bacia do Rio Tibagi. Londrina: Edição dos editores, p. 133-172, 2002.

MALHI, Y. & PHILLIPS, O. L. Tropical forests and global atmospheric change: a synthesis. Philosophical Transactions of the Royal society of London. Mathematical, physical and engeneering sciences. 359: p. 549-555, 2004.

MAHAJAN, S.; TUTEJA, N. Cold, salinity and drought stresses: An overview. Archives of Biochemistry and Biophysics, 444, p.139-158, 2005.

MARENGO, J. A. On the hydrological cycle of the Amazon Basin: A historical review and current state-of-the-art. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 21, n.3, p.1-19, 2006.

MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; LI, W.; NOBRE, C. A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. *Science*, v. 319, p. 169-172, 2008.

MARAGHNI M.; GORAI M.; NEFFATI M. The Influence of Water-Deficit Stress on growth, water relations and solute accumulation in wild jujube (*Ziziphus lotus*). Journal of Ornamental and Horticultural Plants, 1(2): p.63-72, 2011.

NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J.R.B.; OYA, T. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento. v.23, p.12-18, 2001.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C. Comportamento estomático em plantas jovens de *Schinopsis brasiliensis* ENgl. cultivadas sob estresse hídrico. IHERINGIA, Ser. Bot., Porto Alegre. v.57. n.1, p.31-38, 2002.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B.; SILVA, E. C. Aspectos ecofisiológicos da tolerância a seca em plantas da caatinga. In: NOGUEIRA, R. J. M. C.; ARAUJO, E. L.;

WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, p. 22-31, 2005.

NASCIMENTO, H. H. C do. Mecanismos fisiológicos e bioquímicos em mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), sob condições adversas. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Federal Rural de Pernambuco Recife, 2013.

OSMOND, C. B.; BJORKMAN, O.; ANDERSON, J. Water movement and plant response to water stress. In: Ecological studies. Physiological process in plant ecology, towards a synthesis with. 1980.

OLIVEIRA JUNIOR, J. N.; DINIZ, M. B.; FERREIRA, R. T.; CASTELAR, I.; DINIZ, M. J.T. Análise da área desmatada municipal na Amazônia Brasileira no período 2000 – 2004: Uma abordagem com modelos não-lineares, Economia Aplicada, v. 14, n. 3, p. 395-411, 2010.

PIMENTA, J. A. Estudo populacional de *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg (Myrtaceae) no Parque Estadual Mata dos Godoy. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) Universidade Estadual de Campinas, Londrina, PR. 1998.

PAIVA, H. N.; VITAL, B. R. Escolha da espécie florestal. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 42p. 2003. (Cadernos Didáticos, 93).

PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. Seropédica, RJ: Edur. 191 p. 2004.

PAGTER, M.; BRAGATO, G.; BRIX, H. Tolerance and physiological responses of *Phragmites australis* to water deficit. Aquatic Botany. DOI: 10.1016/j. aquabot. 2005.01.002. v.81, p.285-299, 2005.

RIZZINI, C. T. Árvores e madeiras úteis do Brasil: manual de dendrologia brasileira. Rio de Janeiro: Edgar Blücher, 1978.

ROCHA, H. R.; GOULDEN, M. L.; MILLER, S. D.; MENTON, M. C.; PINTO, L. D. V. O.; FREITAS, H. C.; FIGUEIRA, A. M. S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. Ecological Applications, v. 14, n. 4, p. 22-32, 2004.

SUDACHKOVA, N. E.; MILYUTINA, I. L.; SEMENOVA, G. P. Influence of water deficit on contents of carbohydrates and nitrogenous compounds in *Pinus sylvestris* L. and *Larix sibirica* Ledeb. tissues. Eurasian Journal of Forest Research, v.4, p.1-11, 2002.

SZABADOS, L.; SAVOURE, A. Proline: a multifunctional amino acid. Trends in Plant Science.v.15, n.2, p. 89-97, 2010.

SILVA, E. C.; SILVA, M. F. A.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; ALBUQUERQUE, M. B. Growth evaluation and water relations of *Erythrina velutina* seedlings in response to drought stress. Brazilian Journal of Plant Physiology (Impresso), v. 22, p. 225-233, 2010.

SOUZA, R. A.; MIZIARA, F.; MARCO Jr., P. Spatial variation of deforestation rates in the Brazilian Amazon: A complex theater for agrarian technology, agrarian structure and governance by surveillance. Land Use Policy, n. 30, p. 915-924, 2012.

VASQUEZ-YANES, C. Studies on the germination of seeds of *Ochroma lagopus* Sw. Turrialba, San José, v. 24, n. 2, p. 176-179, 1974.

XIONG, L.; SCHUMAKER K. S.; ZHU, J. K. Cell Signaling during Cold, Drought, and Salt Stress. The Plant Cell, Oxford, v. 14, p.165-183, 2002.

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Review Plant Biology, Oxford, v. 53, p. 247-272, 2002.

CAPÍTULO I

Comportamento Ecofisiológico e Metabolismo do carbono em plantas jovens de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb. em três condições hídricas

Ecophysiological behavior and carbon metabolism in seedlings of *Ochroma*
pyramidale (Cav. Ex Lam) Urb. in three water conditions

Manuscrito formatado para revista Scientia Forestalis.

Resumo

O objetivo da pesquisa foi avaliar as respostas fisiológicas e bioquímicas em plantas de pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale*), para isso, foi conduzido um experimento em casa de vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Capitão/Poço, PA, em julho de 2013. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x4) em três condições hídricas: controle (irrigado), deficiência hídrica e alagamento, em quatro períodos (0, 4, 8 e 12 dias), com 5 repetições. Os parâmetros fisiológicos avaliados foram (potencial hídrico de antemanhã, (Ψ_{am}); condutância estomática, (g_s); e transpiração, (E)). Os parâmetros bioquímicos (Ácido Abscísico, Concentrações de Amido, Carboidratos Solúveis Totais e Sacarose). O potencial hídrico antemanhã e as variáveis de trocas gasosas decresceram significativamente sob as condições de deficiência hídrica e alagamento, as concentrações de Ácido Abscísico apresentaram incrementos nos estresses hídricos ao longo do tempo. Os teores de Amido decresceram significativamente nas plantas sob deficiência hídrica e alagamento representando uma queda de 2,06 e 8 vezes respectivamente, quando comparado as plantas controle. Haja vista que os conteúdos de Carboidratos Solúveis Totais e Sacarose aumentaram nas plantas sob deficiência hídrica em torno de 1,65 e 1,54 vezes, respectivamente. O mesmo não ocorrendo com as plantas sob alagamento que decresceram em torno de 2 e 6,93 vezes respectivamente nos mesmos parâmetros. As condições de deficiência hídrica e alagamento por doze dias foi o suficiente para alterar os processos fisiológicos e metabólicos das plantas de pau-de-balsa.

Palavras-chaves: Alagamento; condutância estomática; deficiência hídrica; pau-de-balsa.

Abstract

The aim of this research was to evaluate the ecophysiological and biochemical answers in balsa Wood (*Ochroma pyramidale*), for this, was conducted an experiment in greenhouse of Universidade Federal Rural da Amazônia, campus of Capitão Poço – PA, on July 2013. The experimental design was completely randomized factorial 3x4, three water conditions: control (irrigated), water deficit and

flooding, and four periods (0, 4, 8 and 12 days), with 5 repetitions. The physiological parameters evaluated were (predawn water potential, (Ψ_{am}); stomatal conductance, (g_s); and transpiration, (E)). The biochemical parameters were abscisic acid, starch concentrations, total soluble carbohydrates and sucrose. The predawn water potential and the variables of gas exchange decreased in water deficit and flooding significantly, the abscisic acid levels showed increases in same treatments over time. The starch content significantly decreased in seedlings in water deficit and flooding showing a decrease of 2.06 and 8 times, respectively, when compared in irrigated seedlings. Considering the contents of total soluble carbohydrates and sucrose increased over time around of 1.65 and 1.54 times in plants in water deficit, respectively. In the meantime, in plants under flooding occurred a decrease around 2 and 6.93 times in treatments under water deficit when compared to irrigated plants. The conditions of water deficit and flooding by twelve days were enough to change the physiological and metabolic process in seedlings of balsa Wood.

Keywords: Flooding; stomatal conductance; water deficit; balsa Wood.

INTRODUÇÃO

As principais causas das mudanças climáticas globais são a queima de combustíveis fósseis e a alteração de cobertura do solo, trazendo como consequência o agravamento do fenômeno do efeito estufa. Resultados desses acontecimentos são períodos de seca em algumas regiões e alagamentos permanentes em outras, colocando em risco a biodiversidade do planeta, assim como influenciando a produção agrícola, florestal e as práticas culturais em diferentes partes do mundo (ROOS et al., 2011; MORTARI, 2012).

Isso tem despertado o interesse em pesquisas com espécies arbóreas nativas, objetivando amenizar as ações antrópicas nesses ecossistemas. Estudos em fisiologia vegetal têm contribuído bastante para o aprofundamento do conhecimento dessas espécies, tornando-se uma ferramenta indispensável para a concepção dos processos fisiológicos (NASCIMENTO, 2013).

Embora seja notório o aumento de pesquisas abordando a fisiologia de espécies arbóreas nativas, ante os empecilhos ocasionados pelo excesso ou deficiência hídrica, ainda há uma grande lacuna a respeito desses assuntos, impossibilitando a compreensão da caracterização de tolerância ou sensibilidade

aos estresses existentes em ambientes naturais (LIU et al., 2011; MARAGHNI et al., 2011; NASCIMENTO et al., 2011).

Uma das espécies com pouco conhecimento nessa linha de pesquisa é *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb., vulgarmente conhecida como pau-de-balsa, com potencialidade para a recuperação de áreas degradadas e reflorestamento devido ao seu rápido crescimento e tolerância à luminosidade direta (LORENZI, 1992). Sua madeira é macia e fácil de manusear, podendo ser utilizada para fabricação de papel e celulose, confecção de embarcações de brinquedos (VARELA & FERRAZ, 1991).

As plantas quando submetidas a condições de baixo potencial hídrico no solo, dependendo da espécie, desenvolvem mecanismos de ajustamento osmótico com finalidade de manter a turgescência celular (MARIJUAN & BOSCH, 2013). Além do mais, uma das primeiras respostas que as plantas dão a baixa quantidade de água é o fechamento estomático, afetando diretamente o crescimento vegetal, uma vez que promove a redução das taxas fotossintéticas limitando a produção de fitomassa, em função da pouca oferta de CO₂ (ASHRAF, 2010; DALBERTO, 2012)

Quando submetidas a inundações sucessivas ou déficit de água, as plantas apresentam algumas disfunções fisiológicas que inibem a fotossíntese, assim como o transporte de carboidratos que por sua vez aumentam as concentrações de ácido abscísico, esses por sua vez inibem o processo respiratório evitando que o vegetal perca água para atmosfera (CHEN et al., 2010).

Portanto, Visando solucionar parte dessa problemática o objetivo dessa pesquisa foi determinar os mecanismos fisiológicos e bioquímicos de adaptação à deficiência hídrica e alagamento em plantas jovens de pau-de-balsa com ênfase no comportamento estomático, relações hídricas e solutos orgânicos.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e condução do experimento

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Capitão-Poço, PA. (Latitude 01° 44' 47'' e Longitude 47° 03'34''), no mês de julho de 2013, foram utilizadas mudas de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb., com aproximadamente um mês de idade e 15 cm de altura.

As mudas foram mantidas em vasos com capacidade de 10L, nas dimensões de 0,30m de altura e 0,3m de diâmetro, sendo preenchidos completamente com os substratos latossolo amarelo distrófico e esterco bovino curtido na proporção 3:1 respectivamente, sobre uma camada de 0,02 m de pedra britada para facilitar a drenagem da água.

No período de três meses antes do experimento foram aplicados 600 mL de solução nutritiva completa segundo (Hoagland & Arnon, 1950) sendo para cada mês 200 mL de solução, foram realizadas irrigações diárias para ser mantido o solo na capacidade de campo, sendo efetuada a pesagem do conjunto vaso/planta periodicamente, para reposição da água evapotranspirada, conforme diferença de peso. A capacidade de campo do substrato foi estimada, em laboratório, de acordo com o método de coluna de solo apresentada por Fernandes & Sykes (1968).

As plantas foram submetidas a três regimes hídricos: irrigado (controle), deficiência hídrica (suspensão total da irrigação no início do experimento) e alagamento (mantido uma lâmina de 5 cm de água acima do solo) em um intervalo de doze dias.

Durante o período experimental as “plantas controles” foram irrigadas diariamente para repor a água perdida, sendo feita individualmente para cada vaso,

levando-se em consideração as pesagens diárias do conjunto (vaso + planta + solo). Também foi realizado o controle de plantas daninhas por meio de monda, não houve ocorrência de deficiência nutricional e nem ataque de pragas e patógenos.

Para as realizações das análises foram coletadas amostras do segundo ou terceiro par de folhas maduras a partir do ápice, entre 9:00 e 11:00 h, e imediatamente congeladas (aproximadamente -20°C) para posteriores análises bioquímicas. Após a coleta de amostras citadas acima, todas as plantas foram irrigadas ao final da tarde e, na antemanhã seguinte, 12 h após a retomada da irrigação, o ψ_{am} foi novamente determinado, as trocas gasosas avaliadas e as amostras foliares coletadas.

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x4), representado por três condições hídricas: (controle, deficiência hídrica e alagamento) e quatro períodos de avaliação (0, 4, 8 e 12 dias), com 5 repetições, totalizando 60 unidades experimentais, sendo cada unidade composta de uma planta/vaso.

Potencial hídrico antemanhã: Foi determinado entre 4:30 e 5:30 h, conforme descrito por Pinheiro et al., (2007) por meio de uma bomba de pressão do tipo Scholander (m670, Pms Instrument Co., Albany, USA).

Trocas gasosas: A condutância dos estômatos ao vapor d'água (g_s), a transpiração (E) e a temperatura da folha (T_{fol}) foram determinadas por meio de um porômetro portátil de equilíbrio dinâmico (mod. Li 1600, LiCor, Nebraska, USA). As medições foram realizadas sob condições de luz e CO₂ ambientes, entre 09:30 e 10:30 h segundo (COSTA & MARENCO, 2007).

Análises Bioquímicas foram realizadas no laboratório de estudos da biodiversidade em plantas superiores (EBPS), localizado na UFRA/ campus de Capitão Poço. Sendo realizada cada análise na seguinte ordem.

Determinação de ácido abscísico: A determinação do ácido abscísico foi descrito por Ross et al., (1995).

Determinação das concentrações de amido: O método utilizado para a obtenção das concentrações de amido foi segundo Dubois et al., (1956).

Determinação de carboidratos solúveis totais (CST): para os Carboidratos solúveis totais (CST) foi determinado segundo o método colorimétrico descrito por Dubois et al. (1956).

Determinação de sacarose: Para determinação de sacarose o método utilizado foi de Van Handel (1968).

Análises dos dados estatísticos

Os resultados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e quando verificado diferenças significativas as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Foram realizadas análises de regressão nas variáveis, cuja significância foi averiguada pelo teste-F ($P < 0,05$). Sendo as análises estatísticas realizadas usando-se o programa SWNTIA (EMBRAPA, Campinas-SP, 1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Potencial hídrico antemanhã

O potencial hídrico antemanhã (ψ_{am}) reduziu significativamente nas plantas sob deficiência hídrica (-0,36; -1,21; -2,39 e -3,35 MPa) e alagamento (-0,30; -1,76; -3,07 e -3,85 MPa.), (Figura 1A). Representando um decrescimento em torno de 10 e

12 vezes menos, respectivamente, quando comparado as plantas controle (-0,31MPa). As diferenças estatísticas entre todas as condições hídricas ocorreram a partir do 4 dia de avaliação, no entanto, somente nas plantas sob alagamento e deficiência hídrica que ocorreram diferenças estatísticas entre os períodos de avaliação (Figura 1A).

Transpiração

As atividades estomáticas decresceram consideravelmente nas plantas sob deficiência hídrica (10,94; 6,42; 3,96 e 1,8 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e alagamento (11,08; 3,05; 1,14 e 0,15 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), quando comparado as plantas controle (10,85 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), esses resultados mostram uma queda representativa de suas atividades em torno 6 e 72 vezes, respectivamente, quando comparado as plantas controle. As diferenças estatísticas entre as condições hídricas ocorreram a partir do 4º dia de experimento. Entretanto, pode-se observar que as plantas sob deficiência hídrica diferem estatisticamente entre os períodos de avaliação ao longo do tempo de experimento, o mesmo não ocorrendo com as plantas sob alagamento onde se notou diferenças apenas nos três primeiros períodos do experimento (0, 4 e 8 dia) (Figura 1B).

Condutância estomática

A condutância estomática apresentou similaridade com os dados da transpiração, mesmo porque existe uma relação direta entre esses dois parâmetros. Os valores encontrados na condição de deficiência hídrica foram: 591; 251; 158 e 92 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e na condição de alagamento: 574; 154; 81 e 11 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$. Mostrando uma redução significativamente ao longo dos períodos de avaliação, isso representou uma queda de 6,73 e 56 vezes respectivamente, quando comparado as plantas controle (620 $\text{mmol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$). As diferenças estatísticas entre as condições

hídricas se deram a partir do 4º dia de experimento (Figura 1C). Na relação de significância entre os períodos de avaliação as plantas sob deficiência hídrica diferiram nos três primeiros períodos (0, 4 e 8 dias), nas plantas alagadas as diferenças ocorreram nos períodos 0, 4 e 12 dias.

Concentrações de ácido abscísico

Ocorreram incrementos significativos nas concentrações de ácido abscísico, nas plantas sob deficiência hídrica e alagamento ao longo dos dias de experimento (Figura 1D), os valores apresentados respectivamente foram: 22,85; 72,05; 93,25 110,01 ng g⁻¹ MS e 20,48; 67,2; 100,2 e 126,25 ng g⁻¹ MS e, contudo as concentrações desse fitormônio representaram aumentos de 4,73 e 5,43 vezes maior respectivamente quando comparado as plantas controle (23,25 ng g⁻¹ MS).

As plantas sob deficiência hídrica e alagamento diferiram no 4º dia de experimento, quando esses tratamentos foram comparados as plantas controle diferiram apenas no último dia de experimento.

Concentrações de amido

Os teores de amido nas folhas de pau-de-balsa diminuíram em todos os tratamentos sob estresse hídrico quando comparado as plantas controle (Figura 2A). Sendo mais acentuados nas condições de alagamento. Os valores encontrados sob deficiência hídrica foram: 0,61; 0,41; 0,34 e 0,31 mmol de GLU/g de resíduo e sob alagamento foram: 0,59; 0,30; 0,11 e 0,08 mmol de GLU/g de resíduo, representando um decrescimento de 2,06 e 8 vezes menos respectivamente quando comparado as plantas controle (0,64 mmol de GLU/g de resíduo). As diferenças estatísticas entre as condições hídricas ocorreram a partir do 4º dia de avaliação permanecendo até o final do experimento. Em relação aos períodos de avaliação as diferenças estatísticas na condição de deficiência hídrica ocorreu apenas no primeiro

período (0 dia) em relação aos demais, na condição de alagamento essa diferença se deu nos três primeiros períodos (0,4 e 8 dia).

Concentrações de carboidratos solúveis totais

Os resultados apresentados para esse parâmetro na condição de deficiência hídrica mostrou acréscimo ao longo do tempo (Figura 2B) representando um aumento 1,65 vezes maior quando comparado as plantas controle ($148 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$), o mesmo não ocorrendo com as plantas sob alagamento que decresceram significativamente a partir do 4 dia de experimento culminando com redução em torno de 2 vezes menos quando comparado as plantas controle (Figura 2B). Os valores obtidos para as folha sob deficiência hídrica foram: 156; 195; 225 e $245 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$ e sob alagamento foram: 160; 205; 110 e $74 \text{ mg g}^{-1} \text{ MS}$, isso representou diferenças estatísticas entre as condições hídricas a partir do 8º dia de experimento. Em relação aos períodos de avaliação as diferenças se deram na condição de deficiência hídrica nos períodos 0º e 8º dia. Na condição de alagamento essa diferença ocorreu no 4º e 8º período.

Concentrações de sacarose

As concentrações de sacarose mostraram-se semelhantes ao de carboidratos solúveis totais, nas plantas sob deficiência e alagamento (Figura 2C). As concentrações de sacarose aumentaram gradativamente nas plantas sob deficiência hídrica (16,48; 19,54; 20,12 e $23,01 \text{ mg sacarose/ g MS}$), obtendo um aumento de 1,54 vezes maior quando comparado as plantas controle ($14,85 \text{ mg sacarose/ g MS}$), nas plantas sob alagamento os resultados foram (15,14; 16,45; 8,1 e $2,14 \text{ mg sacarose/ g MS}$), mostrando um decrescimento a partir do 4º período, essa queda ficou em torno de 6,93 vezes menor quando comparado as plantas controle. As diferenças estatísticas entre as condições hídricas ocorreram no 8º período. Na

relação entre os períodos de avaliação as diferenças se deram nos dias 0 e 12 para deficiência hídrica, para condição de alagamento se deram em três períodos (4, 8 e 12 dias).

DISCUSSÃO

Potencial hídrico antemanhã

A redução do potencial hídrico nas plantas sob deficiência hídrica é devido à menor disponibilidade de água no solo, interferindo na formação de um gradiente de concentração e desfavorecendo a absorção de água pela planta. O decréscimo na disponibilidade de água no solo ocasiona queda no potencial hídrico nas folhas das plantas, levando à perda de turgescência e à redução da condutância estomática (Figura 1C), gerando uma redução da transpiração conforme observado na (Figura 1B). Cordeiro, (2012) trabalhando com mudas de três espécies arbóreas verificaram reduções significativas no potencial hídrico durante o período seco nas condições edafoclimáticas no município de Igarapé-Açu/ Pará.

Na condição de alagamento ocorreu uma baixa concentração de O_2 , devido à mudança da rota respiratória do sistema radicular deixando de ser aeróbica para anaeróbica, conseqüentemente diminuindo seu rendimento energético e alterando seu padrão de crescimento e desenvolvimento (Oliveira Neto, 2010).

Apresentando similaridade com este trabalho. Alves, (2010) estudando plantas de ipê amarelo mostrou decréscimos significativos nas plantas sob estresse hídrico (1050%) e alagamento (1350%) quando comparada as plantas controle.

Transpiração, condutância estomática e concentrações de ácido abscísico

A diminuição da transpiração sob condições de alagamento e deficiência hídrica (Figura 1B) pode ser atribuída ao suprimento de água no solo, assim como ao decréscimo da condutividade hidráulica das raízes ou pela redução do

crescimento e morte das mesmas, causando queda no potencial hídrico das folhas em função da menor absorção de água (FRANCO & LÜTTGE, 2004). Esta queda do potencial pode ser temporária devido ao fechamento estomático que evita a perda de mais água por transpiração (ALVES et al., 2012).

Essa redução significativa da condutância estomática sob condições de alagamento e deficiência hídrica está relacionada à diminuição do potencial hídrico foliar (Figura 1A) e ao aumento da síntese de ácido abscísico na raiz que é translocado para parte aérea através do xilema (Figura 1D).

Entretanto, esse aumento na concentração de ABA não levou ao completo fechamento estomático, pois as folhas ainda possuíam uma baixa taxa de transpiração (Figura 2B). (SILVA, 2009; PIERCE et al., 2010). Estes resultados corroboram com diversos autores que ao estudarem os efeitos da deficiência hídrica em espécies arbóreas constataram alterações nas trocas gasosas em resposta a pouca quantidade de água (BALDUCCI et al., 2013, RIVAS et al., 2013, TONELLO; TEIXEIRA FILHO, 2012).

No estudo de Alves et al. (2012), a condutância estomática reduziu significativamente nas plantas alagadas de *Tabebuia serratifolia* em relação as plantas controle.

O aumento das concentrações de ABA nas plantas sob deficiência hídrica e alagamento (Figura 1D) devem estar relacionados possivelmente a uma série de estímulos de alterações nas plantas que ocasionaram o fechamento dos estômatos assim como a redução da transpiração. A biossíntese deste hormônio ocorre preferencialmente no sistema radicular sendo transportado para parte aérea, indicando que esse parâmetro é mais responsivo ao alagamento do que a deficiência hídrica. Silva, (2013) Trabalhando com genótipos de *Jatropha curcas* L

encontrou altas concentrações de ABA nas folhas, no genótipo CNPAE 126 (100,42 ng g⁻¹ MS) para o tratamento com déficit hídrico. No estudo de Cerqueira, (2011) em folhas de *Vitis vinifera* L. verificou um aumento na concentração de ácido abscísico quando as plantas foram submetidas à deficiência hídrica durante 90 dias.

Concentrações de amido

As reduções nos teores de amido no tratamento sob deficiência hídrica possivelmente deva está relacionada à diminuição do processo fotossintético, mesmo esse não sendo avaliado nesse estudo, mais embasado em virtude da diminuição das trocas gasosas conforme as Figuras (1B e 1C), que diminuem a entrada de CO₂ principal componente para produção de amido no ciclo C3.

Outra possível resposta está no aumento da atividade das enzimas α e β amilase que atuam na degradação do amido em condições de estresse para a formação de açúcares, especialmente a sacarose (Figura 2C). Outro fator que possivelmente tenha contribuído para essa baixa quantidade de amido está na inativação da enzima chave na síntese de amido (ADP-glicose pirofosforilase) principalmente em condições de estresse, com isso diminuindo consideravelmente os seus teores nas folhas de pau-de- balsa.

A redução na respiração das raízes é uma das primeiras respostas das plantas sob alagamento (anoxia), cuja atividade metabólica é inibida, e a produção de ATP decresce, restringindo o fornecimento de energia para o crescimento das raízes e reduzindo, assim, o crescimento vegetativo (BATISTA et al., 2008). A redução do amido nas plantas em condições de alagamento seria uma alternativa para suportar o metabolismo fermentativo que requer maior concentração de açúcar (SAIRAM, et al., 2008).

Resultados alcançados por Freitas, (2014) mostram que as concentrações de amido diminuíram significativamente nas plantas sob estresse hídrico, no caso de Paula et al., (2013) trabalhando com plantas de mogno africano encontraram diminuição tanto no estresse hídrico como no alagado. Para Gimeno et al., (2012) estudando plantas de *Jatropha curcas* encontraram resultados semelhantes em condições de alagamento.

Concentrações de carboidratos solúveis totais

O aumento de carboidratos solúveis totais na condição de deficiência hídrica (Figura 2B) se deve primariamente a uma resposta a tolerância ao estresse hídrico, ocasionando o ajustamento osmótico no metabolismo dessas plantas, sendo assim, reduzindo seus potenciais osmóticos e, pelas diferenças de gradientes de concentrações manteve-se a turgescência e conseqüentemente retardou a desidratação nos tecidos das plantas. Contudo, esse aumento nas concentrações de carboidratos induziu uma maior ação protetiva das biomembranas que podem ser degradadas nessa condição.

No caso das plantas sob alagamento a diminuição de carboidratos solúveis totais provavelmente deva estar relacionada à diminuição da fotossíntese e conseqüentemente a queda do seu potencial energético. Uma vez que esse processo produz energia necessária na forma de ATP para o desenvolvimento e crescimento vegetal. Possivelmente também deva ter ocorrido um deslocamento de carboidratos da parte aérea para o sistema radicular via xilema com intuito de investimento energético nas raízes, deste modo funcionando como uma estratégia adaptativa inicial desse vegetal, fazendo com que aumente o processo fermentativo de carboidratos para sustentar a produção de ATP sob anoxia e a reoxidação de

agentes redutores essenciais para manter a glicólise (LARRÉ, 2011; PISICCHIO et al., 2010).

Resultados semelhantes foram encontrados por Alves et al., (2012) trabalhando com plantas de *Tabebuia serratifolia*. Assim como os resultados observados por Rivas et al., (2013) que apresentaram incrementos na concentração de carboidratos em folhas de *Moringa oleifera* sob deficiência hídrica por 10 dias.

Concentrações de sacarose

A possível resposta para o aumento de sacarose nas plantas sob deficiência hídrica (Figura 2C) é que assim como os demais açúcares, a sacarose sofre hidrólise liberando hexoses que serão utilizadas nos processos de ajustamento osmótico, podendo se ligar às moléculas de água na folha com a finalidade de manter o nível de água no órgão foliar (ASHRAF et al., 2011).

A baixa produção de energia produzida no sistema radicular pela respiração anaeróbia reduz o crescimento da raiz e consequentemente à absorção de nutrientes, o que contribui para o fechamento estomático e o declínio do processo de fotossintético (KREUZWIESER et al., 2004). Isso pode ter resultado na queda dos teores de amido e, por conseguinte na concentração de sacarose nas folhas das plantas sob alagamento. Além disso, possivelmente deva ter ocorrido um aumento na demanda por carboidratos na raiz para sustentar o metabolismo anaeróbio, isso deve ter sido compensada pela translocação de sacarose da folha, para o sistema radicular (KREUZWIESER et al., 2009).

Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira Neto, (2010) trabalhando com plantas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) onde obteve um incremento de sacarose nas folhas sob estresse hídrico e diminuição nas plantas alagadas.

CONCLUSÃO

As condições de deficiência hídrica e alagamento em plantas jovens de pau-de-balsa reduziram fortemente o Ψ_{am} , g_s e E indicando um eficiente controle estomático da transpiração nessa espécie;

Os aumentos nos teores de carboidratos solúveis totais e sacarose foram maiores nas plantas sob deficiência hídrica, indicando uma possível ocorrência de ajuste osmótico nessa espécie;

As plantas sob alagamento se mostraram mais sensíveis em relação às plantas sob deficiência hídrica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHRA F. M. Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. **Biotechnology Advances**, v 1. p. 169-183. 2010

ASHRAF, M.; AKRAM, N. A; ALQURAINY, F.; FOOLAD, M. R. Drought tolerance: roles of organic osmolytes, growth regulators, and mineral nutrients. **Advances in Agronomy**, v.111. p. 249-296. 2011.

ALVES, G. A. R. **Aspectos ecofisiológicos, bioquímicos e crescimento de plantas jovens de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nicholson) em condições de déficit hídrico e alagamento**. 2010. 73f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) - Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, Belém. 2010.

ALVES, G. A. R.; SANTOS, F. B. G. dos.; LOBATO A. K. da S.; YUEN TAN D. K; OLIVEIRA NETO, C. F. de; COSTA, R. C. L. da, ÁVILA, F. W.; MARQUES, D. J; GALATE, R. S. dos. Water relations, nitrogen compounds and enzyme activities in leaf and root of young Yellow Lapacho (*Tabebuia serratifolia*) plants subjected to flooding. **Plant Omics Journal**, v. 5, n. 3, p. 216-222, 2012.

BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C. E PIMENTA, J. A. Tolerância à inunda  o de *Cecropia pachystachya* Trec. (Cecropiaceae): aspectos ecofisiológicos e morfoanat  micos. **Acta Bot  nica Brasileira**, v.22, n.1, p.91-98, 2008.

BALDUCCI, L.; DESTAURIERS, A.; GIOVANNELLI, A.; ROSSI, S.; RATHGEBER, C. B. K. Effects of temperature and water deficit on cambial activity and woody ring features. **Tree Physiology**, Oxford, v. 33, p. 1006-1017. 2013.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em Árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.). **Acta Amaz  nica**, v. 37, p. 229-234, 2007.

CHEN, X.; PIERIK, R.; PEETERS, A. J. M.; POORTER, H.; VISSER, E. J. W.; HUBER, H.; KROON, H.; VOESENEK, L. A. C. J Endogenous abscisic acid as a key switch for natural variation in flooding-induced shoot elongation. **Plant Physiology**, v. 154, p. 969-977, 2010.

CERQUEIRA, R. C. **Influência do frio e do déficit hídrico nas características fisiológicas e bioquímicas em videiras (*Vitis vinifera* L.) cv. Thompson seedless**. 2011. 124 f. Tese (Doutorado em agronomia) Botucatu: UNESP. 2011.

CORDEIRO, Y. E. M. Potencial de uso em recupera  o de áreas degradadas: Um estudo três espécies nativas da Amazônia Oriental sob dois regimes hídricos. Belém-Pa, p. 89. 2012.

DUBOIS, M. GILLES, K. A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P. A. SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28, p. 305-356. 1956.

DALBERTO, D. S. **Estresse osmótico na germina  o de sementes de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam.) Urb. (MALVACEAE)**. 2012. 46 f. Disserta  o (Mestrado em ciências ambientais) Universidade Estadual de Mato Grosso. Cáceres. 2012.

Embrapa. Swntia (Programa Estatístico) Campinas. Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura - **CNPTIA** (Campinas, SP). (1995).

FERNANDES, B. SYKES, D. J. Capacidade de campo e retenção de água em três solos de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 15, p. 1-39. 1968.

FRANCO, A. C.; LÜTTGE, U. Midday depression in savana trees: coordinated adjustments in photochemical efficiency, photorespiration, CO₂ assimilaion and water use efficiency. **Oecologia**, Heideberg, v. 201, p. 121-131. 2004.

FREITAS, J. M. N. de. **Comportamento ecofisiológico e bioquímico de plantas jovens de acapú (*Vouacapoua amaricana* Aubl.) submetida á deficiência hídrica**. 2014. 100f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2014.

GIMENO, V.; SYVERTSEN, J. P.; SIMÓN, S. I.; NIEVES, M.; DÍAZ-LÓPEZ, L.; MARTÍNEZ, V.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F. Physiological and morphological responses to flooding with fresh or saline water in *Jatropha curcas*. **Environmental and Experimental Botany**, v. 78, p. 47-55. 2012.

KRAMER, P. J. BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, Inc., San Diego, CA. 1995.

KREUZWIESER, J.; PAPADOPOULOU, E.; RENNENBERG, H. Interaction of flooding with carbon metabolism of forest trees. **Plant Biology**, v. 6, p. 299-306. 2004.

KREUZWIESER, J.; HAUBERG, J.; HOWELL, K.; RENNENBERG, A. C. H.; MILLAR, A. H. WHELAN, J. Differential Response of Gray Poplar Leaves and Roots Underpins Stress Adaptation during Hypoxia. **Plant Physiology**, v. 149, P.461-473. 2009.

LANDSBERG, J. J. **Physiological ecology of forest production**. Academic Press, London, p.198. 1986.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Editora Plantarum, **Nova Odessa**, v. 2, p. 351. 1992.

LARRÉ, C. F. **Caracterização morfológica, fisiológica e bioquímica da Corticeira-do-banhado em condições de alagamento.** 2011. 73 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal), Universidade Federal de Pelotas. Pelotas. 2011.

LIU, C.; LIU, Y.; GUO, K.; FAN, D.; LI, G.; ZHENG, Y.; YU, L. E YANG, R. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China, **Environmental and Experimental Botany**, v. 71, P. 174-183. 2011.

MORTARI, L. C. **Efeitos de uma atmosfera enriquecida com CO₂ sobre a fotossíntese, o crescimento e o metabolismo de carboidratos do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.).** 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em ciências - área de botânica). Universidade de São Paulo. 2012.

MARAGHNI, M. GORAI, M. NEFFATI, M. The Influence of Water-Deficit Stress on Growth, Water Relations and Solute Accumulation in Wild Jujube (*Ziziphus lotus*). **Journal of Ornamental and Horticultural Plants**, v.1, n.2, p.63-72. 2011.

MARIJUAN, M. P.; BOSCH, S. M. Ecophysiology of invasive plants: osmotic adjustment and antioxidants. **Trends in Plant Science**, v.18, p.660-666. 2013.

NASCIMENTO, H. H. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C.; SILVA, M. A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. Viçosa, Maio/junho. **Revista árvore**, v. 35, n.3. 2011.

NASCIMENTO, H. H. C. **Mecanismos fisiológicos e bioquímicos em mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.), sob condições adversas.** 2013. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Federal Rural de Pernambuco. Recife. 2013.

OLIVEIRA NETO, C. F. **Crescimento, alterações ecofisiológicas e bioquímicas em plantas jovens de jatobá (*Hymenaea courbaril* L) submetidos à deficiência hídrica e ao alagamento.** 2010. 93 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias). Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2010.

PINHEIRO, H. A.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; FERREIRA, V. M.; CÂMARA, C. A.; CABRAL, F. F.; OLIVEIRA, J. F.; CARVALHO, L. W. T.; SANTOS, J. M.; SANTOS FILHO, B. G Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. **Industrial Crops and Products**, v. 27, p. 385-392. 2007.

PAULA, M. T.; SANTOS FILHO, B. G.; CORDEIRO, Y. E. M.; CONDE, R. A.; NEVES, P. A. P. F. Ecofisiologia do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King) em sistemas agroflorestais no município de Santa Barbara-PA. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer – Goiânia, v.9, n.16. 2013.

PIERCE, S. C.; MOORE, M. T.; LARSEN, D.; PEZESHKI, S. R. forms monodominant stands in seasonally flooded habitats, Macronutrient (N, P, K) and Redoximorphic Metal (Fe, Mn) Allocation in *Leersia oryzoides* (Rice Cutgrass) Grown Under Different Flood Regimes. **Water Air Soil Pollut**, v. 207, p. 73-84. 2010.

ROSS, M. A.; CROSLEY, L. K.; BROWN, K. M.; DUTHIE, S. J. COLLINS, A. C.; ARTHUR, J. R.; DUTHIE, G. G. Plasma concentrations of carotenoids and antioxidant vitamins in Scottish males: influences of smoking. **European Journal Clinical Nutrition**. V. 49, p. 861-865. 1995.

RIVAS, R.; OLIVEIRA, M. T.; SANTOS, M. G. Three cycles of water deficit from seed to Young plants of *Moringa oleifera* woody species improves stress tolerance. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 63, p. 200-208. 2013.

ROOS, J.; HOPKINS, R.; KVARNHEDEN, A.; DIXELIUS, C. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. **European Journal of Plant Pathology**, v.129, n.1, p.9-19. 2011.

SAIRAM, R. K. et al. Physiology and biochemistry of waterlogging tolerance in plants. **Biologia Plantarum**, Copenhagen, v. 52, p. 401-412. 2008.

SILVA, J. R. R. **Comportamento ecofisiológico de plantas jovens de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.)** 2009. 40 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém. 2009.

SILVA, E. C. A. da. **Respostas fisiológicas, bioquímicas e enzimáticas em mudas de *Moringa oleifera* Lam. submetidas a estresses abióticos.** 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife. 2013.

TONELLO, K. C.; TEIXEIRA FILHO, J. Ecofisiologia de três espécies arbóreas nativas da mata atlântica do Brasil em diferentes regimes de água. **Irriga**, Botucatu, v. 17, p. 85-101. 2012.

VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, v. 22, p. 280-283. 1968.

VARELA, V. P.; FERRAZ, I. D. K. Germinação de sementes de Pau-de-balsa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 26, p. 1685-1689. 1991.

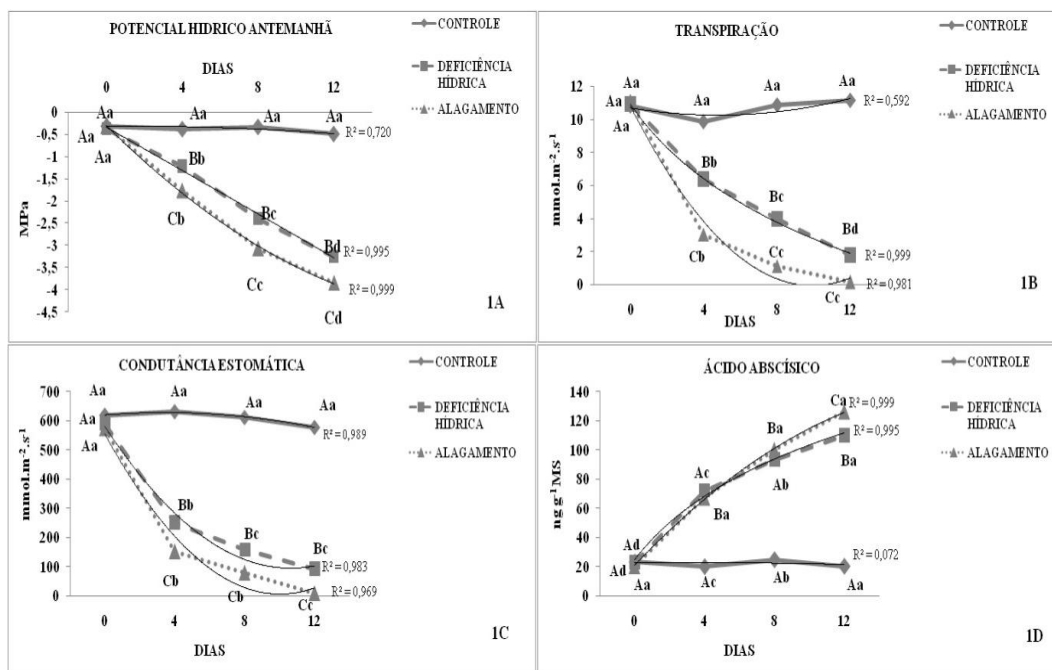


Figura 1. Potencial hídrico na antemanhã (Ψ_{am} , Fig. 1A), transpiração (E , Fig. 1B), condutância estomática (g_s , Fig. 1C), e ácido abscísico (Fig. 1D), em plantas jovens de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula, não diferem entre si pelo teste de tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e as letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.

Figure 1. Predawn water potential (Ψ_{am} , Fig. 1A), transpiration (E , Fig. 1B), stomatal conductance (g_s , Fig. 1C), and abscisic acid (Fig. 1D), in seedlings of *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb. Means followed by same capital letter or lower case, do not differ by the Tukey test in 5% of probability. Capital letter statistically compare between the water conditions and the lower case between the periods of evaluation in each treatment.

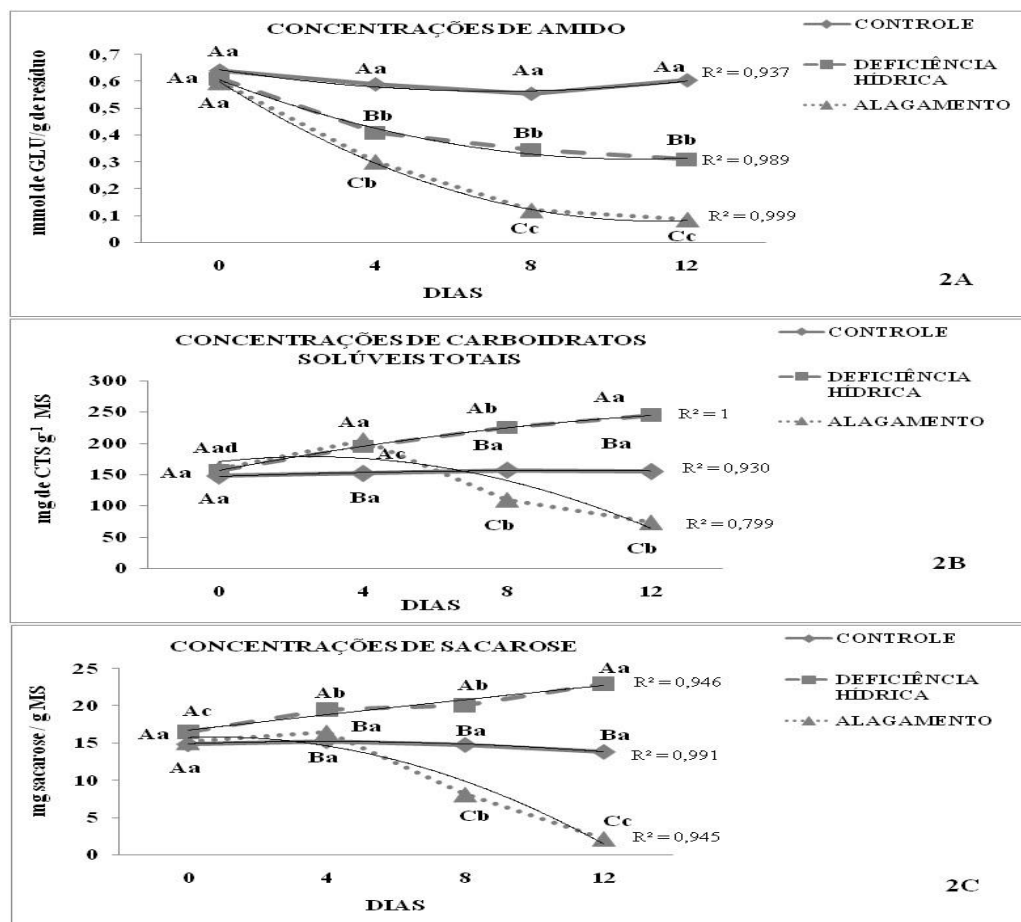


Figura 2. Concentrações de amido (Fig. 2A), Concentrações de carboidratos solúveis totais (Fig. 2B) e Concentrações de sacarose (Fig. 2C) em plantas jovens de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e as letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.

Figure 2. Starch concentrations (Fig. 2A), Total soluble carbohydrates concentration (Fig. 2B) and Sucrose levels (Fig. 2C) in seedlings of *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb. Means followed by same capital letter or lower case, do not differ by Tukey test in 5% of probability. Capital letter statistically compare between the water conditions and the lower case between the periods of evaluation in each treatment.

CAPÍTULO II

Potencial hídrico e metabolismo do nitrogênio em plantas jovens de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb. submetida à deficiência hídrica e alagamento

Manuscrito formatado para Australian Journal of Crop Science.

Resumo

A presente pesquisa objetivou avaliar as respostas metabólicas do nitrogênio frente os efeitos da deficiência hídrica e do alagamento em plantas jovens de pau-de-balsa. Para isso foi realizado um experimento em casa-de-vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Capitão/Poço, PA, em julho de 2013. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x4) em três condições hídricas: controle (irrigado), deficiência hídrica e alagamento, em quatro períodos de avaliação (0, 4, 8 e 12 dias), com 5 repetições. Os parâmetros avaliados foram potencial hídrico antemanhã, Ψ_{am} ; Concentração de Nitrato; Atividade da Redutase do Nitrato; Amônio Livre; Atividade da Glutamina Sintetase; Aminoácidos Solúveis Totais; Proteínas Solúveis Totais; Prolina e Glicina Betaína. O potencial hídrico, Nitrato, Redutase do Nitrato e Glutamina Sintetase reduziram significativamente nas plantas sob estresse hídrico ao longo do tempo, o mesmo não ocorrendo com o Amônio Livre que aumentou significativamente. As Concentrações de Aminoácidos, Glicina Betaína e Prolina aumentaram nas plantas sob deficiência hídrica, na condição de alagamento essas variáveis decresceram consideravelmente a partir do 4º dia de experimento. Os teores de Proteínas decresceram nas plantas sob estresse hídrico ao longo do experimento. As plantas sob alagamento foram mais prejudicadas em nível bioquímico, enquanto que na situação de deficiência hídrica as alterações sob o metabolismo do nitrogênio estão relacionadas com o ajuste dos compostos osmolíticos. Portanto, as análises efetuadas revelaram que as plantas de pau-de-balsa são altamente sensíveis ao alagamento e tolerantes a deficiência hídrica.

Palavra-chaves: Bioquímico; compostos osmolíticos; estresse abiótico; pau-de-balsa;

Introdução

Por se constituir em uma região extensa, e ser considerada a maior floresta equatorial do mundo, com muitas possibilidades de extração de recursos madeireiros e não madeireiros, a Região Amazônica ao longo dos anos sempre despertou a atenção de muitos pesquisadores que geraram uma quantidade considerável de trabalhos em várias linhas de pesquisa (PRATES & BACHA, 2011).

E uma dessas áreas é da fisiologia vegetal, onde para o entendimento das muitas respostas aos estresses causados nos ecossistemas naturais, essa linha de pesquisa tem permitindo entender as várias formas de crescimento e distribuição dos vegetais principalmente quando são controlados pela falta ou excesso de água.

As relações entre nitrogênio e comunidades vegetais naturais têm sido investigadas em diversas regiões do planeta e os resultados têm sustentado a idéia de que as espécies de plantas diferem quanto à habilidade de utilizar as fontes orgânicas e inorgânicas desse elemento (SCHIMANN et al., 2008).

Todos os ecossistemas são influenciados por condições adversas, seja por ações naturais ou antrópicas contrastando apenas em função da intensidade e duração dos fatores estressantes, que geram agravos em várias etapas dos ciclos de vida do vegetal. Limitando sua sobrevivência e estabelecimento (ASHRAF, 2010; GORAI et al., 2010; TURKAN, 2011).

A condição de seca pode ser entendida como um grave fenômeno natural de escassez de água em qualquer sistema que necessite da presença da mesma, sendo frequentemente atribuída ao desvio da quantidade normal de precipitação durante um período longo de tempo (KIRONO et al., 2011).

O déficit na disponibilidade de oxigênio (hipoxia e/ou anoxia) é o principal fator de estresse em solos sob excesso de água. Nas plantas, o impacto do excesso de água no solo é, na maioria dos casos, sentido diretamente pelas raízes e indiretamente pela parte aérea. Na parte aérea, o excesso de água no solo pode induzir à clorose, murchamento prematuro, queda da capacidade fotossintética, do potencial hídrico e da concentração de nutrientes nas folhas e diminuição no crescimento (VISSER et al., 2003).

A necessidade de mais conhecimento das características ecofisiológicas de uso do nitrogênio das espécies arbóreas em florestas, especialmente sobre a ciclagem de nitrogênio e o comportamento das espécies em ambientes com clima seco e úmido, de tal forma a se gerar ferramentas que contribuam no futuro para a recuperação de áreas degradadas nos domínios

fitogeográficos relacionados e que complementem as informações sobre a sucessão ecológica desses ambientes (PEREIRA-SILVA, 2011).

Contudo, objetivo desse trabalho foi avaliar as respostas metabólicas do nitrogênio em função da disponibilidade hídrica em plantas jovens de pau-de-balsa.

Resultados

Potencial hídrico antemanhã

O potencial hídrico antemanhã (Ψ_{am}) reduziu significativamente nas plantas sob deficiência hídrica (-0,36; -1,21; -2,39 e -3,35 MPa) e alagamento (-0,30; -1,76; -3,07 e -3,85 MPa.), (Figura 1A). Representando um decrescimento do potencial hídrico na planta em torno de 10 e 12 vezes respectivamente quando comparado as plantas controle (-0,31MPa). As diferenças estatísticas entre as condições hídricas ocorreram a partir do 4º dia de avaliação, no entanto, somente nas plantas sob alagamento e deficiência hídrica que ocorreram diferenças estatísticas entre os períodos de avaliação ao longo do tempo (Figura 1A).

Teores de nitrato

Os resultados encontrados para os teores de nitrato nas plantas sob deficiência hídrica foram: 0,88; 0,41; 0,21 e 0,16 mmoles de $\text{NO}_3^-/\text{kg MS}$ em alagamento foram: 0,84; 0,25; 0,09 e 0,03 mmoles de $\text{NO}_3^-/\text{kg MS}$. Representando um decrescimento significativo em função do tempo de estresse. No caso das plantas sob deficiência hídrica essa diminuição representou 5 vezes menos quando comparado as plantas controle (0,83 mmoles de $\text{NO}_3^-/\text{kg}^{-1} \text{MS}$). A condição sob alagamento decresceu a um valor de 27 vezes menos quando comparado as plantas controle. As diferenças estatísticas entre as condições hídricas se deram no 4º dia de experimento (Figura 2A). Na relação entre os períodos de avaliação essas diferenças estatísticas se deram nos três primeiros pontos tanto na condição de deficiência hídrica como na de alagamento.

Atividade da enzima redutase do nitrato

A atividade da enzima redutase do nitrato diminuiu significativamente nas plantas sobre deficiência hídrica e alagamento quando comparado as plantas controle (Figura 2B). Os valores encontrados para plantas sob deficiência hídrica foram: 0,26; 0,15; 0,08 e 0,02 $\mu\text{moles NO}_2^-/\text{g. MF}^{-1}/\text{h}^{-1}$ e sob alagamento foram: 0,25; 0,19; 0,10 e 0,01 $\mu\text{moles NO}_2^-/\text{g. MF}^{-1}/\text{h}^{-1}$. esses resultados mostram uma redução entorno de 12,5 e 25 vezes menos, respectivamente, quando comparado as plantas controle (0,25 $\mu\text{moles NO}_2^-/\text{g. MF}^{-1}/\text{h}^{-1}$). Essas diminuições ocasionaram diferenças estatísticas entre as condições hídricas a partir do 4º dia de avaliação.

Em relação às diferenças estatísticas entre os períodos de avaliação em cada tratamento as plantas sob alagamento e deficiência hídrica diferiram ao longo do tempo quando comparado as plantas controle.

Concentrações de amônio livre

Os resultados apresentados mostraram um aumento nos teores de amônio livre nas condições de deficiência hídrica (9,24; 11,89; 12,55 e 15,41 mmol de NH_4^+ / kg de MS) e alagamento (10,01; 12,08; 16,12 e 18,35 mmol de NH_4^+ / kg de MS). Esses resultados corresponderam a um acréscimo de 1,72 e 2,05 a mais respectivamente quando comparado as plantas controle (8,94 mmol de NH_4^+ / kg de MS). Contudo, as diferenças estatísticas entre as condições hídricas ocorreram somente no 8º dia de experimento. Para as diferenças estatísticas entre os períodos de avaliação na condição de deficiência hídrica e alagamento ocorreram nos tempos 0 e 12 dias.

Atividade da glutamina sintetase

As diminuições acentuadas na atividade da enzima glutamina sintetase nas plantas sob deficiência hídrica foram: 15,01; 12,01; 8,12 e 5,22 mmoles GGH/ Kg MS. Esses dados representaram uma queda de 2,69 quando comparado as plantas controle (14,05 mmoles GGH/ Kg MS). Para os resultados encontrados nas plantas sob condição de alagamento foram: 14,18; 6,02; 2,25 e 1,04 mmoles GGH/ Kg MS. Correspondendo uma diminuição de 13,5 menos quando comparado as plantas controle. As diferenças estatísticas entre as condições hídricas ocorreram a partir do 4º dia de experimento (Figura 2D). No caso dos períodos de avaliação as diferenças estatísticas nas plantas sob deficiência hídrica ocorreram ao longo do tempo. No caso das plantas sob alagamento as diferenças estatísticas entre os períodos de avaliação ocorreram nos três primeiros tempos (0, 4 e 8 dias).

Teores de aminoácidos solúveis totais

Os teores de aminoácidos solúveis totais aumentaram nas plantas submetidas à deficiência hídrica (Figura 3A), esse aumento correspondeu 1,9 vezes mais, quando comparado as plantas controle (105 μmol de AA/ g MS). Na condição de alagamento ocorreu um decréscimo a partir do 4º dia de avaliação representando uma queda de 1,9 vezes menos quando comparado as plantas controle. Os resultados encontrados para plantas sob deficiência hídrica foram: 100,1; 153,01; 189,17 e 200,17 μmol de AA/ g MS e sob alagamento: 111,04; 138; 91,24 e 54,1 μmol de AA/ g MS, esses dados mostram uma sensibilidade nas plantas sob alagamento. Estatisticamente as diferenças entre as condições hídricas ocorreram apenas no último dia de experimento. As diferenças estatísticas entre os períodos de avaliação, podemos observar

que, na condição de deficiência hídrica as diferenças se deram nos três primeiros tempos 0, 4 e 8º dia. No caso da condição de alagamento essa diferença ocorreu nos três últimos tempos 4, 8 e 12º dia.

Teores de proteínas solúveis totais

Os teores de proteínas solúveis totais diminuíram significativamente tanto na condição de deficiência hídrica como na de alagamento conforme a Figura 3B, no entanto sendo mais acentuado nas plantas sobre alagamento. Os valores encontrados para o tratamento sob deficiência hídrica foram: 2,11; 1,82; 1,54 e 1,12 mg proteína/g MS, e na condição de alagamento foram: (2,05; 1,76; 1,12 e 0,48 mg proteína/g MS). Na primeira condição ocorreu uma diminuição em torno de 1,9 vezes quando comparado as plantas controle (2,1 mg proteína/g MS), para a segunda um decréscimo de 4,37 vezes menos quando comparado as plantas controle. As diferenças estatísticas entre as condições hídricas se deram no 8º dia de experimento. Nos períodos de avaliação as diferenças estatísticas aconteceram nas duas condições de estresse hídrico quando comparado as plantas controle.

Teores de prolina

Os teores de prolina na condição de deficiência hídrica aumentaram gradativamente com o tempo de estresse, o mesmo não ocorrendo com as plantas sobre alagamento que diminuíram a partir do 4º dia (Figura 3C). Os resultados encontrados para deficiência hídrica foram: (2,1; 2,89; 3,65 e 4,98 mmol.g⁻¹.MS, representando mais de 2,5 vezes quando comparado as plantas controle (1,98 mmol.g⁻¹.MS). Na condição de alagamento foram: 2,01; 2,36; 1,35 e 1,01 mmol.g⁻¹.MS. Mostrando um decréscimo em torno de 1,96 quando comparado as plantas controle. As diferenças estatísticas entre as condições hídricas ocorrem a partir do 8º dia. Para os períodos de avaliação as diferenças estatísticas na condição de deficiência hídrica se deram ao longo do tempo experimental. O mesmo não observado para condição de alagamento onde ocorreram no 4º e 8º dia.

Teores de glicina betaína

Os aumentos nos teores de glicina betaína nas plantas sob deficiência hídrica foram: (6,02; 8,7; 11,01 e 13,33 mg de glicina betaína/g MS), esse aumento representou cerca de 2,13 mais quando comparado as plantas controle (6,25 mg de glicina betaína/g MS). Para as plantas sob alagamento os resultados mostraram que a partir do 4º período de avaliação ocorreu um decréscimo significativo conforme observado (6,12; 7,94; 3,56 e 2,01 mg de glicina betaína/g MS), representando uma queda de 3,10 quando comparado as plantas controle.

As diferenças estatísticas entre as condições hídricas aconteceram no 8º dia de experimento (Figura 3D). As plantas sob deficiência hídrica diferiram entre os períodos de avaliação ao longo do experimento, para as plantas sob alagamento essa diferença ocorreu no 4 e 8º dia.

Discussão

Potencial hídrico antemanhã

O Ψ_w das plantas de pau-de-balsa sob estresse hídrico decresceu significativamente ($p \leq 0.05$) ao longo do tempo de estresse (Figura 1). Em virtude da falta de água no solo levando possivelmente a um aumento da elasticidade nos vasos xilemáticos, pois quanto mais negativo o Ψ_w maior está sendo a força necessária para que a planta absorva a água do solo e transporte até a parte aérea (LUZ, 2011). Nas circunstâncias de alagamento a redução do potencial hídrico (Ψ_w) provavelmente está relacionada à diminuição da respiração aeróbia, passando a produzir menor quantidade de energia na forma de ATP, sendo essa energia direcionada para o sistema radicular para promover o crescimento das raízes que capturam água e nutrientes. Assim como ao espessamento da membrana celular onde essa estrutura em condições normais aumentaria a resistência ao fluxo de água. Em virtude desses fatos as consequências foram menor absorção de água pelas raízes resultando na queda do potencial hídrico (TAIZ & ZAIGER, 2013; PRYOR, 2006), em decorrência da diminuição na quantidade de pêlos e do sistema radicular (ALVES et al., 2012). Resultados apresentados por FU et al., (2010) demonstraram similaridade no parâmetro potencial hídrico do xilema em plantas de *Populus euphratica* e *Populus Russkii* atribuindo as diferentes características de absorção de água a distribuição de raízes.

Teores de nitrato

As concentrações de nitrato nas folhas de pau-de-balsa diminuíram significativamente sob deficiência hídrica e alagamento (Figura 2B), uma resposta a essa demanda negativa de nitrato na condição de deficiência hídrica está na diminuição do conteúdo de água, pois o nitrato (NO_3^-) é a principal forma de nitrogênio absorvido do solo pelas plantas, seguido do amônio (NH_4^+) quando essa substância encontra-se em quantidades insuficientes dificulta o processo de absorção de nitrato pelas raízes e consequentemente diminuindo o transporte deste para a parte aérea através da corrente transpiratória via xilema (SHANER & BOYER, 1976) e com isso diminuindo a atividade da enzima redutase do nitrato como se pode observar na (figura 2B).

Estudos apontam que quando o solo encontra-se sob excesso de água ocorre redução do oxigênio para o sistema radicular o que contribuiria para a redução da respiração das raízes.

Como consequência, havendo mudança da rota aeróbia para anaeróbia, o que resultaria na menor síntese de ATP, influenciando diretamente no desenvolvimento vegetal (PARENT et al., 2008).

Resultados encontrados por Oliveira Neto, (2010) trabalhando com plantas jovens de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) submetidas a estresse hídrico e alagamento corroboraram com os resultados encontrados nesse estudo. Assim como os resultados de Andrade Júnior, (2013) com plantas de jovens de *Parkia gigantocarpa* Ducke em condição de alagamento.

Atividade da enzima redutase do nitrato

A atividade da enzima redutase do nitrato diminuiu significativamente nas plantas sob deficiência hídrica e alagamento (Figura 2B). O baixo fluxo de água na corrente transpiratória possivelmente deva ter diminuído a atividade dessa enzima nas plantas sob deficiência hídrica, trazendo como consequência à diminuição da transpiração e com isso também o fluxo de nitrato para as folhas uma vez que essa enzima é altamente dependente de seu substrato (HORCHANI et al., 2010).

A diminuição na condição de alagamento deve-se provavelmente a falta de oxigênio no solo, contribuindo para a falta de energia na forma (ATP) no sistema radicular, dificultando com isso o seu desenvolvimento, ocasionando uma baixa absorção do nitrato do solo e consequentemente de nitrato para as folhas.

Outro ponto importante que possivelmente deva estar relacionado à baixa atividade dessa enzima na condição de alagamento é o aumento da fermentação alcoólica, pois esse processo promove o aumento da ADH que contribui para o aumento do pH, processo que inibe à atividade dessa enzima.

Carvalho, (2012) trabalhando com seringueira (*Hevea* spp) contradizem com os resultados aqui apresentados, obtendo aumento dessa enzima em condições de alagamento. Para Alves, (2010) trabalhando com plantas de *Tabebuia serratifolia* encontrou resultados similares nas plantas sob alagamento e deficiência hídrica.

Concentrações de amônio livre

Os teores de amônio livre aumentaram nas plantas sob deficiência hídrica e alagamento (Figura 2C). Para Alves, (2010) o aumento nas concentrações de amônio livre nas plantas sob deficiência hídrica se deve possivelmente a outra rota para formação do amônio livre, como a rota do glutamato desidrogenase (GDH), que atua na dependência de NADH, desaminando o glutamato gerando amônio (NH_4^+) e o 2-Oxiglutarato, promovendo assim um acúmulo de

amônio devido o aumento da sua produção e a redução da atividade da enzima glutamina sintetase (Figura 2D).

No caso das plantas sob alagamento a baixa atividade da enzima glutamina sintetase deva ter contribuído para o aumento de amônio, assim como o processo de fotorrespiração e do catabolismo de compostos nitrogenados, especialmente os aminoácidos, outro fato que deve ser destacado é que provavelmente deva ter ocorrido a diminuição da desidrogenase do glutamato GDH/NADH que deixaria de catalisar a incorporação da NH_4^+ em forma orgânica (DEBOUBA et al., 2007).

Trabalho desenvolvido por Carvalho, (2012) com (*Hevea sp*) mostrou similaridade com este trabalho. Para Alves, (2010) os teores de amônio livre em plantas de ipê-amarelo sob déficit hídrico aumentaram significativamente ao longo do tempo e diminuíram consideravelmente nas plantas sob alagamento discordando dos resultados aqui apresentados para as plantas sob excesso de água.

Atividade da glutamina sintetase

Os resultados mostraram que a atividade da glutamina sintetase diminuiu significativamente ao longo do tempo nas plantas sob alagamento e deficiência hídrica (Figura 2D). Isso evidência que a atividade desta enzima reduziu nas plantas sob essas condições devido às baixas concentrações de ATP no meio celular, haja visto que essa enzima é altamente dependente de energia na forma de ATP, gerado pelos fotossistemas na fase fotoquímica da fotossíntese, assim como do processo respiratório nas raízes (OLIVEIRA NETO, 2010; ALVES et al., 2012). Essas afirmativas em função da fotossíntese estão baseadas no baixo nível de transpiração desse vegetal como observado nas figuras 1B e 1C. Isso explica em parte a baixa concentração de gás carbônico (CO_2) nas células estomáticas prejudicando com isso a produção de energia na forma de ATP. Em trabalhos desenvolvidos por Carneiro, (2014) com plantas de seringueira durante 21 dias mostrou que a atividade da enzima glutamina sintetase (GS) foi bem maior nas folhas de plantas mantidas sob capacidade de campo.

Teores de aminoácidos solúveis totais

O aumento significativo dos teores de aminoácidos nas plantas sob deficiência hídrica (Figura 3A) se deve provavelmente, da restrição da síntese de proteínas, em função das enzimas proteolíticas que degradam essa proteína formando aminoácidos, bem como dos distúrbios pela deficiência hídrica nos tecidos do floema, reduzindo a translocação de aminoácidos para outros órgãos. Esse aumento possivelmente promoveu a diminuição do potencial osmótico e a

uma provável manutenção da turgescência celular, servindo de reserva de nitrogênio para a possível retomada do crescimento quando as tensões ambientais amenizarem ou terminarem e indicando uma possível tolerância a essa condição.

Nas plantas sob alagamento houve uma redução nas concentrações de aminoácidos (Figura 3A), isto se deve possivelmente a baixa atividade da enzima glutamina sintetase (Figura 2D), enzima conhecida como porta de entrada para formação de todos os aminoácidos nas raízes e nas folhas. Além do mais, a queda na síntese de ATP resultou em menor absorção de nitrato (NO_3^-), principal forma de nitrogênio absorvido pela planta e elemento essencial para formação de aminoácidos.

Para Moura, (2010), trabalhando com plantas de *Jatropha curcas*, apresentou resultados contrários nos teores de aminoácidos solúveis totais submetidas à deficiência hídrica na medida em que o estresse foi mais intenso. Segundo Andrade Júnior, (2013), analisando o tecido foliar das plantas de *Parkia gigantocarpa* em condições de alagamento apresentou redução em torno de 93,47%, mostrando alta sensibilidade a essa condição ambiental e similaridade com esse trabalho.

Teores de proteínas solúveis totais

Os teores de proteínas decresceram nas plantas sob deficiência hídrica e alagamento (Figura 3B). Trabalho desenvolvido por Nascimento, (2009) com mudas de jatobá obteve resultados contraditórios em relação à concentração desse soluto orgânico, sendo observado um incremento nos teores de proteínas solúveis nas plantas submetidas a 25% da Capacidade de Pote (estresse severo ocasionado pela falta de água). Para Andrade Júnior, (2013) utilizando mudas de *Parkia gigantocarpa* sob alagamento os teores de proteínas nas folhas reduziram significativamente.

Na condição de estresse hídrico provavelmente deve ter ocorrido segundo Oliveira Neto, (2010) aumento da atividade de enzimas proteolíticas, que quebram as proteínas de reserva das plantas e também da diminuição da síntese “*de novo*” das mesmas. Esse tipo de estresse interfere basicamente no metabolismo bioquímico da planta e como uma forma de defesa contra falta de água, a planta muda seu comportamento metabólico como, por exemplo, degrada proteínas em aminoácidos, dentre os quais, a prolina. Segundo Bailey-Serres & Chang, (2005) plantas submetidas à baixa disponibilidade de oxigênio, normalmente reduzem a síntese de proteínas, em função da inibição de certas enzimas, sintetizando apenas proteínas relacionadas ao alagamento, como, a ADH e a LDH.

Teores de prolina

Os aumentos nos teores desse aminoácido nas plantas sob deficiência hídrica (Figura 3C) indicam possivelmente sua participação no processo de ajustamento osmótico dessas plantas. Assim como o aumento das atividades proteolíticas, promovendo maior disponibilidade desse aminoácido. No estudo desenvolvido por Silva, (2013) com mudas de *Moringa oleifera* submetidas à deficiência hídrica e alagamento mostraram que os teores de prolina presentes nas folhas decresceram significativamente nos 10 dias de avaliação nos dois parâmetros, não corroborando com os dados desse estudo para as plantas sob deficiência hídrica. No entanto, Amorim et al., (2011) ao estudarem o teor de prolina em folhas de *Anacardium occidentale* verificaram um aumento desse soluto como resposta ao estresse hídrico.

Nas plantas sob alagamento, o aumento no teor de amônio (Figura 2C), ou a degradação de proteínas por enzimas proteolíticas, pode ter sido responsável pelo alto teor de prolina livre, importante aminoácido na proteção de estruturas celulares contra danos oxidativo causados pelos radicais livres (KAVI KISHOR et al., 2005). Os resultados obtidos por Horchani et al., (2010) mostraram similaridade com o trabalho em questão. Outra possível resposta para aos baixos teores de prolina, se deve possivelmente ao início da senescência das folhas ocasionando necroses fazendo com que ocorra possivelmente o deslocamento desse aminoácido ao sistema radicular (Oliveira Neto, 2010).

Teores de glicina betaína

O acréscimo significativo nos teores de glicina betaína nas folhas de pau-de-balsa submetidas à deficiência hídrica (Figura 3D), são devidos, provavelmente, a atuação dessa substância como um osmorregulador, mas também por estabilizar as estruturas e as atividades de enzimas do complexo de proteína, e manter a integridade de membranas contra os efeitos prejudiciais de diferentes estresses hídricos (SAKAMATO & MURATA, 2002). Contudo, resultados com plantas jovens de mogno africano não foram observadas alterações significativas nas concentrações de glicina betaína, em consequência do tratamento sob déficit hídrico (ALBUQUERQUE, 2013). Para as espécies *Hymenaea courbaril* e *Hymenaea stigonocarpa* ocorreram aumentos significativos nos teores de glicina betaína na condição de estresse hídrico (LUZ, 2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

Local e condução do experimento

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação da Universidade Federal Rural da Amazônia, no Campus de Capitão/ Poço. (Latitude 01° 44' 47'' e Longitude 47° 03' 34''). No mês de julho de 2013, foram utilizadas mudas de *Ochroma pyramidale* (Cav. Ex Lam) Urb., com aproximadamente um mês de idade e 15 cm de altura em média. Durante a realização do experimento as plantas sofreram interferências das condições ambientais as quais foram submetidas, por isso, foram registradas as variações diurnas da Tar (30,9°; UR (78%) e RFA ($626 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

As mudas foram mantidas em vasos com capacidade de 10L, nas dimensões de 0,30m de altura e 0,3m de diâmetro, sendo preenchida completamente com os substratos latossolo amarelo distrófico e esterco bovino curtido na proporção 3:1 respectivamente, sobre uma camada de 0,02 m de pedras/britadas para facilitar a drenagem da água.

No período de três meses antes do experimento foram aplicados 600mL de solução nutritiva completa (Hoagland & Arnon, 1950) sendo para cada mês 200mL de solução, foram realizadas irrigações diariamente para ser mantido o solo na capacidade de campo, sendo efetuada a pesagem do conjunto vaso/planta periodicamente, para reposição da água evapotranspirada, conforme diferença de peso. A capacidade de campo do substrato foi estimada, em laboratório, de acordo com o método de coluna de solo apresentada por Fernandes & Sykes (1968).

As plantas foram submetidas a três regimes hídricos [irrigado (controle), deficiência hídrica (suspensão total da irrigação no início do experimento) e alagamento (mantido uma lâmina de 5 cm de água acima do solo), em um intervalo de doze dias.

Durante o período experimental as “plantas controles” foram irrigadas diariamente para repor a água perdida, sendo feita individualmente para cada vaso, levando-se em consideração as pesagens diárias do conjunto (vaso + planta + solo). Também foi realizado o controle de plantas daninhas por meio de monda, não houve ocorrência de deficiência nutricional e nem ataque de pragas e patógenos.

Para as realizações das análises as amostras foram coletadas do segundo ou terceiro par de folhas maduras a partir do ápice, entre 9:00 e 11:00 h, e imediatamente congeladas (aproximadamente -20°C) para posteriores análises bioquímicas. Após a coleta de amostras citadas acima, todas as plantas foram irrigadas ao final da tarde e, na antemanhã seguinte, 12

horas após a retomada da irrigação, o Ψ_{am} foi novamente determinado, as trocas gasosas avaliadas e as amostras foliares coletadas, conforme descrito anteriormente.

Dados meteorológicos

As médias de temperatura (T_{ar}) e umidade relativa do ar (UR) foram registradas através de um termohigrômetro (mod. 5203, Incoterm, RS, Brasil). A partir dos dados de T_{ar} (registradas em termômetro bulbo seco e úmido) e da temperatura foliar (T_{fol}), o déficit de pressão de vapor d'água entre folha e atmosfera (ΔW) foi estimado de acordo com Landsberg (1986).

Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (3x4), representado por três condições hídricas: (controle, deficiência hídrica e alagamento) e quatro períodos de avaliação (0, 4, 8 e 12 dias), com 5 repetições, totalizando 60 unidades experimentais, sendo cada unidade composta de uma planta/vaso.

Potencial hídrico antemanhã

Foi determinado entre 4:30 e 5:30 h, por meio de uma bomba de pressão do tipo Scholander (m670, Pms Instrument Co., Albany, USA), conforme descrito por Pinheiro et al., (2007). Foram utilizados como amostras, folíolos maduros e completamente expandidos do segundo ou terceiro par de folhas a partir do ápice, destacados com auxílio de uma lâmina de barbear, armazenados em sacos de polietileno umedecidos e transportados sob gelo até o laboratório para as análises, em um tempo máximo de 60 minutos, sendo cada amostra constituída de um folíolo.

Análises bioquímicas

As análises bioquímicas foram realizadas no laboratório de Fisiologia Vegetal, localizado no campus da UFRA, Capitão/ Poço, PA.

Determinação das concentrações de nitrato

Foram pesados 50 mg das folhas e das raízes previamente liofilizadas, e adicionadas em tubos de ensaio contendo 5,0 mL de água destilada, e estes incubados em banho-maria por 30 minutos a 100 °C. Em seguida, este quantitativo foi centrifugado a 3.000 rpm por 10 minutos e retirado o sobrenadante. A reação foi preparada em tubo de ensaio contendo 100 μ L do extrato + 200 μ L de solução de ácido salicílico 5 % (p/v), em ácido sulfúrico concentrado. Após vigorosa agitação em agitador do tipo vortex, foram adicionados lentamente dentro do tubo 4700 μ L de NaOH 2 N. Em seguida, deixados em repouso até atingirem a temperatura

ambiente por cerca de 20 minutos. Após este processo, foram feitas leituras em espectrofotômetro na absorvância de 410 nm. O branco foi feito usando no ensaio água deionizada em substituição ao extrato. A concentração de nitrato foi obtida a partir de uma curva padrão com concentrações crescentes de NO_3^- (0, 0,5, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0 e 5,0 $\mu\text{mol mL}^{-1}$). Os resultados foram expressos em $\text{mmol de NO}_3^- \cdot \text{kg}^{-1} \text{ MS de tecido}$. O método utilizado foi o de (CATALDO et al., 1975).

Determinação da atividade da redutase do nitrato

Foram pesados, aproximadamente, 200 mg de discos das raízes e das folhas de 0,5 cm de diâmetro. As amostras foram colocadas em tubos de ensaio, contendo 5 mL do tampão fosfato 0,1 M, pH=7,5; contendo isopropanol 1% (v/v), KNO_3 mM) e estes cobertos com papel alumínio (tratamento escuro). Em seguida, os tubos foram evacuados com o auxílio de uma bomba de vácuo, durante 2 minutos. Por seguinte, os tubos foram colocados em “banho-maria” a 30 °C, por 30 minutos, na ausência de luz. Em tubos de ensaio tipo pirex, foram adicionados alíquotas de 1 mL de tampão fosfato + 2 mL do extrato diluído + 1,0 mL de sulfanilamida 1% + 1,0 mL de N-1-naftiletilenodiamina dicloridrato (NNEDA) 0,02%, totalizando um volume final de 5 mL. Em seguida, os tubos foram deixados em repouso por 15 minutos. A leitura foi no espectrofotômetro à 540 nm contra o branco (3,0mL de tampão fosfato + 1,0 mL de sulfanilamida 1% + 1,0 mL de NNEDA, 0,02 %). O resultado da atividade da redutase do nitrato foi estimado através da produção de NO_2^- no meio de reação, sendo expressa em $\mu\text{moles de NO}_2^- \cdot \text{g.MF}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, a partir de uma curva-padrão obtida com KNO_2 p.a (Sigma). O método empregado foi o método *in vivo* preconizado por (HAGEMAN; HUCKLESBY, 1971).

Concentrações de amônio livre

Foram pesados 50 mg de massa seca (MS) das raízes e das folhas em pó, e colocados em tubos de ensaio de 15 mL, adicionando-se 5 mL de água destilada e levados ao banho-maria por 30 min a 100 °C. Após a extração as amostras foram centrifugadas em centrífuga de bancada (1000 rpm) e os sobrenadantes coletados para obtenção do extrato total. Nos tubos de ensaio foram acrescentados 400 μL de extrato total + 2,5 mL da solução A (5 g de fenol + 0,025 g de nitroprussiato de sódio/ 500 mL de água destilada) e homogeneizado em vortex, acrescentando mais 2,5 mL da solução B (2,5 g de NaOH + 12,6 mL de hipoclorito de sódio/ 500 mL de água destilada) e foram agitados novamente em vortex, levando-os ao banho-maria por 20 min a 37 °C. Após esse período foram removidos do “banho-maria” e deixados

em repouso por 40 min, em seguida, levados para fazer a leitura no espectrofotômetro a 625 nm e usando-se água destilada (em substituição ao extrato) + reagentes como branco. As concentrações de amônio livre foram estimadas a partir da curva-padrão construída com $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ p.a (Sigma). Os resultados foram expressos em mmol de NH_4^+ / kg de MS. Para isso utilizou-se o método descrito por (WEATHERBURN, 1967).

Atividade da glutamina sintetase

Adicionou-se 0,2 g de massa seca das raízes e das folhas em pó em 5 mL (2mL + 2 mL + 1mL/ 2 minutos cada) de tampão de extração TRIS-HCl 25 mM, pH 7,6, contendo : 10 mM de $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ + 10 mM de β -2-mercaptoetanol + PVP 5% (p/v) + 5 mM de EDTA-Na. Depois de trituradas, foram filtradas em pano fino de seda e centrifugadas a 30.000 g (21.000 rpm), em centrífuga refrigerada à 0° - 4 °C, por 30 minutos. O sobrenadante foi congelado para posterior análise. A reação foi preparada em tubo de ensaio, com 600 μL de tampão de reação TRIS-HCl 0,25 M, pH 7 + 200 μL de glutamato de sódio 0,3 M, pH 7 + 200 μL de ATP 30 mM, pH 7 + 200 μL de $\text{Mg SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ 0,5 M + 500 μL de extrato de folhas + 200 μL de solução de hidroxilamina ($\text{NH}_2 \text{OH}$ 1,0 M + NaOH 1,0 M na proporção 1:1). Foi misturado rigorosamente, em vortex e incubado em banho-maria à 30 °C, por 30 minutos. Em seguida, removeram-se os tubos do banho-maria e adicionou-se 500 μL de solução férrica $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ 10 % (p/v) em HCl 0,2 M + ácido tricloroacético (TCA.) 24 % (p/v) + HCl 50 % (v/v) na proporção 1:1:1] e centrifugado em centrífuga de mesa a 7.000 g, durante 10 minutos. A leitura foi feita em espectrofotômetro a 540 nm, usando-se água destiladas + reagentes (exceto solução de hidroxilamina) como branco. A atividade da glutamina sintetase (GS) foi determinada a partir da curva padrão de γ -glutamil-hidroximato e os resultados foram expressos mmoles de γ -glutamil-hidroximato / kg MS de tecido/hora. A atividade da glutamina sintetase foi determinada pelo método “*in vitro*” segundo (KAMACHI et al., 1991).

Concentrações de aminoácidos solúveis totais

Foram pesados 50mg das folhas e das raízes, e colocados em tubos de ensaio com 5mL de água deionizada, fechados hermeticamente e incubados em banho-maria a 100 °C, durante 30 minutos. Em seguida, os tubos foram centrifugados a 6.000 xg, por 10 minutos. Após a extração o sobrenadante foi coletado e desenvolvido a reação para dosagem dos aminoácidos. Alíquotas de 0,1 mL do extrato foram colocadas em tubos de ensaio e acrescidas de 0,4 mL de água mille-Q. Em seguida 0,250mL de uma solução tamponada, pH 5,0, contendo 0.2 mol.L⁻¹

de citrato; 0,250 mL do reagente de ninhidrina ($\text{KCN } 0,1 \text{ mmol.L}^{-1}$ e ninhidrina 5% em methoxy etanol) foi adicionado. Após misturar bem em vortex os tubos foram hermeticamente fechados e colocados em “banho-maria”, no qual permaneceram pelo tempo de 15 minutos à temperatura de 100°C . Em seguida, a reação foi interrompida em banho de gelo, momento em que foram adicionados 1,5 mL de uma solução de etanol 50% (v/v). Após os tubos permanecerem por 20 minutos em temperatura ambiente e em seguida, efetuadas leituras em espectrofotômetro, a 570nm, sendo os teores de aminoácidos livres totais, determinado com base em uma curva padrão ajustada a partir de concentrações crescentes de uma mistura padronizada de L – glutamina. A concentração de aminoácidos livres totais (AALT) foi determinada segundo método descrito por (PEOPLES et al.,1989).

Determinação das concentrações de proteínas solúveis totais

Foram colocados em tubos de ensaio de 15 mL 100 mg de pó da matéria seca das raízes e das folhas em 5,0 mL do tampão de extração (Tris-HCl 25 mM pH 7,6). Em seguida os tubos, devidamente lacrados, ficaram sobre o processo de agitação durante 2 horas no “shacker”. Após esse processo, os tubos foram centrifugados em centrífuga de bancada (2000 rpm por 10 minutos). Em seguida, foram colocados nos tubos de ensaios 100 μL do sobrenadante após a centrifugação + 2,5 mL do reagente de Bradford. Após este processo os tubos manualmente foram agitados delicadamente (para não desnaturar as proteínas). Com 15 min de repouso as leituras foram realizadas no espectrofotômetro a 595 nm, contra o branco que encerra 100 μL de água + 2,5 mL do reagente de Bradford. As concentrações de proteínas solúveis totais foram estimadas a partir da curva-padrão construída com soro albumina bovina p.a (Sigma). Os resultados foram expressos em mg proteína/ g MS. As concentrações de proteínas solúveis totais foram determinadas segundo o método de (BRADFORD, 1976).

Determinação dos teores de Prolina

Os teores de prolina foram determinados de acordo com Bates et al. (1973). A extração foi realizada a quente (em banho-maria a 100°C , por 30 min), homogeneizando-se as amostras em 5 mL de água destilada. Após centrifugação a 700 g, por 20 min, o sobrenadante foi coletado e deste utilizado uma alíquota de 1 mL para a quantificação de prolina, iniciada pela adição de 1 mL de ninhidrina ácida e 1 mL de ácido acético glacial 99,5%. A mistura foi agitada e incubada a 100°C por 1 h. As amostras foram resfriadas em banho de gelo e a elas adicionadas 2 mL de tolueno para a separação das fases. A fração contendo grupo cromóforo foi coletada e a absorvância (ABS) determinada a 520 nm em espectrofotômetro UV-Visível

(mod. GenesysTM 10series, Marca Thermo Electron Corporation, Wisconsin, USA). A concentração de prolina foi determinada por meio de uma curva de calibração de prolina e o resultado expresso em mmol prolina g⁻¹ de matéria seca (MS).

Determinação dos teores de glicina betaína

Foi determinada segundo o método de Grieve e Grattan (1983). As amostras foram maceradas em 2 mL de água destilada sob agitação constante, à temperatura ambiente, por um período de 4 horas, seguindo de centrifugação a 3.500 g por 10 minutos, a 25 °C. O sobrenadante foi coletado e dele retirado uma alíquota de 250 µL para a quantificação de prolina. Para isso, 250 µL de ácido sulfúrico concentrado foram adicionados a cada amostra, seguindo de incubação em banho de gelo por 1 hora. Após esse tempo, 200 µL de iodeto de potássio (a aproximadamente 8°C) foram adicionados e a mistura incubada por 16 horas a 0 °C. As amostras foram centrifugadas a 3.500 g, por 15 minutos a 0°C, e o resíduo coletado. Este foi lavado por duas vezes em 2 mL de ácido sulfúrico 1 N (a aproximadamente 8°C), após centrifugação a 3.500 g, por 5 minutos a 0 °C, o precipitado foi dissolvido em 3 mL de 1,2-dicloroetano, por meio de agitação vigorosa. Após 2,5 horas de repouso, a ABS das amostras foi obtida a 365 nm e para os cálculos foi utilizada uma curva padrão de glicina - betaína. Os resultados foram expressos em mg glicina – betaína g⁻¹ MS.

Análises dos dados estatísticos

Os resultados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância. Foram realizadas análises de regressão nas variáveis, cuja significância foi averiguada pelo teste-F ($P < 0,05$). Sendo as análises estatísticas realizadas usando-se o programa SWNTIA (EMBRAPA, Campinas-SP, 1995). Os modelos de regressão que melhor relacionaram ao comportamento das variáveis foram polinomiais de 2º ordem e função logarítmica.

Conclusão

Diante das respostas fisiológicas e bioquímicas, apresentadas pelas mudas de *Ochroma pyramidale*, as mesmas sugerem que podem ser capazes de responder favoravelmente a um curto período de tempo de deficiência hídrica (12 dias) sob condições experimentais em casa de vegetação;

Os teores foliares de prolina e glicina-betaína foram maiores nas plantas sob deficiência hídrica, indicando uma possível ocorrência de ajuste osmótico nessa espécie.

Referências Bibliográficas

- Alves GAR (2010) Aspectos ecofisiológicos, bioquímicos e crescimento de plantas jovens de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nicholson) em condições de déficit hídrico e alagamento. 73 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias/Agroecossistemas da Amazônia) - Universidade Federal Rural da Amazônia/Embrapa Amazônia Oriental, Belém.
- Ashraf M (2010) Inducing drought tolerance in plants: some recent advances. *Biotechnology Advances*, 28: p. 169-183.
- Amorim AV et al. (2011) Produção e fisiologia de plantas de cajueiro anão precoce sob condições de sequeiro e irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.15, n.10, p. 1014-1020.
- Alves GAR, Santos Filho BG dos, Lobato AKS da, Yuen Tan DK, Oliveira Neto CFde, Costa RCLda, Ávila FW, Marques DJ, Galate RS dos (2012) Water relations, nitrogen compounds and enzyme activities in leaf and root of young Yellow Lapacho (*Tabebuia serratifolia*) plants subjected to flooding. *Plant Omics Journal*. v. 5, n. 3, p. 216-222.
- Andrade Júnior WVde (2013) Respostas ecofisiológicas de plantas jovens de *Parkia gigantocarpa* Ducke em condições de alagamento. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) Universidade Federal Rural da Amazônia/ Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém.
- Albuquerque MPF, Moraes FKC, Santos RIN, Castro GLS, Ramos EMLS, Pinheiro HA (2013) Ecofisiologia de plantas jovens de mogno-africano submetidas a déficit hídrico e reidratação. *Pesquisa agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 48, n. 1, p. 9-16.
- Bates LS, Waldren RP, Teare ID (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, v. 39, p. 205-207.
- Bradford MM (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal. Biochem.* v. 72, p. 248-254.

- Bailey-Serres J, Chang R (2005) Sensing and signalling in response to oxygen deprivation in plant cells and other organisms. *Annals of Botany*, v. 96, p. 507-518.
- Cataldo DA, Haroon SLE, Yougs VL (1975) Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Commun Soil Science Plant Analyse*, 6: (1): p. 71-80.
- Carvalho PAde (2012) Metabolismos do nitrogênio e antioxidante em plantas jovens de seringueira (*Hevea spp*) submetidas à baixa disponibilidade de oxigênio na presença de nitrato e/ou amônio. 76 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras. Lavras. UFLA.
- Carneiro MMLC (2014) Fisiologia de plantas jovens de seringueira cultivadas em diferentes fontes nitrogenadas e sob baixa disponibilidade de água e oxigênio. 108 f. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- Debouba M, Maâroufi-Dghimi H, Suzuki A, Ghorbel MH, Gouia H (2007) Changes in growth and activity of enzymes involved in nitrate reduction and ammonium assimilation in tomato seedlings in response to NaCl stress. *Ann Bot*, v. 99, n. 6, p. 1143-1151.
- Embrapa Swntia (Programa Estatístico) Campinas, (1995) Centro Nacional de Pesquisa Tecnológica em Informática para a Agricultura - CNPTIA (Campinas, SP).
- Fernandes B, Sykes DJ (1968) Capacidade de campo e retenção de água em três solos de Minas Gerais. *R. Ceres*, v. 15, p. 1-39.
- Fu AH, Chen YN, Li WH (2010) Analysis on the change of water potential of *Populus euphratica* Oliv. and *Populus Russkii* Jabl under different irrigation volumes in temperate desert zone. *Chinese Sci Bull* 55: p. 965-972.
- Grieve CM, Grattan SR (1983) Rapid assay for determination of water soluble quaternary ammonium compounds. *Plant and Soil*, v. 70, p. 303-307.
- Gorai M, Maraghni M, Neffati M (2010) The relationship between phenological traits and water potential patterns of the wild jujube *Ziziphus lótus* in southern Tunisia. *Plant Ecology & Diversity*. v. 3, p. 273-280.

- Hoagland DR, Arnon DI (1950) The water culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station, Circular, p. 347.
- Hageman RHG, Hucklesby DP (1971) Nitrate reductase from higher plants. In: Methods in enzymology, v. 17, p. 491 – 503.
- Horchani F, Aschi-Smiti S, Brouquisse R. (2010) Involvement of nitrate reduction in the tolerance of tomato plants to prolonged root hypoxia. Acta Physiol. Plant., v. 32, p. 1113-1123.
- Kamachi K, Yamaya T, Mae T, Ojima KA (1991) Role for glutamine synthetase in remobilization of leaf nitrogen during natural senescence in rice leaves. Plant Physiology. 96, p. 411-417.
- Kavikishor PB, Sangam S, Amrutha RN, Sri Laxmi P, Naidu KR, Rao KRSS, Rao S, Reddy KJ, Theriappan P, Sre Enivasulu N (2005) Regulation of proline biosynthesis, degradation, uptake and transport in higher plants: Its implications in plant growth and abiotic stress tolerance. Current Science, v. 88, n. 3, p. 424 -438.
- Kirono DGC, Hennessy K, Mpelasoka F, Kent D (2011) Approaches for generating climate change scenarios for use in drought projections – a review. CAWCR Technical Report, n. 34, p. 32.
- Landsberg JJ (1986) Physiological ecology of forest production. Academic Press, London, p.198.
- Luz LM (2011) Respostas ecofisiológicas e bioquímicas de plantas jovens de *Hymenaea courbaril* L. e *Hymenae stigonocarpa* Mart. Submetidas à deficiência hídrica e reidratação. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas/Botânica Tropical). Universidade Federal Rural da Amazônia/Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém.
- Moura ARde (2010) Aspectos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) submetido ao déficit hídrico. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- Nascimento HHCdo (2009) Caracterização ecofisiológica de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) submetidas a déficit hídrico. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.

- Oliveira Neto CF (2010) Crescimento, alterações ecofisiológicas e bioquímicas em plantas jovens de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) submetidos à deficiência hídrica e ao alagamento. 93 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.
- Peoples MB, Faizah AW, Reakasem BE, Herridge DF (1989) Methods for evaluating nitrogen fixation by nodulated legumes in the field. Australian Centre for International Agricultural Research Canberra. p. 76.
- Pryor RJ, Davison NJ, Close DC (2006) Waterlogging duration; Interspecific comparison of *Leptospermum scoparium* (Forst et Forst.f.), *Acacia melanoxylon* (R. Br.), *Nothofagus cunninghamii* (Hook.) and *Eucalyptus abliqua* (L'Herit). Austral Ecology, Carlton, v.31, n.4, p. 408-416.
- Pinheiro HA, Silva JV, Endres L, Ferreira VM, Câmara CA, Cabral FF, Oliveira JF, Carvalho LWT, Santos JM, Santos Filho BG (2007) Leaf gas exchange, chloroplastic pigments and dry matter accumulation in castor bean (*Ricinus communis* L.) seedlings subjected to salt stress conditions. Industrial Crops and Products, v. 27, p. 385-392.
- Parent C, Capelli N, Berger A, Crèvecoeur M, Dat JF (2008) An Overview of Plant Responses to Soil Waterlogging. Plant Stress, v. 2, n. 1, p.20-27.
- Pereira-Silva EFL, Hardt E, Aidar MPM, Joly CA (2011) Sucessão ecológica e o uso de nitrogênio em florestas tropicais. Revista Interciência & Sociedade, v. 1, p. 149-159.
- Prates RC, Bacha CJC (2011) Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. Economia e Sociedade, Campinas, v. 20, n. 3 (43), p. 601-636.
- Shaner DL, Boyer JS (1976) nitrate reductase activity in maize (*zea mays* L.) leaves. I. regulation by nitrate flux. Plant physiology, Maryland, v.58, p.499-504.
- Sakamoto A, Murata N (2002) The role of glycine betaine in the protection of plants from stress: clues from transgenic plants. Plant, Cell and Environment, Oxford, v. 25, p. 163-171.
- Stape JL (2002) Production ecology of clonal Eucalyptus plantations in northerastern Brazil. Thesis (Ph.D. in Forest Sciences) - Colorado State University, Fort Collins. p. 225.

- Schimann H, Ponton S, Hättenschwiler S, Ferry B, Lensi R, Domenach AM, Roggy JC (2008) Differing nitrogen use strategies of two tropical rainforest late successional tree species in French Guiana: Evidence from ^{15}N natural abundance and microbial activities. *Soil Biology & Biochemistry* 40: p. 487-494.
- Silva ECAda (2013) Respostas fisiológicas, bioquímicas e enzimáticas em mudas de *Moringa oleifera* Lam. submetidas a estresses abióticos. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife.
- Turkan I (2011) Plant Responses to Drought and Salinity Stress: Developments in Post-Genomic Era. In *Advances in Botanical Research*. v. 57. Elsevier. p 593.
- Taiz L, Zeiger E (2013) *Fisiologia vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, p. 954.
- Visser EJW, Voesenek LACJ, Vartapetian BB, Jackson MB (2003) Flooding and Plant Growth. *Annals of Botany*, v. 91, n. 2, p. 107-109.
- Weatherburn MW (1967) Phenol hypochlorite reaction for determination of ammonia. *Analytical Chemistry*. v. 39, p. 971-974.

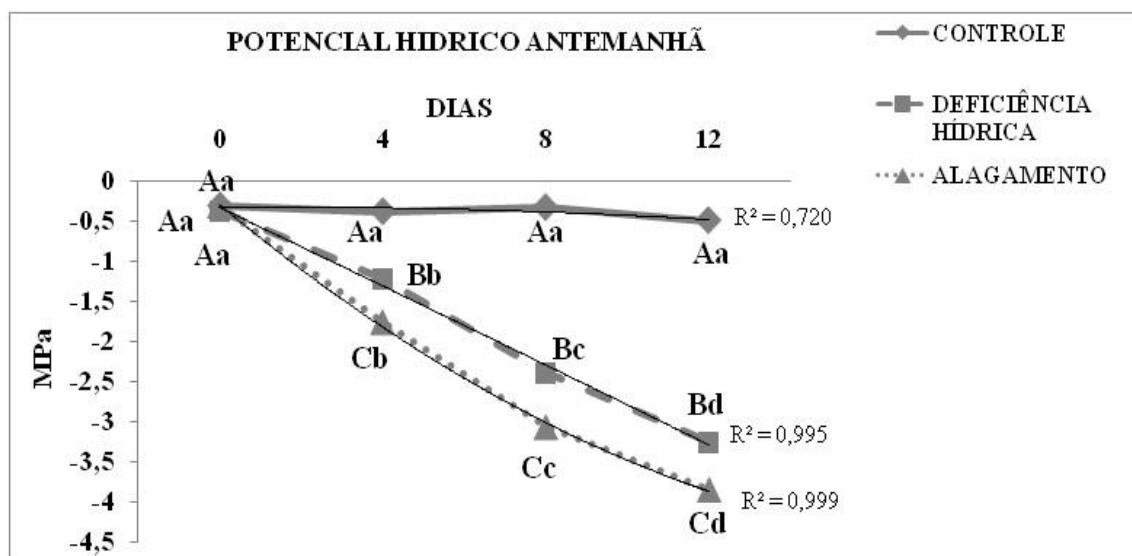


Figura 1- Potencial hídrico antemanhã em plantas jovens de *Ochroma pyramidale*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e as letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.

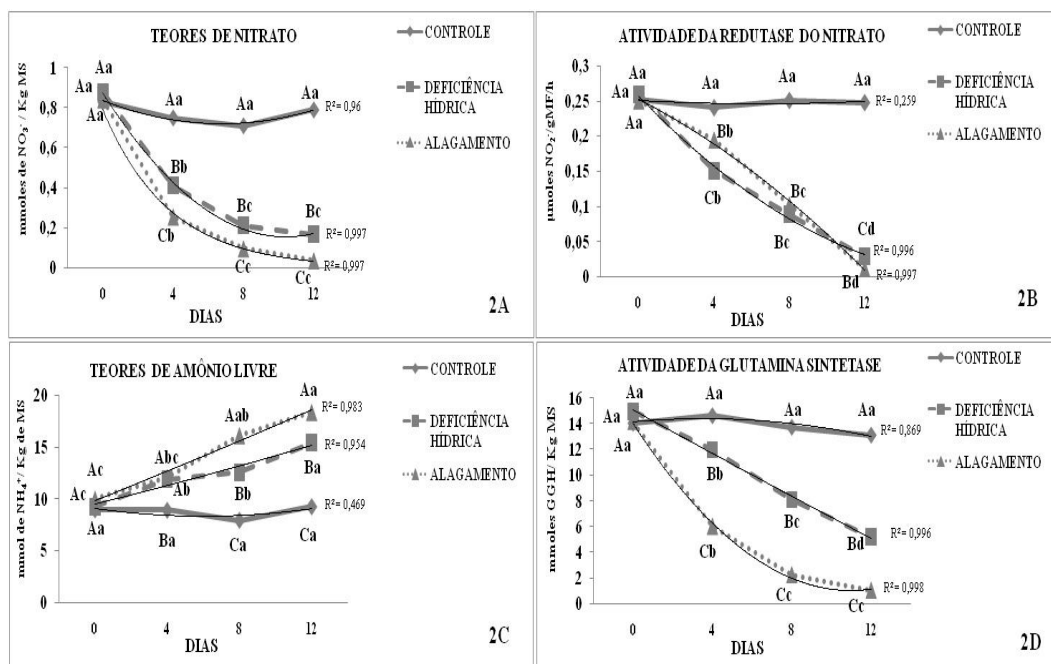


Figura 2- Teores de nitrato (2A), Atividade da redutase do nitrato (2B), Teores de amônio livre (2C), Atividade da glutamina sintetase (2D) em plantas jovens de *Ochroma pyramidale*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e as letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.

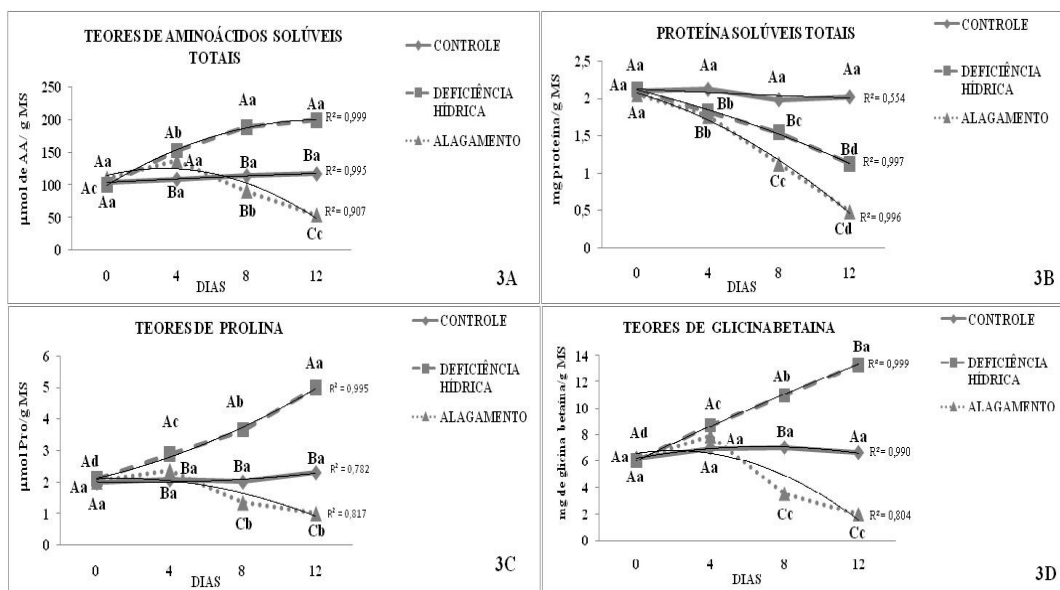


Figura 3- Aminoácidos solúveis totais (3A), Proteínas solúveis totais (3B), Teores de prolina (3C), Teores de glicina betaína (3D) em plantas jovens de *Ochroma pyramidale*. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula ou minúscula, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Letras maiúsculas comparam estatisticamente entre as condições hídricas e as letras minúsculas entre os períodos de avaliação dentro de cada tratamento.