



INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
Programa de Pós-graduação em Botânica

**EFEITOS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DIFERENTES CONDIÇÕES DE
IRRADIÂNCIA SOBRE O CRESCIMENTO, AS CARACTERÍSTICAS
FOTOSSINTÉTICAS E SÍNTESE DE ÓLEOS VOLÁTEIS EM PLANTAS JOVENS
DE ESPÉCIES DA FAMÍLIA LAURACEAE.**

EVA MARIA ALVES CAVALCANTI ATROCH

Manaus – Amazonas

Junho, 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.



**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
Programa de Pós-graduação em Botânica**

**EFEITOS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DIFERENTES CONDIÇÕES DE
IRRADIÂNCIA SOBRE O CRESCIMENTO, AS CARACTERÍSTICAS
FOTOSSINTÉTICAS E SÍNTESE DE ÓLEOS VOLÁTEIS EM PLANTAS JOVENS
DE ESPÉCIES DA FAMÍLIA LAURACEAE.**

EVA MARIA ALVES CAVALCANTI ATROCH

Orientador: Dr. JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO GONÇALVES

Tese apresentada ao Programa Integrado de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais do convênio INPA/UFAM como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências Biológicas na área de concentração em Botânica.

Manaus – Amazonas

Junho, 2008

Atroch, Eva Maria Alves Cavalcanti

Efeitos da disponibilidade hídrica e diferentes condições de irradiância sobre o crescimento, as características fotossintéticas e síntese de óleos voláteis em plantas jovens de espécies da família Lauraceae/ Eva Maria Alves Cavalcanti
Atroch – Manaus: UFAM/INPA,

2008.

xii p.

Tese de Doutorado – Área de concentração Botânica.

1. Estresse hídrico 2. Trocas gasosas 3. Produção vegetal 4. *Aniba*

CDD XX° ed. XXX.XXX

Sinopse:

As características fisiológicas e o conteúdo dos óleos voláteis em folha, caule e raiz foram investigados em plantas jovens de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e casca-preciosa (*Aniba canelilla* (Kunth) Mez) submetidas a diferentes condições de disponibilidade hídrica e de irradiância, visando verificar as relações de causa e de efeito entre estes fatores abióticos e o crescimento, a sínteses de componentes do metabolismo primário e secundário nestas espécies da família Lauraceae.

Palavras-chave: biomassa, carboidratos, pigmentos cloroplastídicos, potencial hídrico, trocas gasosas.

Aos meus pais, Maria Alves Cavalcanti e Otávio Correia Cavalcanti (*in memoriam*)

Aos meus filhos, Tiago e Daniel

Aos meus irmãos, Célia e Neto

Ao André Atroch

OFEREÇO

A Deus
DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar todos os dias ao meu lado;

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, por meio do Programa de Pós-Graduação em Botânica, pela oportunidade de realizar o curso;

A Universidade Federal do Amazonas – UFAM pela liberação para realização do curso;

Ao Dr. José Francisco de Carvalho Gonçalves, pela orientação e pela contribuição para a minha carreira profissional;

Ao Dr. Jamal Chaar, pela orientação e bom humor de sempre;

Ao Dr. Adrian Pohlit, pelas orientações e apoio logístico na extração dos óleos;

Ao Dr. Eduardo Ossamo Nagao, pela amizade, incentivo e compreensão;

Ao Dr. José das Neves Falcão, pelo apoio e compreensão;

Ao Dr. José Ferreira, pelo apoio logístico e amizade;

Ao Dr. Daniel Gentil, pelo apoio logístico e pela cordialidade;

A todos os colaboradores do Laboratório de Princípios Ativos da Amazônia (CPPN-INPA), pelo acolhimento;

A maravilhosa amiga Geisianne Pimenta Cavalcante por toda dedicação, carinho e incansável presença na realização de todo o trabalho;

Ao André Luiz Atroch, pelo apoio incondicional, por todo carinho e amizade, e pela contribuição teórica nas análises estatísticas;

A minha grande amiga Zilvanda, por todo apoio, incentivo e carinho desde sempre;

A querida amiga Sônia Araújo, por todo o apoio durante a realização deste trabalho;

A Renatinha, menina doce, pela presença serena e carinhosa que sempre me confortou;

A querida Ressiliane, pela disponibilidade e carinho com que sempre contribuiu nas avaliações anatômicas;

Aos queridos amigos e colegas da Botânica, Madalena, Rogério e Robson, pela amizade carinhosa que me dedicam;

As queridas amigas Neide e Gisele, secretárias da Botânica, por suas orações que tanto

conforto me deram;

Aos queridos amigos da UFAM, Rozana, Themis, Tereza Cristina, Astrid, Fred, Aldi e Doriane, pela torcida e carinho;

A todos os amigos do UNINORTE pela torcida;

Ao querido Valdemir, colega do Laboratório de Cultura de Tecidos de Plantas da UFAM, pelo apoio durante as minhas ausências do laboratório;

Aos colegas Ulysses e Carlos, pela contribuição no desenvolvimento dos experimentos;

A toda a equipe do Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Vegetal do INPA pelos momentos de alegria, durante os dias que convivemos;

A toda a equipe do Laboratório de Cultura de Tecidos de Plantas da UFAM pelos momentos de alegria, pela amizade, apoio, colaboração e compreensão;

Aos colaboradores de campo Nascimento, Claudomiro e Nei (UFAM), pelo esforço no preparo e cuidado com as mudas;

Aos colaboradores Wilson (Laboratório de microscopia eletrônica) e Jorge (Laboratório de anatomia da madeira), pela dedicação e amizade;

Aos parabolotânicos Edmilson e Cunha, pela colaboração na coleta de plantas.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

A diversidade vegetal amazônica é uma fonte potencial de recursos biológicos, com inúmeras possibilidades de aplicação. Neste contexto, destacam-se espécies da família Lauraceae que possuem elevado valor econômico, dentre as quais, espécies aromáticas como *Aniba rosaeodora* Ducke (pau-rosa) e *Aniba canelilla* (Kunth) Mez. (casca-preciosa). O valor econômico de *A. rosaeodora* resultou na exploração não planejada da espécie, levando-a ao risco de extinção. Apesar da importância econômica de plantas aromáticas, ainda existe pouco conhecimento quanto à fisiologia e as características bioquímicas dessas espécies. Assim, o objetivo desse trabalho foi investigar as variações nas características fisiológicas e nas concentrações de óleos voláteis em folha, caule e raiz de plantas jovens de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* quando submetidas, separadamente, a diferentes condições de disponibilidade hídrica e de irradiância. Para tanto, foram realizados dois experimentos: Experimento I - “Efeito de diferentes condições de disponibilidade hídrica sobre o crescimento, biossíntese de óleos voláteis e o acúmulo de biomassa, em diferentes segmentos de plantas jovens de *Aniba canelilla* (Kunth) Mez e de *Aniba rosaeodora* Ducke”; e o Experimento II - “Efeito de níveis contrastantes de luz sobre as trocas gasosas, eficiência fotoquímica do fotossistema II e biossíntese de óleos voláteis em diferentes segmentos de plantas jovens de *Aniba canelilla* (Kunth) Mez e *Aniba rosaeodora* Ducke”. No experimento I, as plantas foram cultivadas em casa de vegetação e submetidas a quatro regimes de rega ($n=10$): T_0 = controle, com irrigação homogênea diária; e T_8 , T_{16} e T_{24} = suspensão de rega por 8, 16 e 24 dias, respectivamente. As plantas foram acompanhadas periodicamente por 35 dias de forma que, ao registrar-se fotossíntese igual a zero, por volta de 24 dias de suspensão de rega, as plantas foram reidratadas e avaliadas apenas as características referentes às trocas gasosas. Ao longo do experimento, apenas no tratamento controle e no de maior estresse hídrico (T_{24}), foram determinadas as trocas gasosas sob diferentes densidades de fluxos de fótons (PPFD), com o auxílio de um analisador de gás por infravermelho portátil (IRGA) de sistema aberto. Fotossíntese máxima ($A_{m\acute{a}x}$), respiração no escuro (R_d), irradiância de compensação (I_c), irradiância de saturação (I_s) e rendimento quântico aparente (ϕ_a) foram obtidos a partir de curvas de luz (PPFD: 0 a 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para cada espécie, ajustadas segundo o modelo exponencial. Para o monitoramento do efeito do estresse, a fotossíntese líquida (A), respiração no escuro (R_d), condutância estomática (g_s), transpiração (E) e déficit de pressão de vapor foliar (VPD_L) foram determinados a cada semana, de modo pontual,

ajustando-se a luminosidade do equipamento para 0 e 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Do mesmo modo, em T_0 e T_{24} , também foram analisadas as características de crescimento (altura, diâmetro, número de folhas, biomassa foliar, caulinar e radicular, e biomassa total da planta, área foliar específica e razão de massa foliar), e os teores de pigmentos cloroplastídicos (cl_a , cl_b , cl_t , c_{x+c}), carboidratos (C), óleos voláteis ao final do experimento. O potencial hídrico das plantas (ψ_w) foi avaliado na antemanhã e ao meio-dia, enquanto as amostras para a determinação do conteúdo relativo de água (CRA) foram coletadas entre 11:00 e 13:00 h ao longo do experimento em todos os tratamentos até os 24 dias, porque a partir deste nível de estresse as condições das folhas limitaram algumas avaliações. No experimento II, as plantas foram submetidas a duas condições contrastantes de luz: T_S = sombreamento de 70% (intervalo de 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em viveiro, e T_L = pleno sol, com as plantas recebendo de 1300 a 1800 $\mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo acompanhadas durante um período de três semanas com o propósito de investigar as respostas fotossintéticas à transferência imediata de ambiente com baixa intensidade de irradiância para ambiente aberto de irradiância elevada. Para tal, variáveis relativas às características fotossintéticas (A , R_d), às trocas gasosas (g_s , C_i , E ,) e suas relações (EUA, EIUA), bem como à eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) foram verificadas na antemanhã e ao meio-dia, em três épocas no decorrer do experimento (início, meio e fim). A produção de óleos voláteis em toda a planta foi obtida ao final do experimento. Para o monitoramento do efeito do estresse, A , R_d , g_s , E foram determinados diariamente a cada semana, de modo pontual, ajustando-se a luminosidade do equipamento para 0 e 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Em geral, os efeitos do estresse sobre o potencial hídrico e o conteúdo relativo de água foram observados a partir de 16 dias de suspensão da rega ($p \leq 0,05$) e promoveram decréscimo nos teores de clorofila a , bem como o aumento nos teores de carboidratos ($p \leq 0,05$). A maior eficiência no uso da água em *Aniba canelilla*, torna esta espécie, relativamente, mais apta a tolerar ambientes com baixa disponibilidade hídrica. As espécies apresentaram maior teor de açúcar na raiz, sendo os teores de óleo maiores nas folhas. A baixa disponibilidade hídrica não alterou a produção e o particionamento de óleo nas duas espécies, mas ocorreu uma redução drástica de biomassa foliar, e uma maior alocação para o crescimento das raízes. Os danos irreversíveis nas folhas não impediram a recuperação das plantas e a retomada do crescimento ao fim de duas semanas de reidratação, quando começaram a surgir lançamentos foliares. As espécies exibiram semelhanças quanto à plasticidade do sistema fotossintético à mudança de ambiente lumínico, indicando boa capacidade de aclimação, contudo *A. rosaedora* se mostrou mais adaptada a ambientes de

elevada irradiância uma vez que manteve maior estabilidade das trocas gasosas e na produção de óleos voláteis. Enquanto que *A. canelilla* apresentou uma redução na produção de óleos sob elevada irradiância, embora o padrão de particionamento se mantenha inalterado.

ABSTRACT

The Amazon diversity of plants is a potential source of biological resources, with numerous possibilities for application. In this context, the family Lauraceae species that have high economic value, among them, aromatic species as *Aniba rosaeodora* Ducke (rosewood) and *Aniba canelilla* (Kunth) Mez. (casca-preciosa). The economic value of *A. rosaeodora* not resulted in the planned holding of the species, leading it to the risk of extinction. Despite the economic importance of tree, there is still little knowledge about the physiology and biochemical characteristics of these species. The objective of this work was to investigate changes in physiological characteristics and in concentrations of volatile oils in the leaves, stem and root of young plants, *Aniba rosaeodora* and *Aniba canelilla* when submitted separately in the different conditions of water availability and irradiance. For both, were conducted two experiments: Experiment I - "Effect of different conditions of water availability on growth, biosynthesis of volatile oils and accumulation of biomass in different segments of young plants, *Aniba canelilla* (Kunth) Mez and *Aniba rosaeodora* Ducke ", and Experiment II -" Effect of contrasting levels of light on gas exchange, photochemical efficiency of photosystem II and biosynthesis of volatile oils in different segments of young plants, *Aniba canelilla* (Kunth) Mez and *Aniba rosaeodora* Ducke. " In the experiment I, the plants were grown in a greenhouse and subjected to four irrigation schemes (n = 10): T₀ = control, irrigation with homogeneous daily, and T₈, T₁₆ and T₂₄ = suspension of irrigation for 8, 16 and 24 days, respectively. The plants were periodically monitored for 35 days so that by registering on photosynthesis zero, around 24 days of suspension of irrigation, and rewatered plants were evaluated for only the gas exchange. Throughout the experiment, only in the control and in that water stress (T₂₄), were determined gas exchange under different densities of flow of photons (PPFD), with the aid of a gas analyzer for portable infrared (IRGA), open system. Photosynthesis maximum (A_{máx}), respiration in the dark (R_d), irradiance of compensation (I_c), irradiance of saturation (I_s) and apparent quantum yield (φ_a) were obtained from curves of light (PPFD: 0 to 2000 μ mol m⁻² s⁻¹) for each species, adjusted according to the exponential model. For the monitoring of the effect of stress, the net photosynthesis (A), respiration in the dark (R_d), stomatal conductance (g_s), transpiration (E) and deficit of vapour pressure leaf (VPD_L) were determined to each week, so punctual, adjusting to the brightness of the equipment to 0 and 1000 μmol m⁻² s⁻¹. Similarly, in T₀ and T₂₄, were also analysed the characteristics of growth (height, diameter, number of leaves, leaf biomass, stem and root, and

total biomass of the plant, leaf area and specific reason of mass leaf), and levels of pigments chloroplastidics (chl a , chl b , chl t , carotenoids), carbohydrates (C), volatile oils the end of the experiment. The water potential of plants (ψ_w) was evaluated in predawn and at midday, while the samples for determining the relative water content (RWC) were collected between 11:00 and 13:00 pm during the experiment in all treatments until the 24 days, because from this level of stress conditions of the leaves some limited assessments. In the experiment II, the plants were subjected to two contrasting light conditions: T $_S$ = shading of 70% (range of 500 to 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), and T $_L$ = full sun, with the plants of receiving 1300 to 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and followed up for three weeks with the aim of investigating the response of photosynthesis to transfer immediate environment with low intensity of irradiance open environment for high irradiance. To this end, variables concerning the characteristics photosynthesis (A, R $_d$), the gas exchange (g $_s$, C $_i$, E,) and its relations (WUE, IWUE) and the photochemical efficiency of photosystem II (F $_v$ /F $_m$) were found in predawn and at noon, in three seasons during the trial (beginning, middle and end). The production of volatile oils throughout the plant was obtained at the end of the experiment. For the monitoring of the effect of stress, A, R $_d$, g $_s$, and were determined daily to each week, so punctual, adjusting to the brightness of the equipment to 0 and 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. In general, the effects of stress on the water potential and relative water content were observed from 16 days of suspension of irrigation ($p \leq 0.05$) and promoted decrease in the levels of chlorophyll, as well in levels of carbohydrates ($p \leq 0.05$). The greater efficiency in the increase use of water in *Aniba canelilla*, makes this specie, relatively, better able to tolerate environments with low water availability. The species had higher sugar content in the root, and the levels of oil higher in the leaves. The low water availability did not alter the production of oil and partitioning in the two species, but there was a drastic reduction of leaf biomass, and greater allocation to the growth of roots. The irreversible damage on the leaves, did not prevent the recovery of plants and the resumption of growth after two weeks of rehydration, when they began to emerge releases leaf. The species showed similarities between the plasticity of photosynthetic system to change the environment luminic, indicating good capacity for acclimatization, however *A. rosaeodora* was more suited to high-irradiance since remained more stable gas exchange and the production of volatile oils. While *A. canelilla* showed a reduction in the production of oil under high irradiance, although the pattern of partitioning remains unchanged.

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

- Tabela 1:** Fotossíntese líquida (A) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz acompanhadas durante três semanas (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) 61
- Tabela 2:** Respiração no escuro (R_d), ao longo de três semanas, em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). 62
- Tabela 3:** Condutâncias estomática (g_s) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 63
- Tabela 4:** Transpiração (E) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas. 65
- Tabela 5:** Eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 66
- Tabela 5:** Eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 67
- Tabela 7:** Eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) na antemanhã e ao meio-dia em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 69
- Tabela 8:** Rendimento de óleo volátil em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas 70

CAPITULO III

- Tabela 1:** Potencial hídrico (Ψ_w) de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T_0 : Controle; T_1 : suspensão de rega por oito dias; T_{16} : suspensão de rega por dezesseis dias; T_{24} : suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas, médias diárias 97
- Tabela 2:** Respiração no escuro (R_d), fotossíntese máxima ($A_{m\acute{a}x}$) e rendimento quântico aparente (ϕ_a) de plantas do tratamento-controle de casca-preciosa (*Aniba canelilla*) e pau-rosa (*Aniba rosaeodora*), obtidos por meio da aplicação dos dados de fotossíntese líquida à equação exponencial. $n = 4$ 98
- Tabela 3:** Fotossíntese máxima ($A_{m\acute{a}x}$), respiração no escuro (R_d), rendimento quântico aparente (ϕ_a), irradiância de compensação (I_c), irradiância de saturação (I_s), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência no uso da água (EUA) e eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) durante a mensuração das curvas de resposta à intensidade luminosa em plantas do tratamento-controle de casca-preciosa (*Aniba canelilla*) e pau-rosa (*Aniba rosaeodora*). $n = 4$ 99
- Tabela 4:** Respiração no escuro (R_d) obtidas em PPFD de $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 100
- Tabela 5:** Fotossíntese líquida (A) obtidas em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 102
- Tabela 6:** Condutância estomática (g_s) obtidas em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 104
- Tabela 7:** Transpiração (E) obtidas em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 106
- Tabela 8:** Carbono interno (C_i) obtidas em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas 108
- Tabela 9:** Eficiência no uso da água (EUA) obtidas em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas. 109
- Tabela 10:** Eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) obtidas em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas. 111

- Tabela 11:** Crescimento da altura do caule e do diâmetro, em cm, e em ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado), na época inicial. 112
- Tabela 12:** Crescimento da altura do caule e do diâmetro, em cm, e em ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado), na época final. 113
- Tabela 13:** Crescimento, em gramas, da biomassa da folha, caule e raiz em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado). 114
- Tabela 14:** Razão raiz/parte aérea (RPA), razão de peso foliar (RPF), matéria seca total da planta (MSP) e área foliar específica (AFE) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado). 115

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
HIPÓTESES	21
OBJETIVOS	22
<i>Geral</i>	22
<i>Específicos</i>	22
MATERIAL E MÉTODOS	23
<i>Condições experimentais</i>	23
<i>Determinação do potencial hídrico</i>	23
<i>Conteúdo relativo de água</i>	23
<i>Determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos</i>	24
<i>Determinação dos teores de carboidratos</i>	25
<i>Determinação do rendimento dos óleos voláteis</i>	25
<i>Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas</i>	26
<i>Análise de crescimento</i>	27
<i>Delineamentos experimentais e análises estatísticas</i>	27
1. CAPÍTULO I: Déficit hídrico e características bioquímicas de plantas jovens de <i>Aniba rosaeodora</i> Ducke e <i>Aniba canelilla</i> (Kunth) Mez (Lauraceae)	28
Resumo	28
1.1. INTRODUÇÃO	29
1.2. MATERIAL E MÉTODOS	32
<i>1.2.1. Condições experimentais</i>	32
<i>1.2.2. Determinação do potencial hídrico</i>	33
<i>1.2.3. Conteúdo relativo de água</i>	33
<i>1.2.4. Determinação dos teores de carboidratos</i>	33
<i>1.2.5. Determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos</i>	34
<i>1.2.6. Determinação do rendimento de óleos voláteis</i>	35
1.3. RESULTADOS	36
1.4. DISCUSSÃO	41
1.5. CONCLUSÃO	44
1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

ANEXOS 1	50
2. CAPÍTULO II: Resposta fotossintética à transferência imediata de ambiente lumínico em plantas jovens de <i>Aniba rosaeodora</i> Ducke e <i>Aniba canelilla</i> (Kunth) Mez (Lauraceae)	56
Resumo	56
2.1. INTRODUÇÃO	57
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	59
2.2.1. <i>Condições experimentais</i>	59
2.2.2. <i>Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas</i>	59
2.2.3. <i>Eficiência fotoquímica do fotossistema II</i>	60
2.2.4. <i>Determinação do rendimento de óleos voláteis</i>	60
2.3. RESULTADOS	62
2.4. DISCUSSÃO	73
2.5. CONCLUSÃO	77
2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS 2	82
3. CAPÍTULO III: Crescimento, trocas gasosas e potencial de água na folha em <i>Aniba rosaeodora</i> Ducke e <i>Aniba canelilla</i> (Kunth) Mez submetidas diferentes condições de disponibilidade hídrica.	91
Resumo	91
3.1. INTRODUÇÃO	92
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	95
3.2.1. <i>Local de estudo e condições de instalação do experimento</i>	95
3.2.2. <i>Determinação do potencial hídrico foliar</i>	96
3.2.3. <i>Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas</i>	96
3.2.4. <i>Análise de crescimento</i>	97
3.3. RESULTADOS	98
3.4. DISCUSSÃO	119
3.5. CONCLUSÃO	124
3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125
ANEXOS 3	131
CONCLUSÃO GERAL	138
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS	139

INTRODUÇÃO

As bases teóricas do conhecimento sobre espécies aromáticas da família Lauraceae vêm avançando, sobretudo, por meio de pesquisas com *Aniba rosaeodora* (pau-rosa), por duas principais razões, que são concernentes ao interesse econômico pelo óleo volátil e à necessidade de mitigar os prejuízos causados pela exploração predatória desta espécie. Nesse sentido, técnicas silviculturais têm sido desenvolvidas que, entre outros aspectos, otimizam o manejo de plantas adultas e as condições de cultivo de plantas jovens, visando proteger os poucos indivíduos remanescentes das populações naturais (Vieira *et al.*, 2000; Rosa *et al.*, 2001; Sampaio *et al.*, 2003; Gonçalves *et al.*, 2003; Barbosa *et al.*, 2005; Gonçalves *et al.*, 2005).

A importância destas espécies gera elevada demanda por informações em várias áreas do conhecimento, especialmente na silvicultura, fisiologia e fitoquímica, que podem contribuir com a preservação e uma exploração racional de seus produtos. Sabe-se que algumas iniciativas em diferentes áreas têm sido implementadas, como por exemplo, estudos sobre propagação e crescimento (Barbosa *et al.*, 2000; Sampaio *et al.*, 2003; Barbosa *et al.*, 2005); regeneração natural e silvicultura (Vieira *et al.*, 2000; Rosa *et al.*, 2001; Sampaio *et al.*, 2003); fenologia, no que tange aos aspectos reprodutivos da espécie (Spironello *et al.*, 2001; Spironello *et al.*, 2004); ecofisiologia, com estudos relacionados à produção de biomassa (Sampaio *et al.*, 2005) e respostas a estresses abióticos (Gonçalves *et al.*, 2003; Gonçalves *et al.*, 2005); fitoquímica, com trabalhos relativos às características químicas do óleo de *Aniba rosaeodora* (Cunha, 2002; Chaar *et al.*, 2003; Barata *et al.*, 2006; Lima 2006) e *Aniba canelilla* (Taveira *et al.*, 2002; Maia *et al.*, 2003, Lima *et al.*, 2004); economia, no que se refere ao uso sustentável de *Aniba rosaeodora* (May e Barata, 2004), entre outros estudos. No entanto, ainda existem muitas lacunas sobre produção, uso e sustentabilidade da cadeia produtiva das espécies de Lauraceae.

Este cenário abre perspectivas para o aprofundamento do conhecimento na área da ecofisiologia de espécies como *A. rosaeodora* e *A. canelilla*, pela posição que ocupam ou que podem ocupar, em consequência da utilização de seus produtos no mercado de óleos essenciais, com aplicações cada vez mais abrangentes que incluem as indústrias de cosméticos, perfumaria (May e Barata, 2004) e farmacêutica (Lahlou *et al.*, 2005).

Desta forma, o presente teve por objetivos analisar alguns aspectos relacionados ao comportamento ecofisiológico de plantas jovens de *A. rosaeodora* e *A. canelilla*, quando

submetidas a diferentes condições de disponibilidade hídrica e de irradiância. Assim, foram determinadas as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a*, o crescimento e a síntese de óleos voláteis objetivando de identificar mecanismos de ajustamento fisiológico para tolerância à seca e fotoproteção, bem como os impactos do estresse sobre a síntese de óleos nos diversos órgãos das plantas. Para tanto, foram realizados dois experimentos: Experimento I: “Efeito de diferentes condições de disponibilidade hídrica sobre o crescimento, biossíntese de óleos voláteis e o acúmulo de biomassa, em diferentes segmentos de plantas jovens de *Aniba canelilla* (Kunth) Mez e *Aniba rosaeodora* Ducke”; e Experimento II: “Efeito de níveis contrastantes de luz sobre as trocas gasosas, eficiência fotoquímica do fotossistema II e biossíntese de óleos voláteis em diferentes segmentos de plantas jovens de *Aniba canelilla* (Kunth) Mez e *Aniba rosaeodora* Ducke”.

A expectativa é que o conjunto de informações presentes nos três capítulos desta tese possa contribuir para o esclarecimento da fisiologia de plantas jovens das duas espécies de Lauraceae estudadas, assim como obter conhecimentos com potencial de aplicabilidade no sistema de produção dessas espécies, como por exemplo, as análises de crescimento e os teores de óleos voláteis das plantas quando submetidas a diferentes condições de disponibilidade hídrica e de irradiância.

HIPÓTESES

As hipóteses consistem nos pressupostos efeitos dos fatores abióticos sobre as alterações funcionais nas plantas. Isto é, como ocorre e em qual intensidade os efeitos de diferentes regimes de disponibilidade hídrica e de irradiância modificam o acúmulo de biomassa, as trocas gasosas e a síntese de metabólitos primários e/ou secundários em plantas de *Aniba rosaeodora* Ducke e *Aniba canelilla* Mez, espécies de Lauraceae, durante a fase juvenil. Assim, estas hipóteses prevêm que, independentemente das espécies estudadas pertencerem ao mesmo grupo taxonômico, haverá respostas inter-específicas diferenciadas, quanto ao regime hídrico aplicado e as diferentes condições de irradiância, que implicarão em mudanças fisiológicas com reflexos sobre o crescimento, as características fotossintéticas e a síntese dos óleos voláteis distintos entre as duas espécies.

OBJETIVOS

Geral

Investigar as alterações fisiológicas, o crescimento e as alterações nos metabolismos primário e secundário, particularmente, na síntese dos carboidratos e dos óleos voláteis (terpenos), em plantas jovens das espécies de Lauraceae, *Aniba rosaeodora* Ducke e *Aniba canelilla* (Kunth) Mez, quando submetidas a diferentes condições de disponibilidade hídrica e irradiância.

Específicos

- Estudar as relações entre os fatores abióticos, sobre os aspectos de crescimento (alometria) das plantas, expressos a partir das mudanças na produção de biomassa;
- Analisar a eficiência fotossintética de plantas jovens das espécies em questão (fotossíntese máxima, respiração no escuro, rendimento quântico aparente, irradiância de compensação e de saturação);
- Quantificar os teores de pigmentos cloroplastídicos (clorofilas *a* e *b* e carotenóides) e determinar a eficiência fotoquímica do fotossistema II;
- Caracterizar os efeitos dos níveis de luz, das condições hídricas sobre os teores de óleos voláteis, nas plantas das espécies estudadas;
- Determinar o teor dos óleos voláteis em diferentes segmentos (raiz, caule e folhas), de plantas jovens das espécies de Lauraceae.

MATERIAL E MÉTODOS

Condições experimentais

O estudo foi conduzido em regime de casa de vegetação, situada na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias, no Mini-Campus da Universidade Federal do Amazonas - UFAM (3°09', 59°97W). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Afi, com temperatura média anual de 27°C±5 e precipitação anual em torno de 2200 mm, com período seco de junho a novembro (precipitação mensal < 100mm) e chuvoso de dezembro a maio (precipitação > 300mm). Internamente, a casa de vegetação apresentou microclima com temperatura média de 32°C (máxima de 39°C±1 e mínima de 26°C±1), luminosidade média de 1100±250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e umidade relativa média de 35±5%. A temperatura, a densidade de fluxo de fótons e a umidade relativa na casa de vegetação foram determinadas com o auxílio de porômetro portátil (Steady State Porometer- modelo LI- 1600M), ao longo do dia, durante todo o experimento. Plantas jovens de regeneração natural de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e de casca-preciosa (*Aniba canelilla* (Kunth) Mez), medindo cerca de 20 cm, foram coletadas na Reserva Florestal Adolpho Ducke (Rodovia AM-010, Km 26 – Manaus/AM) e mantidas em viveiros com sombreamento de 50% da energia luminosa incidente. Durante este período, todas as plantas foram irrigadas diariamente até a capacidade de campo.

Determinação do potencial hídrico

O estado hídrico das duas espécies estudadas foi obtido a partir do potencial de água na folha (Ψ_w) na antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio-dia (Ψ_{md}), utilizando-se bomba de pressão tipo Scholander (Scholander *et al.*, 1965). Folhas de dez indivíduos foram coletadas e individualmente acondicionadas na bomba de pressão, sendo submetidas a pressões até ocorrer a exsudação pelo pecíolo da folha – momento em que foi realizada a leitura das pressões exercidas no interior da câmara, leituras estas convertidas em potencial hídrico (Turner, 1981).

Conteúdo relativo de água

O conteúdo relativo de água (CRA) nas plantas foi monitorado a cada semana no

período de maior demanda evaporativa (entre 11:00 e 13:00 h). As folhas coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos úmidos e, em seguida, transportadas sob refrigeração para pesagem no laboratório. O CRA foi obtido por meio da pesagem das massas fresca (MF), túrgida (MT) e seca (MS) de 20 discos foliares, sendo determinado pela equação: $CRA = (MF - MS) / (MT - MS) \times 100\%$, onde MF, MS e MT correspondem, respectivamente, à massa fresca, à massa seca e à massa túrgida dos discos foliares (Pimentel *et al.*, 2002).

Determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos

A determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos foi realizada em folhas completamente expandidas e sadias do ponto de vista fitossanitário, situadas no terço médio das plantas. Em cada tratamento foram coletadas duas folhas por planta para compor uma repetição, contendo cinco indivíduos por tratamento. A extração dos pigmentos foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Lichtenthaler e Wellburn (1983). Para cada indivíduo, 0,1g de material vegetal fresco oriundo dos discos foliares foi homogeneizado em 10mL de acetona (100% v/v) e, posteriormente, em 10 mL de uma solução de acetona (80% v/v) contendo $MgCO_3$ (0,5% p/v). Em seguida, o extrato obtido foi filtrado em papel filtro qualitativo nº 01.

A partir desse extrato filtrado, as leituras espectrofotométricas foram realizadas nos seguintes comprimentos de onda (λ): 663 nm, 645 nm, e 480 nm, para clorofila *a* (Cla), clorofila *b* (Clb) e carotenóides, respectivamente. O cálculo das concentrações dos pigmentos cloroplastídicos com base na massa foliar ($\mu\text{mol g}^{-1}$) foi realizado de acordo com as equações descritas por Hendry e Price (1993), onde:

$$\text{Clorofila } a \text{ } (\mu\text{mol g}^{-1}) = (12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times 1,119 \times V / 1000 \times \text{unidade de massa (g)} \quad (1)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ } (\mu\text{mol g}^{-1}) = (22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times 1,102 \times V / 1000 \times \text{unidade de massa (g)} \quad (2)$$

$$\text{Carotenóides } (\mu\text{mol g}^{-1}) = (A_{480} + 0,114 \times A_{663} - 0,638 \times A_{645}) \times V / 1000 \times 112,5 \times \text{unidade de massa (g)} \quad (3)$$

Nestas equações, A corresponde à absorvância no comprimento de onda indicado e V é o volume final do extrato clorofila-acetona (mL).

A concentração de clorofila total (Cla + Clb) e a razão clorofila *a* / clorofila *b* (Cla/b)

também foram determinadas.

Determinação dos teores de carboidratos

Os teores de carboidratos foram determinados em folhas coletadas pela manhã segundo a metodologia de Passos (1996). O teor de açúcares solúveis totais foi obtido a partir de 0,1 g do material vegetal fresco, macerado em solução de Metanol-Clorofórmio-Água (120-50-30; v/v). Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 10000 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi purificado em solução bifásica de clorofórmio-água (15:15), sendo recuperada a parte da solução purificada (sem lipídeos e clorofilas), isto é, o extrato aquoso, para a determinação da concentração de açúcares totais. Adicionalmente, para a extração do amido, o sedimento foi ressuspensionado em 10 mL de ácido perclórico 35% (v/v) e centrifugado a 10.000 rpm durante 15 min, a 25°C, recolhendo-se o sobrenadante.

Os teores de açúcares solúveis e de amido foram quantificados pelo método da antrona e os resultados determinados por espectrofotometria a 625 nm, utilizando a glicose (Sigma) como padrão, segundo Morris (1948).

Determinação do rendimento de óleos voláteis

As plantas foram coletadas e seccionadas em raiz, caule e folhas e acondicionadas em sacos de papel, para posterior secagem em estufa a 40°C até massa constante. Os óleos essenciais foram extraídos por hidrodestilação de acordo com a metodologia descrita por Clevenger (1928). Para proceder a extração em sistema Clevenger, o material vegetal foi triturado em moinho Watman®, obtendo-se partículas com tamanhos de 0,075 a 2,00mm. Para cada extração foram pesadas três amostras de cada órgão, obtidas de uma amostra única. Tais amostras foram acondicionadas em balões de fundo redondo de 1000 mL com 500 mL de água destilada e seis pedras de ebulição. A extração foi realizada durante 3,5 horas, mantendo-se a temperatura em 100°C. Os óleos obtidos foram armazenados em frascos de vidro sob refrigeração, para evitar perdas de constituintes voláteis. O rendimento de óleos voláteis (ROV) foi calculado a partir da porcentagem do volume de óleo capturado pela massa da amostra (Chaar, 2000).

Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas

A determinação das taxas de fotossíntese líquida (A), respiração no escuro (R_d), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) foi realizada em quatro indivíduos por tratamento utilizando-se analisador de gás infravermelho (IRGA) portátil, de sistema aberto, modelo LI-COR 6400, conforme metodologia descrita por Marengo *et al.* (2001). Os dados foram coletados entre 9:00 e 11:00 h, em folhas completamente expandidas, situadas no terço médio das plantas e com aspectos fitossanitários adequados. Para cada tratamento, foi selecionada uma folha por planta para compor a repetição sendo realizadas 10 leituras por folha. Os dados da curva de resposta fotossintética à intensidade luminosa foram obtidos para uma densidade de fluxo de fótons (PPFD) entre 0 e 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e o aparelho ajustado para funcionar com concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, $31 \pm 1^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente. A irradiância utilizada foi proveniente da fonte de luz diodo (LED) vermelho-azul – modelo 6400-02, LI-COR. Após o ajuste do equipamento, cada folha passou por um período de adaptação de 10 a 15 min. Em seguida os dados foram coletados à medida que as folhas eram submetidas às novas condições luminosas, iniciando-se a coleta a $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com a determinação da respiração no escuro (R_d), e aumentando-se gradativamente até $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Os dados, obtidos no modo manual, foram posteriormente ajustados utilizando-se o modelo da equação exponencial (Iqbal *et al.*, 1997), com o auxílio do programa Statistica 6.0 versão Windows (StatSoft, Inc., Tulsa, USA):

$$A = (A_{\text{máx}} + R_d) [1 - \exp(-\phi_a I / (A_{\text{máx}} + R_d))] - R_d$$

Nesta equação, A representa a fotossíntese líquida, $A_{\text{máx}}$ representa a fotossíntese máxima sob condições de luz saturante ($I \rightarrow \infty$), I representa a intensidade luminosa. Assim, além da taxa de fotossíntese máxima ($A_{\text{máx}}$), a irradiância de compensação (I_c) e a de saturação (I_s) foram estimadas a partir da curva da equação exponencial.

De forma pontual, os dados de fotossíntese líquida e trocas gasosas foram obtidos para uma densidade de fluxo de fótons (PPFD) de $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (respiração no escuro) e de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (fotossíntese líquida) e o aparelho ajustado para funcionar com concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, $31 \pm 1^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente. A eficiência no uso da água ($\text{EUA} = A/E$) e a eficiência intrínseca no uso

da água ($EIUA = A/g_s$) foram calculadas a partir dos valores de fotossíntese líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) determinados com o auxílio do IRGA.

Análise de crescimento

As taxas de crescimento absoluto em comprimento do caule (H), em diâmetro (D) e em área foliar (AF) e o ganho foliar (GF) foram calculados conforme Benincasa (1986): $(NFN/NOF) \cdot [100/(T)]$, onde NFN é o número de folhas novas, e NFO é o número de folhas originais. O crescimento absoluto em massa foliar (MF), em massa caulinar (MC), em massa radicular (MR) e em massa da planta (MP) foram determinados segundo Bugbee (1996): $CA_m = (MS_f - MS_i)/T$, onde MS é a massa inicial (i) e final (f) das partes da planta. A área foliar total (AFT) foi mensurada com o auxílio do medidor de área foliar (LiCOR 3000a), sendo obtidas a partir de 10 folhas/tratamento. A razão de peso foliar (RPF) e a área foliar específica foram obtidas pelas seguintes equações: $RPF = MF/MP$ (onde MF é a massa foliar seca e MP é a massa total da planta); $AFE = AF/MF$ (onde AF é a área foliar, sendo realizada a partir de discos foliares de área conhecida), respectivamente. Todas as variáveis de crescimentos foram obtidas em dez plantas por tratamento.

Delineamento experimental e análises estatísticas

O delineamento experimental utilizado, para os dois experimentos, foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial, com dez repetições. No Experimento I, o fatorial 2 x 4 correspondeu a duas espécies (*A. rosaeodora* e *A. canelilla*) e quatro condições de disponibilidade hídrica (T_0 , T_8 , T_{16} e T_{24}). No experimento II, o fatorial 2 x 2 correspondeu a duas espécies (*A. rosaeodora* e *A. canelilla*) e dois níveis de irradiância (70% e pleno sol). Cada repetição se constituiu em um indivíduo distribuído ao acaso na casa-de-vegetação (experimento I), e em viveiro e ambiente aberto (experimento II).

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As análises foram realizadas utilizando-se os pacotes estatísticos “Statistica 6.0” e SAS.

1. CAPÍTULO I

DÉFICIT HÍDRICO E CARACTERÍSTICAS BIOQUÍMICAS DE PLANTAS JOVENS DE *Aniba rosaeodora* Ducke E *Aniba canelilla* (Kunth) Mez (LAURACEAE)

Resumo

A limitação hídrica além de se caracterizar como fator seletivo para abundância e distribuição das plantas nos diversos ecossistemas também é, sem dúvida, o maior limitante ao bom desempenho das plantas. Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos da disponibilidade hídrica na fisiologia de plantas jovens de *A. canelilla* (casca-preciosa) e *A. rosaeodora* (pau-rosa), na tentativa de esclarecer os mecanismos relacionados às alterações no metabolismo primário e secundário em plantas jovens de *A. canelilla* e *A. rosaeodora* quando submetidas à supressão da irrigação. Para tanto, as espécies foram acompanhadas periodicamente por cinco semanas, sendo a última destinada à reidratação, e analisadas quanto ao seu estado hídrico foliar. As plantas foram cultivadas em casa de vegetação e submetidas a quatro regimes de rega (n=10): T₀ = controle, com irrigação homogênea diária; e T₈, T₁₆ e T₂₄ = suspensão de rega por 8, 16 e 24 dias, respectivamente. Ao longo deste período foram avaliados a eficiência quântica do fotossistema II (F_v/F_m) e o potencial hídrico foliar (Ψ_w), periodicamente, na antemanhã e ao meio-dia. No início e no fim do experimento avaliaram-se, somente no tratamento-controle (T₀) e no de maior estresse hídrico (T₂₄), os teores de pigmentos cloroplastídicos, carboidratos, óleos. Em geral, houve redução em Ψ_w e CRA a partir de 16 dias de suspensão da rega (p≤0,05). Tal condição promoveu redução em Cla, e aumento em C (p≤0,05). As espécies apresentaram maior teor de açúcar na raiz. Estes resultados indicaram que em condições de cultivo, as plantas podem suportar, sem comprometimento dos processos fisiológicos, eventual falta de água por períodos de até 16 dias.

1.1. INTRODUÇÃO

A água é o principal componente protoplasmático na célula vegetal madura, podendo chegar a 70 – 90% da massa fresca. Assim variações do conteúdo hídrico em resposta a flutuações diárias ou sazonais, em geral, desencadeiam ajustes e/ou adaptações celulares. Portanto, a água é considerada o principal fator abiótico a influenciar o desenvolvimento das plantas em ecossistemas naturais e agrícolas (Meneses *et al.*, 2006).

O estado hídrico de plantas pode ser monitorado por vários métodos, entre os quais se destaca a metodologia desenvolvida por Scholander *et al.* (1965), que indica as variações da energia livre da água na planta impostas pelas condições da atmosfera e pela disponibilidade de água no solo. Desta forma, medidas tomadas antes do nascer do sol (antemanhã) informam sobre a turgescência máxima em relação à água disponível, enquanto que dados obtidos no horário de maior demanda evaporativa (meio-dia) representam a turgescência mínima.

Outro método muito usado para o acompanhamento do grau de hidratação da planta é o teor relativo de água (Sinclair e Ludlow, 1985). Esta variável representa o teor de água dos tecidos em relação ao teor correspondente à turgescência máxima (Duarte-Maçãs, 2003). O potencial hídrico foliar e o teor relativo de água são interdependentes na medida em que os componentes do potencial hídrico sofrem influência do volume de água na célula (Bradford e Hsiao, 1982).

As limitações decorrentes do estresse hídrico resultam da desidratação celular, que impõe modificações em nível de ultra-estrutura e composição química (Kültz, 2005). Quase sempre, estas mudanças implicam alterações prejudiciais na estrutura e função das membranas, podendo conduzir a um colapso de organelas e reorganização do tonoplasto (Giles *et al.*, 1976). Nesse sentido, efeitos nas membranas cloroplastídicas podem resultar na inativação do fotossistema II, em alterações na biossíntese de clorofilas (Le Lay *et al.*, 2001), lipídios (Gigon *et al.*, 2004) e das proteínas (Navari-Izzo, 2000) e no metabolismo de carboidratos (Kim *et al.*, 2000). Muitas destas implicações estão relacionadas à integridade do cloroplasto, visto que é o local de síntese de boa parte dos compostos do metabolismo primário e secundário.

As respostas de plantas à dissecação dependem de vários mecanismos moleculares que estão relacionadas à tolerância ao estresse, como da expressão de proteínas LEA (Late Embryogenesis Abundant), ação do ABA e, especialmente, do metabolismo dos açúcares, uma vez que representam uma fonte de energia disponível para atender ao aumento da

demanda energética em condição de estresse e por atuarem no ajustamento osmótico (Ingram e Bartels, 1996). Nesta condição, o amido é degradado, aumentando a quantidade de açúcares solúveis na célula (Chaves-Filho e Stacciarini-Seraphin, 2001). Entretanto, o ajustamento osmótico também pode ser resultado do aumento de moléculas neutralizadoras de radicais livres, visto que o estresse hídrico altera o equilíbrio oxidativo/reutivo em muitas organelas, como nos cloroplastos (Nepomuceno *et al.*, 2001; Reddy *et al.*, 2004). O ajustamento osmótico assegura a manutenção da turgescência por meio da retenção de água (Jamaux *et al.*, 1997), garante o funcionamento de processos fisiológicos básicos, como a fotossíntese, e permite a redistribuição de carbono e nitrogênio, mesmo que a atividade de tais processos esteja reduzida (Kobata *et al.*, 1992; Palta *et al.*, 1994).

Associado à desidratação está o estresse por temperatura, que contribui para a desestruturação das membranas celulares (Hüve *et al.*, 2006; Rennenberg *et al.*, 2006) e em alterações no metabolismo de isoprenos, compostos precursores dos constituintes de óleos voláteis relacionados, principalmente, à proteção conferida à membrana durante o estresse por altas temperaturas (Sharkey *et al.*, 2001).

Estudos que investigam as principais fontes de carbono para a síntese de isoprenos em plantas sob estresse hídrico relatam incremento da importação de carbono de raízes e caules em direção as folhas (Funk *et al.*, 2004). Este mecanismo pode representar uma fonte de carbono para a produção de isopreno, no sentido de compensar a depleção do carbono prontamente disponível da fotossíntese que, em condições não-estressadas, representa cerca de 80% do carbono utilizado (Funk *et al.*, 2004).

A biossíntese de óleos voláteis é altamente integrada a aspectos fisiológicos, como a ontogenia e a disponibilidade de metabólitos precursores, bem como a aspectos ecológicos como sazonalidade, temperatura, luz, água, nutrientes e interações com organismos (Baldwin, 2006; Hines, 2006).

No que se refere às alterações metabólicas associadas aos fatores abióticos, alguns trabalhos têm associado situações de estresse ao incremento da produção de compostos do metabolismo secundário, visto que estas substâncias são responsáveis pela interação da planta com o ambiente (Kutchan, 2001; Gouinguéné e Turlings, 2002). Entretanto, estas respostas estão sob regulação bastante complexa, que perpassa a expressão gênica, a ativação enzimática, razão substrato/carbono, disponibilidade de ATP e o estado redox das células (Kuhn *et al.*, 2004).

Considerando que os óleos voláteis são amplamente usados pelas indústrias

farmacêuticas, de cosméticos e de perfumarias, as lauráceas do gênero *Aniba* destacam-se no conjunto de plantas aromáticas da Amazônia, especialmente *A. rosaeodora* (pau-rosa) cujo óleo volátil compõe seletivo grupo de óleos comercialmente explorados nos últimos 100 anos (Barata e May, 2004). A exploração predatória de *A. rosaeodora* resultou no risco de extinção da espécie (Maia, 2008). A preocupação com o grau de exploração não-sustentável também se estende à *A. canelilla* (casca-preciosa), outra produtora de óleo volátil de aroma agradável, espécie com potencial para ser utilizada em indústrias de cosmético e perfumaria.

Desta forma, a exploração racional dos produtos oriundos dessas espécies demanda por investigações em várias áreas do conhecimento, especialmente na silvicultura, fisiologia e fitoquímica, que podem contribuir para a preservação e exploração racional de seus produtos, estabelecendo uma cadeia produtiva sustentável.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos da disponibilidade hídrica sobre respostas fisiológicas relacionadas ao metabolismo primário e secundário, assim como à eficiência fotoquímica de plantas jovens de *A. canelilla* e *A. rosaeodora*.

1.2. MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1. Condições experimentais

O estudo foi conduzido em casa de vegetação situada na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias, no Mini-Campus da Universidade Federal do Amazonas - UFAM (3°09', 59°97W), onde o clima é do tipo Af_i segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 27°C±5 e a precipitação anual em torno de 2200 mm, com período seco de junho a novembro (precipitação mensal < 100mm) e chuvoso de dezembro a maio (precipitação > 300mm). Na casa de vegetação, o microclima exibia temperatura média de 32°C (máxima de 39°C±1 e mínima de 26°C±1), luminosidade média de 1100±250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e umidade relativa média de 35±5%. A temperatura, a densidade de fluxo de fótons e a umidade relativa no viveiro foram determinadas com o auxílio de porômetro portátil (Steady State Porometer- modelo LI- 1600M), ao longo do dia, durante todo o experimento. Plantas jovens de regeneração natural de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e de casca-preciosa (*Aniba canelilla* (Kunth) Mez), medindo cerca de 20 cm, foram coletadas na Reserva Florestal Adolpho Ducke (Rodovia AM-010, Km 26 – Manaus/AM) e mantidas durante 60 dias em viveiros com sombreamento de 50% da irradiância incidente, para seu estabelecimento. Durante este período, todas as plantas foram irrigadas diariamente até a capacidade de campo. Após esse período, as plantas jovens de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* utilizadas no experimento foram selecionadas quanto à uniformidade de altura (cerca de 24±5 cm) e estado fitossanitário. Por último, foram transplantadas para substrato composto por mistura de terriço e areia (2:1 v/v) em vasos plásticos, com capacidade para 10 Kg, sendo mantidas sob condições controladas de casa de vegetação. As mudas foram submetidas a quatro tratamentos de disponibilidade hídrica, subdivididos no tempo (n=10): T₀) tratamento-controle, com irrigação homogênea diária, T₈) suspensão de rega por 8 dias, T₁₆) suspensão de rega por 16 dias e T₂₄) suspensão de rega por 24 dias. Após cada período de suspensão da rega, as plantas foram reidratadas. Dessa forma, os tratamentos foram acompanhados durante cinco semanas, sendo a última semana referente às plantas reidratadas. O potencial hídrico (Ψ_w) e o conteúdo relativo de água (CRA) das espécies foram mensurados para cada tratamento. Os teores de pigmentos cloroplásticos, carboidratos e óleos foram determinados somente no início (T₀) e no fim do experimento (T₂₄).

1.2.2. Determinação do potencial hídrico

O estado hídrico das espécies foi obtido a partir do potencial hídrico foliar (Ψ_w) na antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio-dia (Ψ_{md}), utilizando-se bomba de pressão tipo Scholander (Scholander *et al.*, 1965). Folhas de dez indivíduos foram coletadas e acondicionadas individualmente na bomba de pressão, onde foram aplicadas pressões até ocorrer a exsudação pelo pecíolo da folha – neste momento foi feita a leitura (Turner, 1981).

1.2.3. Conteúdo relativo de água

O conteúdo relativo de água (CRA) nas plantas foi monitorado a cada semana no período de maior demanda evaporativa, entre 11:00 e 13:00 h. Para a determinação do CRA, duas folhas foram coletadas de cada planta, e imediatamente acondicionadas em sacos plásticos úmidos, sendo em seguida, transportadas sob refrigeração para pesagem no laboratório de Cultura de Tecidos de Plantas – UFAM. O CRA foi obtido segundo a metodologia descrita por Pimentel *et al.* (2002), por meio da pesagem da massa fresca (MF), túrgida (MT) e seca (MS) de 20 discos foliares, sendo determinado pela equação: $TRA = (MF - MS) / (MT - MS) \times 100\%$.

1.2.4. Determinação dos teores de carboidratos

Os teores de carboidratos foram determinados em folhas coletadas pela manhã segundo a metodologia de Passos (1996). O teor de açúcares solúveis totais foi obtido a partir de 0,1 g do material vegetal fresco, macerado em solução de metanol-clorofórmio-água (120:50:30; v/v/v). Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 10000 rpm durante 10 minutos. O sobrenadante foi purificado em solução bifásica de clorofórmio-água (15:15 v/v), sendo recuperada a parte da solução purificada (sem lipídeos e clorofilas) para a determinação da concentração de açúcares totais. Adicionalmente, para a extração do amido, o sedimento foi ressuspensionado em 10 mL de ácido perclórico 35% (v/v) e centrifugado a 10.000 rpm durante 15 min, a 25°C, recolhendo-se o sobrenadante.

Os teores de açúcares solúveis e de amido foram quantificados pelo método da antrona (Morris, 1948), utilizando-se a glicose (Sigma) como padrão, sendo determinados por espectrofotometria no comprimento de onda de 625 nm.

1.2.5. Determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos

A determinação dos teores de pigmentos cloroplastídicos foi realizada em folhas completamente expandidas e sadias do ponto de vista fitossanitário, situadas no terço médio das plantas. Em cada tratamento foram coletadas duas folhas por planta para compor uma repetição, em cinco indivíduos por tratamento. A extração dos pigmentos foi realizada de acordo com a metodologia de Lichtenthaler e Wellburn (1983). Para cada indivíduo, 0,1g de material vegetal fresco oriundo dos discos foliares foi homogeneizado em 10 mL de acetona (100% v/v) e, posteriormente, em 10 mL de uma solução de acetona (80% v/v) contendo MgCO₃ (0,5% p/v). Em seguida, o extrato obtido foi filtrado em papel filtro qualitativo nº 1. A partir desse extrato filtrado, os teores de pigmentos foram determinados por meio das absorvâncias, obtidas com o uso de espectrofotômetro, nos seguintes comprimentos de onda (λ): 663nm e 645nm e 480nm, para clorofila *a* (Cla), clorofila *b* (Clb) e carotenóides (C_{x+c}), respectivamente. O cálculo das concentrações dos pigmentos cloroplastídicos com base na massa foliar ($\mu\text{mol g}^{-1}$) foi realizado de acordo com as equações descritas por Hendry e Price (1993), onde:

$$\text{Clorofila } a \text{ } (\mu\text{mol g}^{-1}) = \frac{(12,7 \times A_{663} - 2,69 \times A_{645}) \times 1,119 \times V}{1000 \times \text{unidade de massa (g)}} \quad (1)$$

$$\text{Clorofila } b \text{ } (\mu\text{mol g}^{-1}) = \frac{(22,9 \times A_{645} - 4,68 \times A_{663}) \times 1,102 \times V}{1000 \times \text{unidade de massa (g)}} \quad (2)$$

$$\text{Carotenóides } (\mu\text{mol g}^{-1}) = \frac{(A_{480} + 0,114 \times A_{663} - 0,638 \times A_{645}) \times V}{1000 \times 112,5 \times \text{unidade de massa (g)}} \quad (3)$$

Nestas equações, A corresponde à absorvância no comprimento de onda usado e V é o volume final do extrato clorofila – acetona (mL).

A concentração de clorofila total (Cla + Clb), a razão clorofila *a* / clorofila *b* (Cla/b), assim como a razão clorofila total/carotenóides foram determinadas.

1.2.6. Determinação do rendimento de óleos voláteis

Todos os indivíduos amostrados foram coletados e seccionados em raiz, caule e folhas e acondicionadas em sacos de papel. Posteriormente, este material biológico foi secado em estufa a 40°C até peso constante. Os óleos essenciais foram extraídos por hidrodestilação de acordo com a metodologia descrita por Clevenger (1928). Para proceder a extração em sistema Clevenger, o material vegetal foi triturado em moinho Watman®, obtendo-se partículas com tamanhos de 0,075 a 2,00 mm. Para cada extração foram pesadas três amostras de cada órgão, obtidas de uma amostra única. Tais amostras foram acondicionadas em balões de fundo redondo de 1000 mL com 500 mL de água destilada e seis pedras de ebulição. A extração foi realizada durante 3,5 horas, mantendo-se a temperatura em 100°C, sendo o rendimento de óleos voláteis (ROV) calculado a partir da porcentagem do volume de óleo capturado pela massa da amostra (Chaar, 2000).

1.3. RESULTADOS

O potencial hídrico (Ψ_w), em média, diferiu entre horário (antemanhã e meio-dia), espécies e tratamentos, ocorrendo, também, interação espécie *versus* tratamento ($p \leq 0,01$) (Figura 2, Tabela 1).

A média de Ψ_w para os horários foi de $-1,3 \pm 1,6$ MPa na antemanhã e de $-2,3 \pm 1,4$ MPa ao meio-dia (Figura 2). A média de Ψ_w em *Aniba canelilla* ($-1,8 \pm 1,5$ MPa) foi maior que em *Aniba rosaeodora* ($-2,1 \pm 1,6$ MPa) (Tabela 2). Os tratamentos, T₀ ($-1,0 \pm 0,8$ MPa) e T₈ ($-1,1 \pm 0,8$ MPa) tiveram Ψ_w semelhante e menos negativo em relação a T₁₆ ($-2,0 \pm 1,2$ MPa) e T₂₄ ($-4,4 \pm 1,3$ MPa), que diferiram entre si (Figura 2, Tabela 1).

Em geral, o Ψ_w apresentou amplitude de valores na faixa de $-0,05$ MPa a $-6,0$ MPa, variando de $-0,15$ MPa a $-5,0$ MPa na antemanhã, e de $-1,1$ MPa a $-6,0$ MPa ao meio-dia (Figura 2). Nas espécies, a variação foi de $-0,15$ MPa a $-6,0$ MPa em *A. canelilla* e de $-0,05$ MPa a $-6,0$ MPa em *A. rosaeodora* (Figura 2). Considerando os tratamentos, o Ψ_w apresentou valores que variaram de $-0,05$ MPa a $-6,0$ MPa (Figura 2). Em T₀, o Ψ_w variou $-0,05$ MPa a $-2,15$ MPa. Em T₈, o Ψ_w atingiu valores que foram de $-0,1$ MPa a $-2,6$ MPa; e em T₁₆, esses valores foram da ordem de $-0,3$ MPa a $-4,7$ MPa. Por último, os valores de Ψ_w em T₂₄ variaram de $-1,2$ MPa a $-6,0$ MPa (Figura 2).

Tabela 1: Potencial hídrico (Ψ_w) de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por dezesseis dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas. Média diária.

Tratamentos	Espécies		Médias (Tratamento)
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	
0	$-1,1 \pm 0,8aA$	$-0,9 \pm 0,8aA$	$-1,0 \pm 0,8a$
8	$-1,1 \pm 0,7aA$	$-1,2 \pm 0,9aA$	$-1,1 \pm 0,8a$
16	$-1,6 \pm 0,9aA$	$-2,7 \pm 1,3bB$	$-2,0 \pm 1,2b$
24	$-4,3 \pm 1,5bA$	$-4,6 \pm 0,9cA$	$-4,4 \pm 1,3c$
Média (Espécie)	$-1,8 \pm 1,5A$	$-2,1 \pm 1,6B$	$-1,9$

Médias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

Após oito dias de suspensão da rega, as plantas de ambas as espécies não demonstraram quaisquer modificações, sendo o Ψ_w obtido em T₈ semelhante a T₀ (Figura 1, Tabela 1). As espécies apresentaram Ψ_w semelhante em T₀, T₈ e T₂₄. Em T₁₆, o Ψ_w das folhas de *A. canelilla* foi menos negativo quando comparado ao Ψ_w das folhas de *A. rosaeodora*. Reduções no potencial hídrico só foram observadas a partir da terceira semana de suspensão da rega (T₂₄) em *Aniba canelilla*. Já em *A. rosaeodora*, a partir da segunda semana (T₁₆), tais alterações foram evidentes (Figura 2).

O conteúdo relativo de água (CRA) foi semelhante entre as espécies diferindo significativamente apenas entre tratamentos e condição (estressada *versus* reidratada) (Tabela 2, Figura 1). Ocorreram interações condição *versus* tratamento, espécies *versus* tratamento e espécie *versus* tratamento *versus* condição (Tabela 2).

Em *A. canelilla* e *A. rosaeodora*, o CRA foi, em média, 47,0% e 48,5% respectivamente. Os tratamentos apresentaram os seguintes valores percentuais médios: 61,7% (T₀), 60,9% (T₈); 48,3% (T₁₆) e 20,7% (T₂₄) (Tabela 2). As plantas submetidas à baixa disponibilidade hídrica tiveram CRA médio menor que as plantas reidratadas, sendo estes conteúdos de 41,5% e 53,9%, respectivamente (Tabela 2).

Em geral, CRA variou de 7,9% a 89,3% (Figura 1). Nas espécies, o CRA atingiu valores mínimos e máximos respectivos de 7,9% e 89,3% em *Aniba canelilla*, e de 10,2% a 89,3%, em *Aniba rosaeodora* (Figura 2). Nas plantas que sofreram suspensão da rega durante determinado período, o CRA variou de cerca de 10,9% a 69,2%. Essas mesmas plantas, quando reidratadas, tiveram CRA na faixa de 7,9% a 89,3% (Figura 2). No tratamento-controle (T₀), o teor relativo de água foi de 46,4% a 75,3%. Em T₈ e T₁₆, tal variação foi de 40,2% a 89,3% e de 17,9% a 75,1%, respectivamente. Já em T₂₄, CRA ficou na faixa de 7,5% a 40,1% (Figura 2).

No tratamento-controle (T₀) não foi observada diferenças entre as espécies, sendo que, ao término do experimento, o CRA foi maior (Tabela 2). Após uma semana de suspensão da rega (T₈), não se observou nenhuma mudança significativa nos CRA das plantas. Em T₈, *A. rosaeodora* apresentou menor teor de água que *A. canelilla* durante o período de suspensão da rega. Quando reidratadas, as mudas de T₈ apresentaram CRA médio mais elevado quando comparado como T₀. A diminuição do CRA em função da supressão de água ocorreu a partir de T₁₆, em ambas as espécies, sendo que *A. canelilla* apresentou menor CRA que *A. rosaeodora* em T₂₄. Neste tratamento, as mudas não tiveram recuperação de CRA após reidratação (Tabela 2).

Tabela 2: Conteúdo relativo de água (CRA) de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por dezesseis dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas.

Tratamentos	Condição				Médias (Tratamentos)
	Estressada		Reidratada		
	Espécies				
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	
0	55,9±3,9aB ²	53,9±6,0aB ²	64,6±7,9bA ¹	66,1±7,8abA ¹	61,7a
8	56,7±5,5aB ²	48,3±5,9aB ³	73,0±1,3aA ¹	74,8±6,1aA ¹	60,9a
16	30,3±6,3bB ²	27,2±6,7bB ²	65,7±5,7bA ¹	60,7±5,3bA ¹	48,3b
24	20,2±7,4cA ²	32,3±5,3bA ¹	14,7±5,9cA ²	16,9±7,9cB ²	20,7c

Médias	Espécie		Tratamentos		47,7
	<i>Aniba canelilla</i>	47,0 ¹	Estressada	41,5B	
	<i>Aniba rosaeodora</i>	48,5 ¹	Reidratada	53,9A	

Medias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, p≤0,05).

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre condição

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Os teores de pigmentos cloroplastídicos foram diferentes entre as espécies (Figura 2). Entre os tratamentos, somente os teores de clorofila *a* e de clorofila total diferiram (Figura 2). A interação espécie *versus* tratamento foi significativa apenas para os teores de carotenóides (Figura 2).

Os teores médios de pigmentos foram maiores em *A. canelilla*, sendo 2,1 μmol g⁻¹ (Cla), 1,3 μmol g⁻¹ (Clb), 1,5 μmol g⁻¹ (C) e 3,5 μmol g⁻¹ (Clt) (Figura 2). Em *A. rosaeodora*, a média dos teores de pigmentos foi de 1,5 μmol g⁻¹ (Cla), 0,9 μmol g⁻¹ (Clb), 1,1 μmol g⁻¹ (C) e 2,4 μmol g⁻¹ (Clt). O tratamento-controle (T₀) apresentou maior teor de Clt (3,3 μmol g⁻¹) que o tratamento de maior estresse (T₂₄ = 2,5 μmol g⁻¹). O mesmo foi observado para Cla, sendo o teor médio para T₀ igual a 2,3 μmol g⁻¹ e para T₂₄ igual a 1,3 μmol g⁻¹ (Figura 2). Os teores de carotenóides e de clorofila *b* para T₀ foram, respectivamente, de 0,9 μmol g⁻¹ e 1,2 μmol g⁻¹. Para T₂₄, os valores médios observados nessa mesma ordem foram iguais a 1,2 μmol g⁻¹ e 1,4 μmol g⁻¹ (Figura 2).

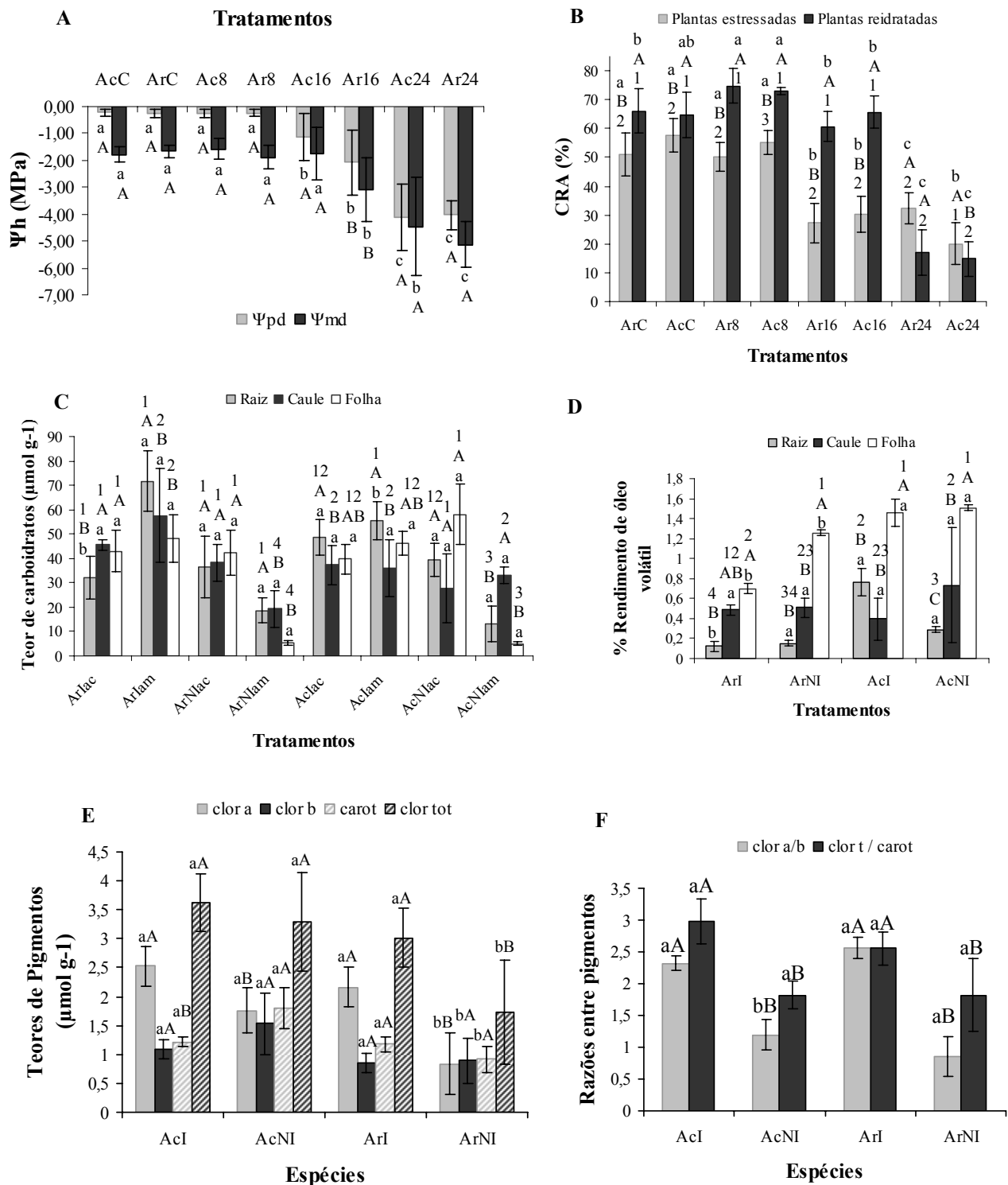


Figura 2: Potencial hídrico foliar (A) da antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio-dia (Ψ_{md}), conteúdo relativo de água (B), teor de carboidratos (ac = açúcares solúveis; am = amido), teor de óleos voláteis, teores de pigmentos cloroplastídicos e razões de pigmentos foliares em plantas jovens *Aniba canelilla* (Ac) e *Aniba rosaeodora* (Ar) no tratamento-controle (I) e nos tratamentos com 8, 16 e 24 dias de supressão hídrica (NI = 24 dias sem rega). Média \pm Desvio-padrão. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$. Letras minúsculas indicam comparação entre espécies. Letras maiúsculas indicam comparação entre tratamentos. Números indicam comparações entre todos os fatores simultaneamente.

Em geral, os teores de clorofila *a* e *b*, clorofilas totais e carotenóides foram semelhantes entre as espécies nas plantas do tratamento irrigado (T_0). Já no tratamento de maior estresse (T_{24}), *A. canelilla* apresentou mais altos teores de tais pigmentos (Figura 2). Os teores de clorofila *a* foram maiores nas plantas irrigadas (Figura 2). Já os teores de *Clb* foram semelhantes entre os tratamentos para as duas espécies (Figura 2). Em T_0 , as plantas de *A. canelilla* tiveram os menores teores de carotenóides, diferindo das mudas de ambas as espécies nos demais tratamentos (Figura 2). O mesmo foi observado para o teor de clorofilas totais nas mudas de *A. rosaeodora* em T_{24} (Figura 2).

As espécies apresentaram valores semelhantes da razão *Cl**a/b*. Em relação aos tratamentos, T_0 apresentou maior conteúdo de carotenóides ($2,8 \mu\text{mol g}^{-1}$) em relação a T_{24} ($1,8 \mu\text{mol g}^{-1}$) e houve interação de espécie *vs* tratamento. A razão *Cl**t/C_{x+c}* foi semelhante entre as espécies e maior no tratamento irrigado ($T_0 = 2,4 \mu\text{mol g}^{-1}$) em relação ao não-irrigado ($T_{24} = 1,8 \mu\text{mol g}^{-1}$) (Figura 2).

Quanto aos teores de carboidratos, não foi observada diferença entre espécies. No entanto, houve diferenças significativas para os tratamentos, órgãos e tipo de carboidrato (açúcar solúvel e amido). Também houve interação espécie *versus* tratamento *vs* órgão *vs* carboidrato (Figura 2).

A. rosaeodora no sistema irrigado (T_0) direcionou maior conteúdo de açúcares para folha e caule em detrimento da raiz (Figura 2). Entretanto, *A. canelilla* irrigada apresentou maior teor de açúcar na raiz e menores em caule e folhas. No sistema não-irrigado (T_{24}) os açúcares solúveis foram alocados de forma semelhante entre os órgãos (Figura 2).

No sistema irrigado (T_0), as espécies acumularam o amido de forma semelhante entre os órgãos, sendo maior o acúmulo em raiz (Figura 2). No sistema não-irrigado (T_{24}), as espécies apresentaram padrão diferenciado de acúmulo de amido entre os órgãos, em que *A. rosaeodora* acumulou maior conteúdo em raiz e caule e menor em folha, enquanto *A. canelilla* apresentou mais amido no caule e menores teores em raiz e folha (Figura 2).

O rendimento médio percentual de óleo volátil (volume de óleo extraído/massa seca) foi semelhante entre os tratamentos (T_0 e T_{24}), diferindo entre as espécies e os órgãos (Figura 2). Não houve interações entre os fatores analisados. A média do teor de óleos voláteis para T_0 foi de 0,7% (Figura 2). No tratamento T_{24} , o valor obtido foi na ordem de 0,9%. Para as espécies, o rendimento percentual médio foi de 1,1% (*A. canelilla*) e 0,6% (*A. rosaeodora*) (Figura 2). Considerando os órgãos vegetativos, os teores de óleo foram de 0,3% (raiz), 0,5% (caule) e 1,3% (folha) (Figura 2).

1.4. DISCUSSÃO

Modificações no estado hídrico das plantas, detectáveis pela medida do potencial hídrico e pelo CRA (Figura 2) indicaram que alterações mais severas resultantes da escassez de água começam a partir da terceira semana (T_{16} : 48,3% de CRA), período em que ainda foi possível a recuperação das condições hídricas da folha. Entretanto no tratamento T_{24} , de supressão de rega (CRA = 20,7%), as plantas não mais apresentaram recuperação (Figura 2). Este nível de desidratação implica em reduções ao rendimento fotoquímico (Eichmeier *et al.*, 1993), o que ocorre devido aos prejuízos no transporte de elétrons e na fixação do carbono (Casper, 1993), especialmente sob alta irradiância.

Os teores de pigmentos, óleos voláteis e carboidratos foram analisados comparando-se apenas o tratamento-controle (T_0 = irrigado) e o de maior estresse (T_{24} = não-irrigado). Assim, observou-se que no nível mais extremo de baixa disponibilidade hídrica, os processos diretamente relacionados aos cloroplastos (metabolismo de pigmentos e óleos voláteis) foram afetados de forma diferenciada, de modo que houve incremento de algumas moléculas (carotenóides em *A. canelilla*), declínio de outras (clorofila *a* nas duas espécies) e manutenção dos teores em algumas moléculas (clorofila *b* e do óleo volátil) (Figura 2).

Em relação aos pigmentos, o comportamento apresentado pelas espécies de *Aniba* aqui estudadas indica que, na condição de menor disponibilidade hídrica, *A. canelilla* apresentou maior estabilidade destas moléculas, o que pode conferir a esta espécie melhores condições de tolerância à diminuição da disponibilidade hídrica (Figura 2). Não foi detectada alteração na razão Cl_a/b que apresentou valor de aproximadamente 1/3, característico para espécies C_3 . A razão Cl_t/C_{x+c} , em média, foi maior no tratamento irrigado, e não houve diferença entre as espécies (Figura 2).

Segundo Kramer e Kozlowski (1979), as alterações nos teores de clorofila *a* e *b*, em condições de estresse geralmente não são proporcionais, sendo que alguns autores têm sugerido uma maior suscetibilidade da clorofila *a* em plantas sob estresse hídrico (Colom e Vazzana, 2002). A redução nos teores de clorofila *a* pode estar associada aos prejuízos resultantes da inibição da fotossíntese e, também, a degeneração em nível de ultra-estrutura do aparato fotossintético (Echenique e Curvetto, 1989; Smirnoff, 1995; Chernad'ev, 2005), especialmente em caso de diminuição no conteúdo de água na planta. Entretanto, os mecanismos de proteção relacionados com a síntese de substâncias antioxidantes (como carotenóides, ascorbato, flavonóides, entre outras) e de enzimas antioxidantes (peroxidases,

catalase e superóxido desmutase) podem inibir a degradação dos pigmentos (Ejert e Tevini, 2002).

Os carotenóides apresentam diversidade de funções indispensáveis ao processo fotossintético, especialmente quando há excesso de energia captada pelos complexos coletores de luz, decorrente da inibição do transporte de elétrons nos fotossistemas I e II. Entre estas funções destaca-se a extinção de excitação foto-induzida (fotoproteção), a dissipação do excesso de energia e a estabilização de estruturas, como a própria membrana fotossintética (Frank e Codgell, 1996).

Nas duas espécies, o metabolismo dos carboidratos (açúcares solúveis totais e amido) apresentaram modificações com diferentes intensidades, em que se observaram menores alterações nos teores de açúcares solúveis, entre os tratamentos e órgãos, enquanto que os teores de amido foram marcadamente reduzidos nas plantas sob baixa disponibilidade hídrica, especialmente em folhas (88,6% em *A. rosaeodora* e 89,1% em *A. canelilla*) e raiz (75,3% em *A. rosaeodora* e 76,2% em *A. canelilla*). Esta resposta fisiológica possibilita o aumento do potencial osmótico e, por conseguinte, diminuição do potencial hídrico, tornando-se mais baixos que o Ψ_w do solo, mantendo o gradiente de potencial hídrico (Turner e Jones, 1980). Estas alterações são bastante frequentes para diversas plantas nestas condições (Kramer, 1995; Kingston-Smith *et al.* 1999; Chaves Filho e Stacciarini-Seraphin, 2001).

Alguns autores relacionam uma menor disponibilidade de água para a planta a uma maior produção de óleos voláteis (Cunha, 2002; Santos *et al.*, 2004; Lima, 2006). Tal comportamento fisiológico pode estar associado à relevância destes compostos como resposta de adaptação ou tolerância a estresses (Singsaas, 2000). Em plantas adultas de *A. rosaeodora* em condições de campo, verificou-se efeito sazonal na produção do óleo, que foi favorecido por períodos de menor incidência de chuvas (Cunha, 2002; Lima, 2006).

Este comportamento não se confirmou com a baixa disponibilidade hídrica imposta nas nossas condições experimentais em nenhuma das espécies estudadas (Figura 2). Tal fato pode ser resultado de diferentes fatores como do nível de estresse alcançado pela planta no vaso (limitações na quantidade de substrato e alta temperatura), o estágio de desenvolvimento e as condições microclimáticas na casa de vegetação, uma vez que alguns destes aspectos representaram limitações ao processo fotossintético. Resultados semelhantes foram observados por Taveira *et al.* (2003) em pesquisa visando à análise do efeito sazonal e tipos de solo sobre a qualidade e os teores do óleo de *A. canelilla*. Neste trabalho, os rendimentos obtidos foram muito semelhantes entre as estações úmida e seca.

O comprometimento da fotossíntese pode resultar em implicações sobre a produção do óleo, visto que a biossíntese de monoterpenos ocorre nos plastídios e é dependente das trioses gliceraldeído-3-fosfato e piruvato (Sangwan *et al.*, 2001).

Os monoterpenos são compostos de defesa contra patógenos e herbívoros (Langenheim, 1994), produzidos constitutivamente, e são acumulados durante o desenvolvimento normal de caules e raízes. Entretanto os mecanismos fisiológicos e moleculares envolvidos na síntese de monoterpenos ainda não foram totalmente esclarecidos (Gershenson *et al.*, 2000).

A ausência de efeito do estresse hídrico sobre os teores de óleo nas duas espécies, sugere que estas plantas dispõem de mecanismos que permitem manter os teores estáveis, no sentido de otimizar os custos de investimento. Segundo Gershenson (1994), terpenóides são compostos altamente reduzidos, o que implica em elevado custo de produção além do que é investido nas enzimas exclusivas desta via, apesar de os teores de monoterpenos serem regulados pelas taxas de síntese e perdas. Contudo, Gershenson *et al.* (2000) investigando o metabolismo destes compostos em menta, não registraram perdas significativas de monoterpenos por processos de volatilização ou degradação metabólica.

Embora estatisticamente não significativo, é interessante observar que as espécies mostraram padrão diferenciado de particionamento do óleo entre os órgãos no tratamento-controle (Figura 2), ainda que não tenha sido detectada variação nos teores de carboidratos na raiz e no caule, que representariam um estoque de carbono disponível para síntese de óleo, na condição irrigada para as duas espécies. Assim, embora as folhas detenham os maiores teores de óleos para as duas espécies, *A. canelilla* investiu na síntese e alocação destes óleos na raiz enquanto *A. rosaeodora*, no caule.

1.5. CONCLUSÃO

A despeito dos danos resultantes dos efeitos deletérios impostos pela restrição hídrica, especialmente aqueles associados ao comprometimento do aparato fotossintético, resultantes da alteração nos teores de pigmentos cloroplastídicos, e daqueles referentes à desidratação celular refletidos no conteúdo relativo de água, as plantas jovens de *A. rosaeodora* e *A. canelilla* demonstraram capacidade de tolerância e recuperação frente à baixa disponibilidade hídrica, sem prejuízos sobre a produção de óleos voláteis.

Tanto os componentes do metabolismo primário quanto do secundário demonstraram ser indicadores sensíveis da baixa disponibilidade hídrica entre os diferentes órgãos das plantas (raiz, caule e folha).

Do ponto vista de aplicabilidade, dois aspectos investigados neste trabalho são importantes para o manejo e preservação destas espécies:

- 1) em condições de cultivo as plantas podem suportar, sem comprometimento dos processos fisiológicos básicos, eventual falta de água por períodos de até 16 dias;
- 2) o comportamento destas espécies sugere um potencial destas para suportar longos períodos de seca.

1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Björkman, O.; Demming, B. 1987. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. *Planta*, 170: 489-504.
- Bolhàr-Nordenkamp, H. R.; Long, S. P.; Baker, N. R.; Öquist, G.; Schreider, U.; Lechner E. G. 1989. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, 3:497-514.
- Bradford, K.J.; Hsiao, T. 1982. Stomatal behaviors and water relations of waterlogged tomato plants. *Plant Physiology*, 70 (5): 1508-1513.
- Casper C, Eickmeier, W.G.; Osmond, C. B. 1993. Changes of fluorescence and xanthophyll pigments during dehydration in the resurrection plant *Selaginella lepidophylla* in low and medium light intensities. *Oecologia*, 94:528-533.
- Chaar, J. da S. 2000. Estudos analíticos e modificação química por acetilação do linalol contido no óleo essencial da espécie *Aniba duckei* Korstermans. Master's Thesis, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 150pp.
- Chaves-Filho, J.T.; Stacciarini-Seraphin, E. 2001. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira em reposta ao estresse hídrico. *Rev. Bras. de Bot.*, 24 (2): 199-204.
- Chernyad'ev, I. I. 2005. Effect of water stress on the photosynthetic apparatus of plants and the protective role of cytokinins: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 41 (2): 155-128.
- Clevenger, J. F. 1928. Apparatus for volatile oil determination. *American Perfumer and Essential Oil Review*. p 467-468.
- Colom, M. R.; Vazzana, C. 2003. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. *Environmental and Experimental Botany*, 49 (2): 135-144.
- Cunha, L.N. 2002. Influência sazonal no teor de linalol da espécie *Aniba duckei* Korstermans plantadas em ambiente natural. Master's Thesis, Universidade Federal do Amazonas, Manaus. 130pp.
- Duarte-Maçãs, I. M. V. 2003. Seleção de linhas de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)

- adaptadas ao ambiente mediterrânico – critérios morfológicos e fisiológicos. Master's Thesis, Universidade de Évora, Évora. 169pp.
- Eickmeier, W. G.; Casper C.; Osmond, C. B. 1993. Chlorophyll fluorescence in the resurrection plant *Selaginella lepidophylla* (Hook. e Grev.) spring during high-light and desiccation stress, and evidence for zeaxanthin-associated photoprotection. *Planta*, 189:30-38.
- Egert, M.; Tevini, M. 2002 Influence of drought on some physiological parameters symptomatic for oxidative stress in leaves of chives (*Allium schoenoprasum*). *Environmental and Experimental Botany*. 48: 43-49.
- Frank, H. A.; Cogdell, R. J. 1996. Carotenoids in Photosynthesis. Invited Review. *Photochemistry Photobiology*, 63: 257-264.
- Funk, J. L.; Mak, J. E.; Lerda, M. T. 2004. Stress-induced changes in carbon sources for isoprene production in *Populus deltoides*. *Plant, Cell and Environment*, 27 (6): 747 -755.
- Gershenzon J. 1994. Metabolic costs of terpenoid accumulation in higher plants. *Journal of Chemical Ecology*, (20): 1573-1561.
- Gershenzon, J.; McConkey, M. E.; Croteau, R. B. 2000. Regulation of Monoterpene Accumulation in Leaves of Peppermint, *Plant Physiology*, (122): 205-214.
- Gigon, A.; Matos, A-R; Laffray, D.; Zuily-Fodil, Y.; Anh-Thu Pham-Thi. 2004. Effect of drought stress on lipid metabolism in the leaves of *Arabidopsis thaliana* (Ecotype Columbia). *Annals Botany*, 94: 345-351.
- Giles, K. L.; Cohen, D.; Beardsell, M.F. 1976. Effects of water stress on the ultrastructure of leaf cells of *Sorghum bicolor*. *Plant Physiology*, 57:11-14.
- Gouinguéné, S. P.; Turlings, T. C. J. 2002. The effects of abiotic factors on induced volatile emissions in corn plants. *Plant Physiology Preview*, 129:1296-1307.
- Hendry, G.A.F.; Price, A.H. 1993. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F.; Grime, J.P. (eds), *Methods in Comparative Plant Ecology*, p. 148-152.
- Hines, J. P. 2006. The invisible bouquet. *Science*. 311 (5762): 803-803.
- Huve, K.; Bichele, I.; Tobias, M.; Ninemets, U. 2006. Heat sensitivity of photosynthetic electron transport varies during the day due to changes in sugars and osmotic potential,

- Plant, Cell and Environment*, 29: 212-228.
- Ingram, J.; Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annu. Review of Plant Physiology and Molecular Biology*, 47: 377-403.
- Jamaux, I.; Steinmetz, A.; Belhassen, E. 1997. Looking for molecular and physiological markers of osmotic adjustment in sunflower. *New Phytologist*, 137:117-127.
- Kim, J-Y.; Mahé, A.; Brangeon, J.; Prioul, J-L. 2000. A maize vacuolar invertase, IVR2, is induced by water stress. Organ/tissue specificity and diurnal modulation of expression. *Plant Physiology*, 124: 71-84.
- Kingston-Smith, A.H., Walker, R.P.; Pollock, C.J. 1999. Invertase in leaves: conundrum or control point? *Journal of Experimental Botany*, 50:735-743.
- Kobata, T.; Palta, J. A.; Turner, N. C. 1992. Rate of development of postanthesis water deficit and grain filling in spring wheat. *Crop Science*, 32: 1238-1242.
- Kochevaa, K.; Lambrevb, P.; Georgieva, G.; Goltsevc, V.; Karabaliev, M. 2004. Evaluation of chlorophyll fluorescence and membrane injury in the leaves of barley cultivars under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 63: 121– 124
- Kramer, P. J.; Koslowski, T. 1979. *Physiology of wood plants*. New York: Academic Press. 811 p.
- Krause, G.H.; Koroleva, O.Y.; Dalling, J.W.; Winter, K. 2001. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. *Plant, Cell and Environment*, 24: 1345-1352.
- Kutchan, T. M. 2001. Ecological arsenal and developmental dispatcher: the paradigm of secondary metabolism. *Plant Physiology*, 125: 58–60.
- Langenheim, J. H. 1994. Higher plant terpenoids: a phytocentric overview of their ecological roles. *Journal of Chemical Ecology*, (20): 1223-1280.
- Le Lay, P.; Böddi, B.; Kovacevic, D.; Juneau, P.; Dewez, D.; Popovic, R. 2001. Spectroscopic analysis of desiccation-induced alterations of the chlorophyllide transformation pathway in etiolated barley leaves. *Plant Physiology*, 127: 202-211.
- Lichtenthaler, H.K.; Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Society Transactions*, 11: 591-

- 592.
- Lima, R. B. S. 2006. Características fisiológicas e conteúdo de óleos voláteis em folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em diferentes períodos de precipitação, na Amazônia Central. Master's Thesis, INPA / UFAM, Manaus. 69pp.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagent. *Science*. 107: 254-255.
- May, P.H.; Barata, L.E.S. 2004. Rosewood exploitation in the Brazilian Amazon: options for sustainable production. *Economic Botany* 58(2): 257-265.
- Navari-Izzo, F.; Quartacci, M. F.; Pinzino, C.; Rascio, N.; Vazzana, C.; Sgherri, C. L. M. 2000. Protein dynamics in thylakoids of the desiccation-tolerant plant *Boea hygroskopica* during dehydration and rehydration. *Plant Physiology*, 124:1427-1436.
- Nepomuceno, A. L.; Neumaier, N.; Farias, J. R. B.; Oya, T. 2001. Tolerância à seca em plantas: mecanismos fisiológicos e moleculares. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*, 23: 12-18.
- Ogren, E.; Oquist, G. 1985. Effects of drought on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and photoinhibition susceptibility in intact willow leaves. *Planta*, 166:380-388.
- Palta, J. A.; Kobata, T.; Turner, N. C.; Fillery, I. R. 1994. Remobilization of carbon and nitrogen in wheat as influenced by postanthesis water deficit. *Crop Science*, 34: 118-124.
- Passos, L.P. 1996. *Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal*. Embrapa, Coronel Pacheco, MG. 223 p.
- Reddy, A. R.; Chaitanya, K. V.; Vivekanandan, M. 2004. Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161 (11): 1189-1202.
- Rennenberg, H.; Loreto F.; Polle A.; Brill F.; Fares S.; Beniwal R. S.; Gessler A. 2006. Physiological Responses of Forest Trees to Heat and Drought. *Plant Biology*, 8 (5): 556-571.
- Sangwan, N. S.; Farooqi, A. H. A.; Shabih, F.; Sangwan, R. S. 2001. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation* 34: 3-21.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in

vascular plants. *Science*, 148:39-46.

Sharkey, T. D.; Chen, X. Y.; Yeh, S. Isoprene increases thermotolerance of fosmidomycin-fed leaves. *Plant Physiology*, 125: 2001–2006.

Sinclair, T. R.; Ludlow, M. M. 1985. Who taught plants thermodynamics? The unfulfilled potential of plant water potential. *Australian Journal of Plant Physiology*, 3: 213-217.

Smirnoff, N. Metabolic flexibility in relation to the environment. In: Environment and plant metabolism: flexibility and acclimation. Oxford: Bios Scientific publishers, 1995. p. 1-13

Taveira, F.S.N.; Lima, W.N.; Andrade, E.H.A.; Maia, j.G.S. 2003. Seasonal essential oil variation of *Aniba canelilla*. *Biochemical Systematics and ecology*, 31:69-75.

Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant watter status. *Plant and Soil*, 58: 339-366.

ANEXOS 1

Tabela 1: Análise de variância do potencial hídrico na antemanhã e ao meio-dia de plantas jovens de *A. canelilla* e *A. rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por 16 dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) em duas condições (estressado e reidratado).

Fonte de Variação	GL	QM
Condição (Cond)	1	10,8**
Hora (H)	1	48,6**
Espécie (Sp)	1	4,5**
Tratamentos (T)	3	86,1**
Cond X H	1	0,2ns
Cond X Sp	1	0,3ns
Cond X T	3	5,6**
H X Sp	1	0,6ns
H X T	3	1,1ns
Sp X T	3	2,1**
Cond X H X Sp	1	0,6ns
Cond X Sp X T	3	0,2ns
Cond X H X T	3	0,1ns
H X Sp X T	3	0,3ns
Cond X H X Sp X T	3	0,3ns
Erro	158	0,4
Média		-1,9
CV (%)		35,3

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível pelo teste F.

Tabela 2: Análise de variância do conteúdo reativo de água (CRA) na antemanhã e ao meio-dia de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por dezesseis dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) e duas condições (estressada e reidratada).

Fonte de Variação	GL	QM
Condição (Cond)	1	6508,2**
Espécie (Sp)	1	0,1ns
Tratamentos (T)	3	14292,3**
Cond X Sp	1	0,2ns
Cond X T	3	3202,7**
Sp X T	3	243,4**
Cond X Sp X T	3	166,4**
Erro	149	38,7
Média		47,7
CV (%)		13,0

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 3: Análise de variância dos teores de pigmentos cloroplastídicos em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* no tratamento-controle (T₀) e no tratamento de maior estresse (T₂₄, com suspensão de rega por 24 dias).

Fonte de Variação	GL	QM			
		mg g ⁻¹			
		Cl _a	Cl _b	C _{x+c}	Cl _t
Espécie (Sp)	1	2,9**	1,4**	1,5**	8,2**
Tratamento (T)	1	7,8**	0,4ns	0,2ns	4,6**
Sp X T	1	0,6ns	0,3ns	1,2**	1,6ns
Erro	24	0,2	0,1	0,1	0,5
Média		1,8	1,1	1,3	2,9
CV (%)		22,5	31,9	17,7	24,7

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 4: Análise de variância dos teores de carboidratos em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaedora* no tratamento-controle (T₀) e no tratamento de maior estresse (T₂₄, com suspensão de rega por 24 dias).

Fonte de Variação	GL	QM
Espécie (Sp)	1	26,1ns
Tratamento (T)	1	9669,3**
Órgão (Org)	2	240,1*
Carboidrato (CHO)	1	1094,8**
Sp X T	1	596,5**
Sp X Org	2	35,3ns
Sp X CHO	1	492,7**
T X Org	2	376,2**
T X CHO	1	9993,2**
Org X CHO	2	1065,2**
Sp X T X Org	2	196,4ns
Sp X Org X CHO	2	348,1**
T X Org X CHO	2	515,3**
Sp X T X Org X CHO	3	251,9*
Erro	89	64,8
Média		39,0
CV (%)		20,6

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 5: Análise de variância dos teores de óleos voláteis em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* no tratamento-controle (T₀) e no tratamento de maior estresse (T₂₄, com suspensão de rega por 24 dias).

Fonte de Variação	GL	QM
Espécie (Sp)	1	1,4**
Tratamento (T)	1	0,1ns
Órgão (Org)	2	4,8**
Sp X T	1	0,2ns
Sp X Org	2	0,3ns
T X Org	2	0,3ns
Sp X T X Org	2	0,3ns
Erro	57	0,1
Média		0,8
CV (%)		26,3

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

2. CAPÍTULO II

RESPOSTA FOTOSSINTÉTICA À TRANSFERÊNCIA IMEDIATA DE AMBIENTE LUMÍNICO EM PLANTAS JOVENS DE *Aniba rosaeodora* Ducke E *Aniba canelilla* (Kunth) Mez (LAURACEAE)

Resumo

As respostas do processo fotossintético em plantas jovens oriundas de média irradiância (T_S), e recém estabelecidas em ambientes com alta irradiância (T_L), definem o desempenho nas fases iniciais do cultivo em nível de campo. Assim, plantas com 18 meses de *Aniba rosaeodora* (pau-rosa) e *Aniba canelilla* (casca-preciosa) foram acompanhadas durante três semanas para avaliação das respostas fotossintéticas à transferência imediata de ambiente com baixa intensidade de irradiância (500 a $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para ambiente aberto de irradiância elevada (1300 a $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), utilizando-se como indicadores fisiológicas, como variáveis as características fotossintéticas (A , R_d), as trocas gasosas (g_s , C_i , E) e suas relações (EUA, EIUA), bem como a eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m), e a produção de óleos voláteis. As plantas foram cultivadas em vasos plásticos, com 10 Kg da mistura de terriço e areia (2/1), e submetidas a dois tratamentos de irradiância ($n=10$): T_1 = sombreamento de 70% (500 a $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em viveiro, e T_2 = ambiente aberto com as plantas recebendo de 1300 a $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Diariamente, mensurou-se A , R_d , g_s , E e VPDL, de modo pontual, ajustando-se a luminosidade do equipamento para 0 ou $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A razão F_v/F_m foi medida na antemanhã e ao meio-dia no início, meio e fim do experimento. As espécies se mostraram semelhantes quanto à plasticidade fisiológica associada à estabilidade na produção de óleos como resposta à mudança, indicando boa capacidade de aclimação. *Aniba rosaeodora* manteve semelhantes teores de óleo nas folhas quando submetida aos tratamentos de alta ou baixa irradiância, enquanto em *Aniba canelilla* ocorreu uma redução no conteúdo de óleo das folhas das plantas transferidas para pleno sol.

2.1. INTRODUÇÃO

Na flora amazônica, as espécies do gênero *Aniba* destacam-se pelo alto valor econômico, devido à constituição do óleo volátil principalmente no lenho e na casca, especialmente *A. rosaeodora* (pau-rosa) devido ao linalol, componente majoritário utilizado como fixador de perfume que, embora presente em todas as partes da planta e mais abundante nas folhas, é basicamente extraído da madeira (Marques, 2001; Sampaio *et al.*, 2003). *A. canelilla* (casca-preciosa) é reconhecida pelo forte aroma de canela que é atribuído ao componente majoritário presente no óleo, um composto nitrogenado denominado 1-nitro-2-feniletano (Gottlieb e Magalhães, 1959). A planta é utilizada na medicina tradicional, na forma de chá da casca e folhas, como antiespasmódico, digestivo, para artrites e males do coração, entre outras potenciais aplicações (Gottlieb e Magalhães, 1960; Lahlou *et al.*, 2005).

A importância destas espécies e a maneira como são exploradas, especialmente o *Aniba rosaeodora*, reforçam a necessidade de estudos ecofisiológicos que indiquem a influência de fatores primários sobre a propagação, sobrevivência, adaptação, crescimento e desenvolvimento dessas plantas, de forma a prover subsídios para o estabelecimento de um sistema de produção de mudas e/ou incorporação de biomassa, como fonte de matéria-prima para maximizar posteriores aplicações tecnológicas, com a possibilidade real de agregar valor a este recurso florestal.

Neste sentido, o sucesso do cultivo depende, entre outros fatores, das práticas que garantam o estabelecimento das plantas em ambientes que, inicialmente, podem impor condições aquém da faixa ótima de crescimento das plantas. De maneira geral, o estresse por irradiância elevada gera espécies reativas de oxigênio que prejudicam a planta causando atraso no desenvolvimento especialmente pela perda de folhas (Demmig-Adams e Adams III, 2006).

Neste cenário justifica-se investigar o desempenho fisiológico de plantas jovens frente à incidência de luz, pela heterogeneidade com que este recurso se apresenta no ambiente. Os estudos nesta direção, geralmente, monitoram as respostas ecofisiológicas à luz que podem ocorrer no curso de algumas horas ou dias (Öquist *et al.* 1992; Kitao *et al.* 2000; Dias e Marengo, 2006). Contudo, as plantas geralmente necessitam de períodos mais longos para se aclimatarem a um ambiente de maior fluxo de energia luminosa. E então, enquanto não ocorre o lançamento de novas folhas, torna-se fundamental a aclimação das folhas preexistentes, que cresceram em ambiente de baixa densidade de fluxo fotônico (Guo *et al.*, 2006).

Sendo assim, as características foliares representam um dos principais aspectos a se considerar nas respostas de aclimatação. De forma geral, acredita-se que as espécies que apresentam folhas com longos períodos de vida sejam mais tolerantes ao aumento rápido no nível de luz, quando o ambiente é alterado por uma abertura do dossel (Lovelock *et al.*, 1998). Uma propriedade também associada a plantas com folhas de longa duração é um maior investimento em estrutura física e uma menor taxa de assimilação de carbono (Reich *et al.*, 1998).

Durante o processo de aclimatação, o declínio da assimilação de carbono ocorre como resultado de um conjunto de eventos fisiológicos que, entre outros, incluem a redução da condutância estomática, limitações bioquímicas e fotoquímicas (Chaves *et al.*, 2002; Lawlor e Cornic, 2002; Yordanov *et al.*, 2003). No curso das implicações destes processos, insere-se a biossíntese de constituintes de óleos voláteis, especialmente monoterpenos, uma vez que este metabolismo ocorre nos plastídios a partir de trioses-fosfato e, em alguns casos, mostrou também dependência do NADPH gerado durante o processo fotossintético (Sangwan *et al.*, 2001), de forma que, alterações na fotossíntese podem também modificar a produção destas substâncias (Kuhn *et al.*, 2004).

Neste trabalho, alterações fisiológicas das plantas de *A. rosaeodora* e *A. canelilla* em consequência da transferência rápida de ambiente lumínico foram acompanhadas pela análise de variáveis relativas às características das trocas gasosas, como a eficiência no uso da água (EUA) e a eficiência intrínseca no uso da água (EIUA), que informam sobre a contribuição da limitação estomática. Também foram verificadas as flutuações nos valores de carbono interno (C_i), que indicam a atividade metabólica de fixação de CO_2 (Konrad *et al.*, 2005). Os aspectos relativos à fotoquímica foram estimados pela razão F_v/F_m , observados nos horários da antemanhã e ao meio-dia, no sentido de verificar fotoinibição crônica e dinâmica. Adicionalmente, investigaram-se as características da distribuição dos teores de óleos voláteis nos diferentes órgãos das plantas.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Condições experimentais

O experimento foi realizado no viveiro da Faculdade de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Amazonas - UFAM (3°09', 59°97W), onde o clima é do tipo AfI segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 27°C±5 e a precipitação anual em torno de 2200 mm, com um período seco de junho a novembro (precipitação mensal < 100 mm) e um chuvoso de dezembro a maio (precipitação > 300 mm). As plantas jovens de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e de casca-preciosa (*Aniba canelilla* (Kunth) Mez), com cerca de 20 cm, foram provenientes de regeneração natural na Reserva Florestal Adolpho Ducke (Rodovia AM-010, Km 26 – Manaus/AM). As plantas jovens das duas espécies foram cultivadas em substrato composto por mistura de terriço e areia (2:1 v/v) em vasos plásticos, com capacidade para 10 Kg, e mantidas em viveiro com sombreamento de 70% durante 18 meses. Após esse período, as plantas foram selecionadas segundo a uniformidade de sua altura (cerca de 50±5 cm) e seu estado fitossanitário, e distribuídas em dois tratamentos (n=10): T_S = Tratamento de sombreamento, obtido com tela de poliolefina (sombrite), com capacidade de sombreamento de 70% (500 a 700 μmol m⁻² s⁻¹); e T_L = Tratamento de alta irradiância (pleno sol, cerca de 1300 a 1800 μmol m⁻² s⁻¹). As plantas foram monitoradas diariamente por um período de 24 dias, os quais foram subdivididos em intervalos de oito dias, para observação das respostas relativas ao choque inicial em consequência da mudança de ambiente, e à aclimação. Durante a execução do ensaio foram analisadas as variáveis referentes às trocas gasosas (fotossíntese líquida, respiração no escuro, condutância estomática, transpiração) e fluorescência da clorofila *a*, sendo a extração e quantificação de óleos voláteis realizadas no término do experimento.

2.2. Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas

A determinação das taxas de fotossíntese líquida (*A*), respiração no escuro (*R_d*), transpiração (*E*) e condutância estomática (*g_s*) foi realizada em cinco indivíduos por tratamento utilizando-se analisador de gás infravermelho (IRGA) portátil, de sistema aberto, modelo LI-COR 6400, conforme metodologia descrita por Marengo *et al.* (2001). Os dados foram coletados entre 9:00 e 11:00, em folhas completamente expandidas situadas no terço médio das plantas e com aspectos fitossanitários adequados.

Para cada tratamento foi selecionada uma folha por planta para compor a repetição, sendo realizadas dez leituras em cada folha. Para o monitoramento do efeito dos tratamentos (T_S = baixa irradiância, e T_L = alta irradiância), a fotossíntese líquida (A), a respiração no escuro (R_d), a condutância estomática (g_s), a transpiração (E) e o déficit de pressão de vapor (VPD_L) foram determinados diariamente a cada semana, de modo pontual, ajustando-se a irradiância do equipamento para 0 ou 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, estando o aparelho ajustado para funcionar com concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, $31 \pm 1^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente. A irradiância utilizada foi proveniente da fonte de luz diiodo (LED) vermelho-azul – modelo 6400-02, LI-COR. Após o ajuste do equipamento, cada folha passou por um período de adaptação de 10 a 15 minutos. Em seguida, os dados foram coletados à medida que as folhas se adaptavam às novas condições luminosas, iniciando-se a coleta a 0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com a determinação da respiração no escuro (R_d) e depois, 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A eficiência no uso da água ($\text{EUA} = A/E$) e a eficiência intrínseca no uso da água ($\text{EIUA} = A/g_s$) foram calculadas a partir dos valores de fotossíntese líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática (g_s).

2.3. Eficiência fotoquímica do fotossistema II

A eficiência fotoquímica do FSII foi determinada pelas leituras da razão F_v/F_m medidas no período da antemanhã e ao meio-dia em três épocas no decorrer do experimento (início, meio e fim), utilizando-se fluorômetro portátil (Plant Efficiency Analyser – PEA, MK2-9600 - Hansatech instruments, Norfolk, UK). Nestes procedimentos, folhas localizadas no terço médio da planta foram pré-condicionadas ao escuro durante 30 minutos e, então, submetidas a um pulso de alta intensidade de luz saturante ($2250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As avaliações foram realizadas em dez plantas por tratamento, conforme metodologia descrita por Gonçalves e Santos Junior (2005), com pequenas modificações, como o tempo da completa oxidação dos centros de reação de 20 para 30 minutos.

2.4. Determinação do rendimento de óleos voláteis

Para a obtenção do teor de óleos, todos os indivíduos amostrados foram coletados e seccionados em raiz, caule e folhas. As amostras foram acondicionadas em sacos de papel para posterior secagem em estufa a 40°C até massa constante. Os óleos voláteis foram

extraídos por hidrodestilação de acordo com a metodologia descrita por Clevenger (1928). Para proceder a extração em sistema Clevenger, o material vegetal foi triturado em moinho Watman®, obtendo-se partículas com tamanhos de 0,075 a 2,00 mm. Para cada extração foram pesadas três amostras de 20 g de cada órgão, obtidas de uma amostra única. Tais amostras foram acondicionadas em balões de fundo redondo de 1000 mL com 500 mL de água destilada e seis pedras de ebulição. A extração foi realizada durante 3,5 horas, mantendo-se a temperatura em 100°C, sendo o rendimento de óleos voláteis calculado a partir da porcentagem do volume de óleo capturado pela massa da amostra (Chaar, 2000).

2.3. RESULTADOS

A fotossíntese líquida diferiu entre semanas, espécies e tratamentos. No que diz respeito aos tratamentos, as espécies apresentaram valores diferentes de fotossíntese (Tabela 1). *Aniba rosaeodora* ($4,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) teve fotossíntese líquida maior que *Aniba canelilla* ($3,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Entre os tratamentos, as médias foram $5,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o tratamento de sombra e $3,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o tratamento de luz. Ao longo das semanas, a fotossíntese diminuiu, sendo $6,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na 1ª semana, $3,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na segunda semana e $3,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na terceira semana (Tabela 1).

Nos dois tratamentos, a fotossíntese líquida diminuiu a partir da segunda semana. Apesar de não haver diferença significativa entre os valores de fotossíntese líquida da segunda e da terceira semana nos dois tratamentos, observou-se tendência ao aumento da assimilação na terceira semana em ambas as espécies no tratamento de luz (Tabela 1).

O tratamento de sombra, em *A. rosaeodora*, apresentou valores mais elevados de assimilação que o tratamento de luz (Tabela 1). Os respectivos valores de fotossíntese observados para os tratamentos de luz e de sombra de *A. rosaeodora* foram $5,6$ e $8,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 1), $3,7$ e $5,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) e $4,1$ e $5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 3) (Tabela 1). Em *A. canelilla*, os valores médios de fotossíntese líquida foram semelhantes entre os tratamentos, exceto na segunda semana, em que o tratamento de sombra apresentou maior taxa de assimilação líquida que *A. rosaeodora*. Tais valores nos tratamentos de sombra e de luz foram, respectivamente, $6,9$ e $5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1ª semana), $4,0$ e $1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2ª semana) e $3,3$ e $3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (3ª semana) (Tabela 1).

Comparando os tratamentos entre as espécies fica evidente que as estas apresentaram valores bastante próximos de assimilação líquida, exceto na segunda semana, em que *A. rosaeodora* apresentou maiores valores de fotossíntese líquida (Tabela 1). No tratamento a pleno sol, as médias de assimilação líquida para *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram, respectivamente, $5,6$ e $5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 1), $3,7$ e $1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) e $4,1$ e $3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 3) (Tabela 1). Por outro lado, no tratamento de sombra, as médias observadas foram $8,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) e $6,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. canelilla*) na primeira semana do experimento; $5,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) e $4,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. canelilla*) na segunda semana, e $5,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) e $3,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*A. canelilla*) na última semana do experimento (Tabela 1).

Os maiores valores de fotossíntese líquida foram observados no tratamento de sombra

de *A. rosaeodora*, não diferindo entre os demais tratamentos de ambas as espécies, excetuando a assimilação líquida de *A. canelilla* na segunda semana no tratamento de luz ($1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), que foi a menor observada (Tabela 1).

Tabela 1: Fotossíntese líquida (A) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz acompanhadas durante três semanas (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Semana	Espécies				Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		
	Tratamentos				
	Luz	Sombra	Luz	Sombra	
1	$5,7 \pm 0,9 \text{A}\alpha^2$	$6,9 \pm 1,6 \text{A}\alpha^{12}$	$5,6 \pm 0,8 \text{B}\alpha^2$	$8,7 \pm 2,6 \text{A}\alpha^1$	6,7a
2	$1,6 \pm 0,7 \text{B}\beta^3$	$4,0 \pm 1,2 \text{B}\beta^2$	$3,7 \pm 1,3 \text{B}\beta^2$	$5,9 \pm 1,6 \text{B}\alpha^1$	3,4b
3	$3,0 \pm 1,0 \text{B}\alpha^2$	$3,3 \pm 1,0 \text{B}\beta^2$	$4,1 \pm 1,1 \text{B}\beta^2$	$5,7 \pm 1,4 \text{B}\alpha^1$	3,7b

Fatores	Espécies		Tratamentos		Médias
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	Luz	Sombra	
		3,6 α	3,6B	4,1	
		4,8 α	5,3A		

Medias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas comparam entre semanas num tratamento numa espécie

Letras maiúsculas comparam entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas comparam o mesmo tratamento entre as espécies

Números comparam entre todos os tratamentos das duas espécies

A respiração foi semelhante entre as espécies, mas exibiu valores diferentes entre semanas e entre espécies, sendo, em média, $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Ao longo das semanas os tratamentos diferiram entre si ($p \leq 0,05$) (Tabela 2).

Nas espécies, a respiração média foi de $0,54 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para *A. canelilla* e $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para *A. rosaeodora*. Entre os tratamentos, as médias foram $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o tratamento de luz e $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ para o tratamento de sombra. Ao longo das semanas, a respiração aumentou, sendo $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na 1ª semana, $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na segunda semana e $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na terceira semana (Tabela 2).

Em ambas as espécies, os valores das taxas respiratórias não exibiram diferenças ao longo das semanas no tratamento de sombra e não diferiu entre espécies na primeira semana, sendo $0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em *A. canelilla* e $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ em *A. rosaeodora*. Na segunda semana, *A. canelilla* ($0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) exibiu respiração média maior que *A. rosaeodora* ($0,4$

$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). No entanto, na terceira semana, a situação se inverteu com maior respiração em *A. rosaeodora* ($0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que em *A. canelilla* ($0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 2).

Nos tratamentos de luz das duas espécies, as taxas de respiração aumentaram a partir da segunda semana. Em *A. canelilla*, os valores médios da respiração foram $0,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1ª semana), $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2ª semana) e $0,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (3ª semana). Já em *A. rosaeodora*, os valores médios da respiração foram $0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (1ª semana), $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (2ª semana) e $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (3ª semana). Nesse tratamento, ao longo das semanas, não houve diferenças entre as espécies (Tabela 2).

Na primeira semana, os valores de respiração entre os dois tratamentos foram semelhantes entre si. Já na segunda e na última semana do experimento, os tratamentos de sombra apresentaram menores valores médios de respiração (Tabela 2).

Tabela 2: Respiração no escuro (R_d), ao longo de três semanas, em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S : Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L : Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Semana	Espécies				Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		
	Tratamentos				
Luz	Sombra	Luz	Sombra		
1	$0,5 \pm 0,2 \text{aA}\alpha^1$	$0,4 \pm 0,0 \text{aA}\alpha^1$	$0,4 \pm 0,1 \text{aA}\alpha^1$	$0,5 \pm 0,0 \text{aA}\alpha^1$	0,5a
2	$0,6 \pm 0,2 \text{abA}\alpha^1$	$0,5 \pm 0,1 \text{aA}\alpha^{12}$	$0,6 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^1$	$0,4 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^2$	0,5b
3	$0,7 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^1$	$0,4 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^3$	$0,6 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^{12}$	$0,5 \pm 0,1 \text{bA}\alpha^{23}$	0,6b
Médias	Espécies		Tratamentos		0,5
	<i>Aniba canelilla</i>		0,5 α	Luz 0,6B	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		0,6 α	Sombra 0,5A	

Medias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Assim como a fotossíntese, a condutância estomática diferiu entre semanas, espécies e tratamentos (Tabela 3). Também houve diferenças para os valores de condutância entre os tratamentos de sombra e pleno sol (Tabela 3).

A. rosaeodora ($0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) teve condutância estomática maior que *A. canelilla*

(0,07 mol m⁻² s⁻¹). Entre os tratamentos, as médias foram 0,07 mol m⁻² s⁻¹ para o tratamento de sombra e 0,05 mol m⁻² s⁻¹ para o tratamento de luz. A condutância estomática foi maior no início do experimento, sendo 0,09 mol m⁻² s⁻¹ na 1ª semana, 0,04 mol m⁻² s⁻¹ na segunda semana e 0,05 mol m⁻² s⁻¹ na terceira semana (Tabela 3).

Em *A. canelilla*, os valores médios de condutância foram semelhantes entre tratamentos, sendo 0,07 mol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,08 mol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 0,02 mol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 2ª semana, e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (T₂) na última semana. Já para *A. rosaeodora*, a condutância foi maior no tratamento de sombra, exceto na última semana, onde os valores foram iguais, sendo 0,07 mol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,08 mol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 0,02 mol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 2ª semana, e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (T₂) na última semana (Tabela 3).

Tabela 3: Condutâncias estomática (g_s) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 μmol m⁻² s⁻¹; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 μmol m⁻² s⁻¹) durante três semanas.

Semana	Espécies				Médias (Semana)	
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos					
Luz	Sombra	Luz	Sombra			
1	0,07±0,02aAα ²	0,08±0,02aAβ ²	0,09±0,04aBα ²	0,15±0,07aAα ¹	0,09a	
2	0,02±0,07bAα ²	0,03±0,01bAβ ²	0,04±0,01bBα ²	0,09±0,04bAα ¹	0,04b	
3	0,03±0,02bAβ ²	0,03±0,02bAβ ²	0,06±0,02bAα ¹²	0,08±0,03bAα ¹	0,05b	
Médias	Espécies		Tratamentos		0,05	
	<i>Aniba canelilla</i>		0,04β	Luz		0,05B
	<i>Aniba rosaeodora</i>		0,07α	Sombra		0,07A

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, p≤0,05).

Letras minúsculas comparam entre semanas

Letras maiúsculas comparam entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas comparam o mesmo tratamento entre as espécies

Números comparam entre todos os tratamentos das duas espécies

Comparando os tratamentos entre as espécies, verificou-se que as plantas do tratamento a pleno sol apresentaram valores próximos para a condutância estomática, exceto na última semana, em que as plantas de *A. rosaeodora* exibiram maiores valores quando comparados àqueles exibidos pelas plantas de *A. canelilla* (Tabela 3). Nesse tratamento, os

valores médios de condutância para *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram, 0,09 e 0,07 mol m⁻² s⁻¹ (semana 1), 0,04 e 0,02 mol m⁻² s⁻¹ (semana 2) e 0,06 e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (semana 3), respectivamente. No tratamento de sombra, a condutância média observada para *A. canelilla* foi cerca de duas vezes menor que a observada para *A. rosaeodora*, sendo 0,08 mol m⁻² s⁻¹ (*A. canelilla*) e 0,15 mol m⁻² s⁻¹ (*A. rosaeodora*) na primeira semana do experimento; 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (*A. rosaeodora*) e 0,09 mol m⁻² s⁻¹ (*A. canelilla*), e 0,03 mol m⁻² s⁻¹ (*A. rosaeodora*) e 0,08 mol m⁻² s⁻¹ (*A. canelilla*) (Tabela 3). Adicionalmente, os maiores valores de condutância ocorreram no tratamento de sombra de *Aniba rosaeodora*, não diferindo entre os demais tratamentos de ambas as espécies (Tabela 3).

A transpiração foi significativamente diferente entre semanas, espécies e tratamentos (Tabela 4). Dentro dos tratamentos, as espécies apresentaram valores distintos de transpiração. Tal resultado também foi observado para fotossíntese líquida e condutância estomática.

A. rosaeodora (1,41 mol m⁻² s⁻¹) teve transpiração maior que *A. canelilla* (0,9 mol m⁻² s⁻¹). Entre os tratamentos, as médias foram 1,4 mol m⁻² s⁻¹ para o tratamento de sombra e 0,9 mol m⁻² s⁻¹ para o tratamento de luz. A transpiração foi maior no início do experimento, sendo 1,8 mol m⁻² s⁻¹ na 1ª semana, 0,9 mol m⁻² s⁻¹ na 2ª semana e 1,0 mol m⁻² s⁻¹ na 3ª semana (Tabela 4).

Em *A. canelilla*, os valores médios de transpiração foram semelhantes entre tratamentos, sendo 1,4 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 1,6 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 0,5 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,9 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 2ª semana e 0,8 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 0,8 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na última semana (Tabela 4). Esse mesmo resultado foi observado para *A. rosaeodora*, exceto na segunda semana, em que o tratamento de sombra apresentou o dobro da transpiração do tratamento a pleno sol. Os valores médios de transpiração observados para os tratamentos ao longo das semanas foram: 2,5 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 1,8 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 1,9 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) e 0,9 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na 2ª semana e 1,6 mmol m⁻² s⁻¹ (T₁) e 1,2 mmol m⁻² s⁻¹ (T₂) na última semana (Tabela 4).

Comparando os tratamentos entre as espécies fica evidente que, no tratamento a pleno sol, as espécies apresentaram valores similares de transpiração na primeira semana, sendo menor em *A. canelilla* a partir da segunda semana (Tabela 4). Os valores médios observados para este tratamento em *A. canelilla* e *A. rosaeodora* foram, respectivamente, 1,4 e 1,8 mmol m⁻² s⁻¹ (semana 1), 0,5 e 0,9 mmol m⁻² s⁻¹ (semana 2) e 0,8 e 1,2 mmol m⁻² s⁻¹ (semana 3). Em geral no tratamento de sombra, *A. canelilla* exibiu cerca de metade da transpiração observada

em *A. rosaeodora*, sendo médias observadas iguais a 1,6 mmol m⁻² s⁻¹ (*A. canelilla*) e 2,5 mmol m⁻² s⁻¹ (*A. rosaeodora*) na primeira semana do experimento; 0,9 mmol m⁻² s⁻¹ (*A. canelilla*) e 1,9 mmol m⁻² s⁻¹ (*A. rosaeodora*), e 0,8 mmol m⁻² s⁻¹ (*A. canelilla*) e 1,6 mmol m⁻² s⁻¹ (*A. rosaeodora*) (Tabela 4).

Os maiores valores de transpiração foram observados no tratamento de sombra de *A. rosaeodora*, não diferindo entre os demais tratamentos de ambas as espécies (Tabela 4).

Tabela 4: Transpiração (E) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 μmol m⁻² s⁻¹; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 μmol m⁻² s⁻¹) durante três semanas.

Semana	Espécies				Médias (Semana)	
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos					
	Luz	Sombra	Luz	Sombra		
1	1,4±0,3aAα ²	1,6±0,3aAβ ²	1,8±0,7aAα ¹²	2,5±0,7aAα ¹	1,8a	
2	0,5±0,2bAβ ²	0,9±0,3bAβ ²	0,9±0,2bBα ²	1,9±0,8abAα ¹	0,9b	
3	0,8±0,4bAβ ²	0,8±0,3bAβ ²	1,2±0,4bAα ¹²	1,6±0,5bAα ¹	1,0b	
Médias	Espécies		Tratamentos		1,1	
	<i>Aniba canelilla</i>		0,9β	Luz		0,9B
	<i>Aniba rosaeodora</i>		1,4α	Sombra		1,4A

Medias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, p≤0,05).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

A eficiência no uso da água foi semelhante entre tratamentos e semanas em que o experimento ocorreu, diferindo apenas entre espécies. Também não foi observado nenhum tipo de interação (Tabela 5).

Os valores médios para eficiência no uso da água para as espécies foram 4,3 mmol mol⁻¹ (*A. rosaeodora*) e 3,6 mmol mol⁻¹ (*A. canelilla*). Já para os tratamentos, esses valores foram 3,8 mmol mol⁻¹ para o tratamento a pleno sol e 4,1 mmol mol⁻¹ para o tratamento de sombra (Tabela 5). Ao longo das semanas, EUA foi 2,9 mmol mol⁻¹ (1ª semana), 3,9 mmol mol⁻¹ (2ª semana) e 3,9 mmol mol⁻¹ (3ª semana) (Tabela 5). Isto é, verificou-se aumento na ordem de 30% na EUA entre a primeira e a terceira semana da aplicação dos tratamentos

(Tabela 5).

Em *A. canelilla*, os valores médios de EUA para os tratamentos foram 4,4 mmol mol⁻¹ (T₁) e 4,5 mmol mol⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 4,8 mmol mol⁻¹ (T₁) e 3,6 mmol mol⁻¹ (T₂) na 2ª semana e 4,3 mmol mol⁻¹ (T₁) e 4,2 mmol mol⁻¹ (T₂) na última semana (Tabela 5). Para *A. rosaeodora*, tais valores foram 3,5 mmol mol⁻¹ (T₁) e 3,3 mmol mol⁻¹ (T₂) na 1ª semana, 3,2 mmol mol⁻¹ (T₁) e 3,9 mmol mol⁻¹ (T₂) na 2ª semana e 3,5 mmol mol⁻¹ (T₁) e 3,5 mmol mol⁻¹ (T₂) na última semana (Tabela 5).

Tabela 5: Eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 μmol m⁻² s⁻¹; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 μmol m⁻² s⁻¹) durante três semanas.

Semana	Espécies				Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		
	Tratamentos				
	Luz	Sombra	Luz	Sombra	
1	4,5±1,0aAα ¹	4,4±0,9aAα ¹	3,3±1,1aAα ¹	3,5±0,6aAα ¹	3,9a
2	3,6±1,0aAα ¹²	4,8±0,9aAα ¹	3,9±1,1aAα ¹²	3,2±0,6aAβ ²	3,9a
3	4,2±1,1aAα ¹	4,3±0,9aAα ¹	3,5±0,7aAα ¹	3,5±0,2aAα ¹	3,9a
Médias	Espécies		Tratamentos		4,3
	<i>Aniba canelilla</i>		Luz	3,8A	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		Sombra	4,1A	

Medias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, p≤0,05).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Os valores da eficiência intrínseca no uso da água foram semelhantes àqueles observados entre tratamentos e semanas em que o experimento ocorreu, diferindo apenas entre espécies. Interação entre espécies *versus* tratamentos também foi observada (Tabela 6).

Os valores médios para eficiência intrínseca no uso da água para as espécies variaram de 78,4 μmol mol⁻¹ (*A. rosaeodora*) e 97,9 μmol mol⁻¹ (*A. canelilla*) (Tabela 6). No que diz respeito aos tratamentos, esses valores foram 86,4 μmol mol⁻¹ para o tratamento a pleno sol e 93,4 μmol mol⁻¹ para o tratamento de sombra (Tabela 6). Ao longo das semanas, EIUA foi 81,0 μmol mol⁻¹ (1ª semana), 94,1 μmol mol⁻¹ (2ª semana) e 98,3 μmol mol⁻¹ (3ª semana)

(Tabela 6).

Em *A. canelilla*, os valores médios de EIUA foram semelhantes entre tratamentos, exceto na segunda semana em que o tratamento de sombra teve EIUA maior (Tabela 6). Os valores médios de EIUA de *A. canelilla* nos tratamentos foram 90,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_1) e 90,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_2) na 1ª semana, 122,3 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_1) e 83,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_2) na 2ª semana e 101,1 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_1) e 98,3 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_2) na última semana (Tabela 6). Já para *A. rosaeodora*, a EIUA não diferiu entre tratamentos, sendo 61,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_1) e 74,7 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_2) na 1ª semana, 71,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_1) e 91,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_2) na 2ª semana e 77,6 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_1) e 75,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (T_2) na última semana (Tabela 6).

Tabela 6: Eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S : Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L : Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Semana	Espécies				Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		
	Tratamentos				
	Luz	Sombra	Luz	Sombra	
1	90,5±19,9Aα ¹	90,9±16,2bAα ¹	74,7±22,5aAα ¹	61,5±18,6aAα ¹	81,0a
2	83,9±22,1bAα ²	122,3±22,6aAα ¹	91,9±30,9aAα ¹²	71,5±16,5aAβ ²	94,1a
3	98,3±20,7aAα ¹	101,1±21,2abAα ¹	75,9±14,1aAα ¹	77,6±16,1aAα ¹	87,7a
Médias	Espécies		Tratamentos		
	<i>Aniba canelilla</i>	97,9α	Luz	86,4A	101,8
	<i>Aniba rosaeodora</i>	78,4β	Sombra	93,4A	

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Comparando os tratamentos entre as espécies, ficou evidente que as plantas do tratamento a pleno sol apresentaram valores similares de EIUA (Tabela 6). Nesse tratamento, os valores médios de EIUA para *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram, respectivamente, 74,7 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e 90,5 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 1), 91,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e 83,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 2) e 75,9 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ e 98,3 $\mu\text{mol mol}^{-1}$ (semana 3) (Tabela 6). Já no tratamento de sombra, a EIUA observada para *A. canelilla* foi, em geral, semelhante entre as espécies, exceto na

segunda semana, em que *A. canelilla* teve maior EIUA que *A. rosaeodora* (Tabela 6). Os valores médios de EIUA para o tratamento de sombra foram $90,9 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. canelilla*) e $61,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) na primeira semana do experimento; $122,3 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. canelilla*) e $71,5 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) na segunda semana, e $101,1 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. canelilla*) e $77,3 \mu\text{mol mol}^{-1}$ (*A. rosaeodora*) na última semana do experimento (Tabela 6). Os menores valores de EIUA ocorreram na segunda semana do experimento no tratamento de luz de *A. canelilla* e no tratamento de sombra de *A. rosaeodora* (Tabela 6).

O rendimento máximo do fotossistema II (F_v/F_m) foi semelhante entre as espécies, mas foi diferente entre período (época em que as determinações foram realizadas), tratamentos e horários das mensurações (antemanhã e meio-dia) (Tabela 7). Também se observou interações entre períodos *versus* tratamentos, períodos *versus* horários e período *versus* espécie *versus* tratamento (Tabela 7).

As médias de F_v/F_m para *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* foram 0,5 e 0,5, respectivamente (Tabela 7). Nos tratamentos, a média foi 0,7 para o tratamento de sombra e 0,4 para o tratamento a pleno sol. Na antemanhã, a média de F_v/F_m foi 0,6 e 0,4 ao meio-dia (Tabela 7). Durante o experimento, F_v/F_m foi determinado no início, meio e fim do experimento. Esses períodos foram diferentes entre si, sendo 0,6 no início do experimento, 0,5 no meio do experimento e 0,5 no fim (Tabela 7).

Ao longo das semanas, não se verificou alterações nos valores médios de F_v/F_m , exceto para os tratamentos de sombra de ambas as espécies ao meio-dia, que, no meio do experimento, apresentou uma queda do rendimento quântico máximo de fotossistema II. Apesar dessa diminuição de F_v/F_m , houve recuperação no fim do experimento (Tabela 7).

Tanto *A. rosaeodora* quanto *A. canelilla* apresentaram F_v/F_m maiores no tratamento de sombra na antemanhã. Em *A. rosaeodora*, os valores de F_v/F_m na antemanhã do tratamento de sombra foram cerca de duas vezes maiores que no tratamento a pleno sol (Tabela 7).

Comparando-se todos os fatores analisados, ficou evidente que os maiores valores de F_v/F_m ocorrem em *A. rosaeodora* no tratamento de sombra na antemanhã, seguida de *A. canelilla* no mesmo tratamento e horário (Tabela 7). Os menores valores de eficiência foram encontrados nos tratamentos a pleno sol, principalmente no início e ao final do experimento, nas determinações realizadas ao meio-dia e, no início do experimento, nas mensurações realizadas durante a antemanhã (Tabela 7).

Tabela 7: Eficiência fotoquímica do fotossistema II (F_v/F_m) na antemanhã e ao meio-dia em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S : Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L : Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

		Espécies								Médias de Período
		<i>Aniba canelilla</i>				<i>Aniba rosaeodora</i>				
Período	Tratamentos									
	Luz		Sombra		Luz		Sombra			
		Horário								
		MD	AM	MD	AM	MD	AM	MD	AM	
1	0,4±	0,5±	0,6±	0,7±	0,4±	0,5±	0,7±	0,7±	0,6a	
	0,1aB ⁴	0,1aB ²³⁴	0,1aA ¹²³	0,0aA ¹²	0,1aB ⁴	0,1aB ³⁴	0,1aA ¹²³	0,1aA ¹		
2	0,3±	0,5±	0,3±	0,7±	0,3±	0,5±	0,4±	0,7±	0,5b	
	0,1aA ³	0,2aB ²	0,0bA ³	0,1aA ¹	0,2aA ²³	0,2aB ²	0,1bA ²³	0,1aA ¹		
3	0,3±	0,5±	0,7±	0,7±	0,3±	0,5±	0,7±	0,7±	0,5a	
	0,1aB ⁴	0,2aB ²³	0,0aA ¹²	0,0aA ¹	0,1aB ⁴	0,2aB ³	0,0aA ¹	0,1aA ¹		
Médias	Espécies		Tratamentos				Horários		0,50	
	<i>Aniba canelilla</i>		0,49 α	Luz	0,42B	Meio-dia		b0,41		
	<i>Aniba rosaeodora</i>		0,51 α	Sombra	0,68A	Antemanhã		a0,57		

Médias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos no mesmo horário

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Os valores de rendimento quântico máximo observados em *A. canelilla* no período da antemanhã e ao meio-dia no tratamento de luz foram, respectivamente, 0,5 e 0,4 (1ª semana), 0,5 e 0,3 (2ª semana) e 0,5 e 0,3 (3ª semana) (Tabela 7). Em *A. rosaeodora*, os valores verificados de F_v/F_m na antemanhã e ao meio-dia foram os seguintes: 0,5 e 0,4 (1ª semana), 0,5 e 0,3 (2ª semana) e 0,5 e 0,3 (3ª semana), respectivamente (Tabela 7). No tratamento de sombra em *A. canelilla*, os valores de F_v/F_m na antemanhã e ao meio-dia foram 0,7 e 0,6 (1ª semana), 0,7 e 0,3 (2ª semana) e 0,7 e 0,7 (3ª semana), respectivamente (Tabela 7). Por outro lado, em *A. rosaeodora* foram observados os seguintes valores para F_v/F_m na antemanhã e ao meio-dia: 0,7 e 0,7 (1ª semana), 0,7 e 0,4 (2ª semana) e 0,7 e 0,7 (3ª semana) (Tabela 7), respectivamente.

O rendimento de óleos voláteis foi maior nas folhas e semelhante entre caule e raiz (Tabela 8). Os tratamentos e as espécies foram semelhantes entre si, exceto o teor de

óleos na folha de *A. canelilla* no tratamento a pleno sol, bem como na raiz de *A. rosaeodora* em ambos os tratamentos, que apresentaram os menores rendimentos observados no experimento (Tabela 8).

Os valores médios de rendimento de óleos voláteis observados para *A. canelilla* no tratamento a pleno sol foram 0,7% (caule), 1,2% (folha) e 0,8% (raiz) (Tabela 8). Para as plantas do tratamento de sombra, tais valores foram 0,9% (caule), 1,7% (folha) e 1,0% (raiz) (Tabela 8). Em *A. rosaeodora*, os valores médios de rendimento de óleos voláteis observados para *Aniba rosaeodora* no tratamento a pleno sol foram 0,9% (caule), 1,7% (folha) e 0,5% (raiz) (Tabela 8). Por último, nas plantas do tratamento de sombra, os valores observados foram 0,8% (caule), 1,9% (folha) e 0,3% (raiz) (Tabela 8).

Tabela 8: Rendimento de óleo volátil em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Órgãos	Espécies				Médias de Órgãos
	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		
	Tratamentos				
	Luz	Sombra	Luz	Sombra	
Caule	0,7±0,1bA α^1	0,9±0,0bA α^1	0,9±0,0bA α^1	0,8±0,0bA α^1	0,8b
Folha	1,2±0,5aB β^2	1,7±0,2aA α^1	1,7±0,0aA α^1	1,9±0,0aA α^1	1,6a
Raiz	0,8±0,1abA α^{12}	1,0±0,2bA α^1	0,5±0,0cA α^2	0,3±0,0cA α^2	0,7b
Médias	Espécies		Tratamentos		1,0
	<i>Aniba canelilla</i>		1,1 α	Luz 0,9A	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		1,0 α	Sombra 1,1A	

Medias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre órgãos

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

2.4. DISCUSSÃO

A transferência das plantas do ambiente sombreado (500 a $700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para pleno sol (1300 a $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) resultou no aumento da atividade respiratória (22,4%) nas plantas a pleno sol em relação às mantidas à sombra, enquanto que estas últimas mantiveram suas taxas inalteradas ao longo do tempo (Tabela 2).

Observando-se estas respostas em relação ao tempo de experimento, percebe-se que ocorreu um incremento da atividade respiratória de 31% entre o início e o fim do experimento. Entretanto, este aumento ocorreu como resposta imediata ao estresse luminoso, e se manteve estável até o final das avaliações indicando certa acomodação do processo a um nível mais elevado de respiração no escuro (Tabela 2). Alterações no metabolismo respiratório estão relacionadas ao atendimento das demandas para crescimento (Silva *et al.*, 2001) ou, em caso de estresse, para suprir os custos energéticos da aclimatação (Larcher, 1995).

Embora não tenham ocorrido diferenças entre as espécies, *A. canelilla* apresentou um aumento de 46% da respiração, enquanto em *A. rosaeodora* esse incremento foi de 53,6%, comparando-se o início e fim do experimento. Este fato pode estar associado a maior assimilação líquida verificada em *A. rosaeodora* (Tabela 3). Plantas jovens de *A. rosaeodora*, com nove meses, em situação semelhante, intensificaram a respiração quando submetidas à alta irradiância (de $0,6$ a $1,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Gonçalves *et al.*, 2005). Os resultados indicaram intervalo menor de variação de R_d (de $0,4$ a $0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Neste caso, é possível que a idade das plantas seja um fator responsável por esta diferença, sugerindo que plantas mais velhas apresentam melhor desempenho frente ao estresse.

As características fotossintéticas e suas relações, de maneira geral, apresentaram padrão semelhante de respostas nas duas espécies (Tabela 3), de forma que, após um choque inicial pela mudança de ambiente (observado na primeira semana), as plantas apresentaram uma estabilização, em nível mais baixo, de todas as variáveis analisadas, no decorrer do experimento. Conforme esperado, o ambiente a pleno sol resultou em uma condição de estresse que foi sinalizada pelos componentes do processo fotossintético.

Os efeitos da mudança de ambiente sobre a fotoquímica, observados pela redução da razão F_v/F_m , explicam parte do declínio observado na fotossíntese. As determinações desta variável foram realizadas em dois horários no sentido de avaliar a magnitude da fotoinibição crônica (antemanhã) e dinâmica (meio-dia), verificando-se respostas semelhantes entre as

duas espécies. Assim, detectou-se fotoinibição nas plantas sob os dois ambientes ao longo do experimento. Esta condição nas plantas sob sombreamento está provavelmente relacionada às características do período experimental, no qual se observou alteração na temperatura e nível de irradiância, entre a instalação do experimento e a semana seguinte. Nesta semana, houve redução na quantidade de nuvens, o que permitiu a chegada de maior nível de irradiância e a elevação da temperatura. Os efeitos destas flutuações implicaram em declínio em F_v/F_m e nas variáveis de trocas gasosas (condutância, transpiração e, por conseguinte, assimilação de carbono). Então, sob sombreamento, as espécies apresentaram o mesmo nível de fotoinibição crônica. Entretanto, ao meio-dia, *A. canelilla* apresentou melhor desempenho que *A. rosaeodora* (Tabela 13).

Comportamento semelhante tem sido verificado com várias espécies quando submetidas à alta irradiância (Krause et al 2001; Zhang *et al.*, 2002; Ribeiro *et al.*, 2005), inclusive em plantas jovens de *A. rosaeodora* (Gonçalves *et al.*, 2005). Também foi registrado um dano crônico ao processo de conversão de energia, com valor médio de F_v/F_m de 0,6. De qualquer forma, este valor também indicou alguma capacidade de recuperação destes processos, aproximadamente 28%, em relação ao valor observado no horário de maior estresse, embora persista principalmente nas plantas sob estresse luminoso, um prejuízo crônico ao fotossistema II.

No que se refere à fixação de carbono, as implicações dos níveis de luz sobre as trocas gasosas foram investigadas pelas medidas da condutância estomática, da transpiração, da condutância do mesófilo (C_i) e das relações que resultam na determinação da eficiência no uso da água (EUA) e na eficiência intrínseca no uso da água (EIUA).

Caracteristicamente, *A. rosaeodora* apresenta fotossíntese líquida cerca de 25% maior que *A. canelilla*. Observando-se as respostas ao longo do tempo de experimento, verificou-se um declínio da assimilação na segunda semana em todos os tratamentos, e em seguida uma estabilização em menor nível ($p \leq 0,05$). A queda generalizada da assimilação de carbono pode ter sido consequência das flutuações observadas para temperatura e nível de irradiância, no período de instalação do experimento em relação à segunda semana. O fato é que pequenas alterações da temperatura reduzem a fotossíntese, pelo prejuízo que causam à estrutura das membranas dos tilacóides e pela desativação da rubisco (Sharkey, 2005). Contudo, observando-se os valores médios de fotossíntese, condutância estomática e transpiração, verifica-se que a condição de sombreamento possibilitou desempenho com valores percentuais maiores em relação ao ambiente a pleno sol, 47%, 33% e 28%, respectivamente.

As respostas à irradiância expressam a plasticidade que uma espécie apresenta as alterações dos níveis de luz no ambiente. Embora o estágio sucessional ao qual uma espécie pertença gere expectativas quanto ao seu desempenho frente ao estresse, estas respostas variam bastante, de forma que plantas de sucessão secundária como o Ipê-branco alcançam maior desempenho quando sombreadas (Tatagiba *et al.*, 2006). Resultados semelhantes foram verificados em *A. rosaeodora* e em *Cupania vernalis*, onde se registrou maior taxa fotossintética quando as plantas estavam a pleno sol ou sob leve sombreamento. No entanto, sob sombreamento, as características como crescimento, teor de pigmentos e nitrogênio na folha apresentaram melhores resultados (Gonçalves *et al.*, 2005; Júnior Lima *et al.*, 2005).

A. rosaeodora e *A. canelilla* exibiram padrão semelhante de resposta em relação à assimilação de carbono nos dois níveis de luz, porém observou-se menor impacto do estresse por alta irradiância sobre *A. rosaeodora* ao longo do tempo, especialmente na segunda semana, em que as plantas de *A. canelilla* apresentaram menor fotossíntese, de forma que as duas espécies, no tratamento a pleno sol, diferiram apenas neste período. Em seguida, houve estabilização nos valores da fotossíntese. Em termos do desempenho das espécies perante o estresse, observou-se que *A. rosaeodora* também apresentou maiores valores de condutância estomática (43%) e transpiração (39%). Estas características concorrem para a manutenção de taxas de fotossíntese relativamente altas, pois não há restrição à entrada de carbono, enquanto maior transpiração providencia o equilíbrio da temperatura necessário a um balanço energético satisfatório na folha (Sharkey, 2005). No entanto, nas relações definidas pela EUA e EIUA que explicam boa parte do desempenho de uma espécie perante situações de estresse, *A. canelilla* se mostrou mais eficiente que *A. rosaeodora*, cerca de 21% e 20%, respectivamente. A EUA traduz, em termos gerais, a eficiência no consumo de água para assimilar carbono e produzir biomassa. Sendo assim, maior EUA pode estar associada à maior capacidade de refixar carbono (Tambussi *et al.*, 2007).

Contudo, não houve alteração nas concentrações de carbono interno entre as espécies ou em resposta às condições de luz. Estas observações sugerem que, tal como verificado com a eficiência intrínseca do fotossistema II, houve comprometimento da atividade metabólica da fixação de CO₂ nas duas espécies desde que, com o declínio da condutância estomática, não houve alteração na concentração de C_i (Konrad *et al.*, 2005).

As espécies apresentaram comportamento semelhante, quanto ao conteúdo de óleo nas duas condições de luz (Tabela 15). Contudo, ao observar-se o efeito dos tratamentos na distribuição de óleo em cada espécie, verifica-se que este se mantém inalterado em *A.*

rosaeodora, onde os maiores teores são encontrados nas folhas, seguidos do caule e menores em raízes, e não havendo diferenças entre os tratamentos. Em contraste, em *A. canelilla*, ainda que o padrão de particionamento seja o mesmo, a pleno sol, o conteúdo de óleo das folhas foi menor que sob sombra e o rendimento da raiz não diferiu do foliar e do caule.

Embora a produção de terpenos esteja associada à fotossíntese, especialmente de monoterpenos que são biossintetizados a partir de 3PGA/piruvato na via do metil-eritritol-fosfato nos cloroplastos (Lichtenthaler, 1999), não se reconhece, em relação ao rendimento de óleos voláteis, um padrão de respostas à luz entre as espécies (Pinto *et al.*, 2007). De tal forma que, em espécies como *Lipia alba* (Ventrela e Ming, 2000) e *Baccharis trimera* (Silva *et al.*, 2006) verificou-se incremento nos teores de óleos em elevada irradiância, enquanto que em *Salvia officinalis* (Li *et al.*, 1996) e *Limnathes alba* (Jolliff *et al.*, 1993), ocorreu redução nos teores. Em *Ocimum selloi*, todavia, houve ausência de efeito da luz (Gonçalves, 2001).

A relação entre a biossíntese de óleos voláteis e o aparato fotossintético indica que maior rendimento destes compostos deverá ocorrer nas situações de maior assimilação fotossintética, fato que se verificou nas folhas de *A. canelilla*. Por outro lado, a manutenção no rendimento de óleo observado em *A. rosaeodora* na condição a pleno sol, sugere maior estabilidade deste metabolismo nesta espécie.

2.5. CONCLUSÃO

Em plantas de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla*, com 18 meses de idade, a aclimação à ambientes com alta irradiância ocorre por meio de mecanismos que mantêm o metabolismo fotossintético em níveis mais baixos. Esta condição está relacionada às limitações observadas na conversão de energia do fotossistema II e nas trocas gasosas.

Aniba rosaeodora mostrou-se ser uma espécie melhor adaptada a níveis mais elevados de irradiância, tanto pelas características das trocas gasosas quanto para a biossíntese de óleos voláteis, que se mantiveram semelhantes nas duas condições.

Aniba canelilla, apesar das limitações impostas pelo estresse luminoso, apresentou maior eficiência no uso da água, aspecto vantajoso quando em condições naturais combinam-se os estresses por elevada irradiância e hídrico.

As duas espécies apresentaram capacidade de tolerância à transferência imediata para ambientes contrastantes de luz, característica que facilita o manejo silvicultural destas plantas.

2.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chaar, J. da S. 2000. Estudos analíticos e modificação química por acetilação do linalol contido no óleo essencial da espécie *Aniba duckei* Korstermans. M aster's Thesis, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 150pp.
- Chaves, M. M.; Pereira, J. S.; Maroco, J.; Rodrigues, M. L.; Ricardo, C. P. P.; Osório, M. L.; Carvalho, I.; Faria, T.; Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field? photosynthesis and growth. *Annals of Botany*. v.89, p.907-916.
- Clevenger, J. F. 1928. Apparatus for volatile oil determination. *American Perfumer and Essential Oil Review*. p. 467-468.
- Demmig-Adams, B; Adams III, W.W. 2006. Photoprotection in an ecological context: the remarkable complexity of thermal energy dissipation. *New Phytologist*, 172: 11–21.
- Dias, DP, Marengo, RA. 2006. Photoinhibition of photosynthesis in *Minuartia guianensis* and *Swietenia macrophylla* inferred by monitoring the initial fluorescence. *Photosynthetica*, 44 (2): 235-240.
- Gonçalves, J.F. de C.; Santos Junior, U.M. dos 2005a. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (3): 307-313.
- Gonçalves, J.F. de C.; Barreto, D.C. de S.; Santos Junior, U.M. dos; Fernandes, A.V.; Sampaio, P. de T.B., Buckeridge, M.S. 2005b. Growth, photosynthesis and stress indicators in rosewood young plants (*Aniba rosaeodora* ducke) under different light intensities. *Braz. Journal of Plant Physiology*, 17 (3):325-334.
- Gonçalves, J. F. de C.; Marengo, R. A.; Vieira, G. 2001. Concentration of photosynthetic pigment and chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two light environments. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 13 (2): 149-157.
- Gottlieb, O.R.; Magalhães, M.T. 1959. Occurrence of 1-nitro-2-phenylethane in *Ocotea pretiosa* and *Aniba canelilla*. *J. Org. Chem*, 24: 2070-2071.
- Gottlieb, O. R.; Magalhães, M. T. 1960. Essential oil of the bark and wood of *Aniba canelilla*. *Perf. Essent. Oil Rec.*, 51: 69.
- Guo, Y., Ma, Y.T., Zhan, Z.G., Li, B.G., Dingkuhn, M., Luquet, D., and de Reffye, P. 2006.

- Parameter optimization and field validation of the functional–structural model GREENLAB for maize. *Annals of Botany*. 97: 217-230.
- Konrad, M.L.F.; Silva, J. A. B.; Furlani, P. R.; Machado, E. C. 2005. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, Campinas, 64 (3): 339-347.
- Krause, G.H.; Koroleva, O.Y.; Dalling, J.W.; Winter, K. 2001. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. *Plant, Cell and Environment*, 24: 1345-1352.
- Kuhn, U.; Rottenberger, S.; Biesenthal, T.; Wolf, A.; Schebeske, G.; Ciccioli, P.; Kesselmeier, J. 2004. Strong correlation between isoprene emission and gross photosynthetic capacity during leaf phenology of the tropical tree species *Hymenaea courbaril* with fundamental changes in volatile organic compounds emission composition during early leaf development. *Plant Cell Environ* 27: 1469–1485.
- Larcher, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima. 2000. 531p.
- Lawlor, D.W., Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ*, 25: 275–294.
- Li, Y.; Craker, L.; Poterr T. 1996. Effect of light level on essential oil production of sage (*Salvia officinalis*) and thyme (*Thymus vulgaris*). *Acta Horticulturae*, 426: 419-427.
- Lichtenthaler, H. K. 1999. The 1- deoxy- D – xylulose-5-phosphate pathway of isoprenoid biosynthesis in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 50: 47-65.
- Lovelock, C.E.; Kursar, T. A.; Skillman, J. B; Winter, K. 1998. Photoinhibition in tropical forest understorey species with short- and long-lived leaves. *Functional Ecology*, 12(4): 553-560.
- Marenco, R.A.; Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G. 2001. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional *status* in two light environments in central Amazonia. *Tree Physiology*, 21(18):1311-1318.
- Marques, C.A. 2001. Importância econômica da família Lauraceae Lindl. *Floresta e Ambiente*, 8(1): 195-206.
- Öquist, G.; Chow, W.S.; Anderson, J.M. 1992. Photoinhibition of photosynthesis represents

- a mechanism for the long-term regulation of photosystem II. – *Planta* 186: 450-460.
- Pinto J. E. B. P.; Cardoso J. C. W.; Castro E. M.; Bertolucci S. K.; Melo L. A.; Dousseau S. 2007. Aspectos morfofisiológicos e conteúdo de óleo essencial de plantas de alfazema-do-Brasil em função de níveis de sombreamento. *Horticultura Brasileira* 25: 210-214.
- Ribeiro, R.V.; Souza, G.M.; Oliveira, R.F.; Machado, E.C. 2005. Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. *Revista Brasileira de Botânica*, 28:149-161.
- Sampaio, P. T. B.; Barbosa, A. P.; Vieira, G. e Spironello, W. R.; Ferraz, I.D.K. e Camargo, J.L.C. 2003. Silvicultura do Pau Rosa (*Aniba rosaeodora Ducke*). In: Higuchi, N. et al.,(orgs.). Projeto Jacaranda Fase II: *Pesquisas Florestais na Amazônia Central*. Manaus: INPA, 2: 179-189.
- Sangwan, N. S.; Farooqi, A. H. A.; Shabih, F.; Sangwan, R. S. 2001. Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, 34: 3-21.
- Sharkey, T. D. 2005. Effects of moderate heat stress on photosynthesis: importance of thylakoid reactions, rubisco deactivation, reactive oxygen species, and thermotolerance provided by isoprene. *Plant, Cell and Environment* (28): 269–277.
- Silva, M. M. P.; Vasquez, H. M.; Bressan-Smith, R. E.; Coelho da Silva, J. F.; Erbesdobler, E. D. 2001. Diferenças varietais nas características fotossintéticas de *Pennisetum purpureum* Schum. *Rev. Bras. Zootec.*, 30(6S):1975-1983.
- Sharkey, T. D. 2005 Effects of moderate heat stress on photosynthesis: importance of thylakoid reactions, rubisco deactivation, reactive oxygen species, and thermotolerance provided by isoprene. *Plant, Cell and Environment* (28): 269–277.
- Silva, F.G.; Pinto, J. E. B. P.; Cardoso, M. G.; Nascimento, E. A.; Nelson, D. L.; Sales, J. F.; Mol, D. J. S. 2006. Influence of radiation level on plant growth, yield, and quality of essential oil in carqueja. *Ciência e Agrotecnologia* 30: 52-57.
- Tambussi, E. A.; Bort, J.; Araus, J. L. 2007. Water use efficiency in C₃ cereals under Mediterranean conditions: a review of physiological aspects. *Annals of Applied Biology* 15 (3): 307-321.
- Dan Tatagiba, S.; Dardengo, M. C. J. D.; Pezzopane, J. E. M.; Reis, E. F. 2006. Influência de diferentes sombreamentos no comportamento fisiológico de duas espécies arbóreas

em estado juvenil. *Anais do X Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação* – Universidade do Vale do Paraíba, p. 2938-2941.

Ventrella, M.C.; Ming, L.C. 2000. Produção de matéria seca e óleo essencial em folhas de erva-cidreira sob diferentes níveis de sombreamento e épocas de colheita. *Horticultura Brasileira* 18: 972-974.

Wang, M.; Lincoln, D. E. 2004. Effects of light intensity and artificial wounding on monoterpene production in *Myrica cerifera* from two different ecological habitats. *Can. J. Bot.* 82(10): 1501–1508.

Yordanov, I.; Velikova, V.; Tsonev, T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulg. J. Plant Physiol.*, Special Issue: 187-206.

ANEXOS 2

Tabela 1: Análise de variância da respiração no escuro em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	0,2*
Espécie (Sp)	1	0,0ns
Tratamento (Trat)	1	0,2**
Sem X Sp	2	0,0ns
Sem X Trat	2	0,1**
Sp X Trat	1	0,0ns
Sem X Sp X Trat	2	0,0ns
Erro	80	0,0
Média		-0,5
CV (%)		21,7

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 2: Análise de variância da fotossíntese em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	42,3**
Espécie (Sp)	1	32,4**
Tratamento (Trat)	1	45,1**
Sem X Sp	2	1,4ns
Sem X Trat	2	3,3ns
Sp X Trat	1	3,8*
Sem X Sp X Trat	2	1,5ns
Erro	64	1,4
Média		4,1
CV (%)		28,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 3: Análise de variância da condutância (g_s) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ao longo de três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	0,0**
Espécie (Sp)	1	0,0**
Tratamento (Trat)	1	0,0**
Sem X Sp	2	0,0ns
Sem X Trat	2	0,0ns
Sp X Trat	1	0,0*
Sem X Sp X Trat	2	0,0ns
Erro	64	0,0
Média		0,1
CV (%)		43,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 4: Análise de variância de transpiração (E) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante de três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	2,9**
Espécie (Sp)	1	7,3**
Tratamento (Trat)	1	2,8**
Sem X Sp	2	0,0ns
Sem X Trat	2	0,3ns
Sp X Trat	1	0,8*
Sem X Sp X Trat	2	0,0ns
Erro	64	0,2
Média		1,1
CV (%)		34,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 5: Análise de variância da eficiência no uso da água (EUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	0,0ns
Espécie (Sp)	1	9,4**
Tratamento (Trat)	1	0,2ns
Sem X Sp	2	0,2ns
Sem X Trat	2	0,5ns
Sp X Trat	1	1,1ns
Sem X Sp X Trat	2	1,5ns
Erro	64	0,8
Média		3,9
CV (%)		23,1

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 6: Análise de variância da eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Semana (Sem)	2	716,5ns
Espécie (Sp)	1	7031,4**
Tratamento (Trat)	1	34,9ns
Sem X Sp	2	3,8ns
Sem X Trat	2	247,2ns
Sp X Trat	1	2118,6*
Sem X Sp X Trat	2	1273,4ns
Erro	64	458,9
Média		88,7
CV (%)		24,2

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 7: Análise de variância da eficiência fotoquímica do fotossistema II (Fv/Fm) na antemanhã e ao meio-dia em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Período (Per)	4	0,2**
Espécie (Sp)	1	0,0ns
Tratamento (Trat)	1	1,8**
Horário (H)	1	1,1**
Per X Sp	4	0,0ns
Per X Trat	3	0,1**
Per X H	3	0,1*
Sp X Trat	1	0,0ns
Sp X H	1	0,0ns
Trat X H	1	0,0ns
Per X Sp X Trat	3	0,0ns
Per X Sp X H	3	0,0ns
Per X Trat X H	2	0,1**
Sp X Trat X H	1	0,0ns
Per X Sp X Trat X H	2	0,0ns
Erro	280	0,0
Média		0,5
CV (%)		25,6

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 8: Análise de variância do rendimento de óleos voláteis folha, caule e raiz de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos de luz (T_S: Tratamento de sombra, com PPFD = 500 a 700 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_L: Tratamento de luz, com PPFD = 1300 a 1800 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante três semanas.

Fonte de Variação	GL	QM
Espécie (Sp)	1	0,0ns
Sistemas (Sist)	1	0,1ns
Órgãos (Org)	2	2,1**
Sp X Sist	1	0,2*
Sp X Org	2	0,4**
Sist X Org	2	0,1ns
Sp X Sist X Org	2	0,0ns
Erro	12	0,0
Média		1,0
CV (%)		15,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

3. CAPÍTULO III

CRESCIMENTO, TROCAS GASOSAS E POTENCIAL DE ÁGUA NA FOLHA EM *Aniba rosaeodora* Ducke E *Aniba canelilla* (Kunth) Mez SUBMETIDAS A DIFERENTES CONDIÇÕES DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA

Resumo

Os efeitos da supressão hídrica sobre as características fotossintéticas (A , $A_{\text{máx}}$, R_d , I_c , I_s , ϕ_a), as trocas gasosas (g_s , E) e suas relações (EUA, EIUA), bem como sobre o crescimento em comprimento e em biomassa foram investigados em plantas jovens de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* em casa de vegetação durante 35 dias. As plantas foram submetidas a dois tratamentos ($n=10$): I - mudas-controle, com irrigação homogênea diária e NI - mudas submetidas a déficit hídrico pela suspensão da rega até que as plantas atingissem fotossíntese próxima a zero. A partir de então as plantas foram reidratadas e avaliadas por duas semanas. A assimilação e as trocas gasosas foram determinadas sob diferentes densidades de fluxos de fótons (PPFD), com o auxílio de IRGA de sistema aberto. $A_{\text{máx}}$, R_d , I_c , I_s , ϕ_a foram obtidos a partir de curvas de luz (PPFD = 0 a $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ajustadas segundo o modelo exponencial. Em NI, a alta variabilidade dos dados impossibilitou a avaliação destas variáveis. Semanalmente, foram determinados A , R_d , g_s , e E sob luminosidade de 0 ou $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. O potencial hídrico das plantas (ψ_w) foi mensurado na ante-manhã (ψ_{pd}) e ao meio-dia (ψ_{md}) no início e até 24 dias de experimento. As espécies tiveram respostas similares nas trocas gasosas, observadas em $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Entretanto, sob $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, as espécies apresentaram assimilação semelhante, mas respostas distintas com relação às trocas gasosas. De maneira geral, o estresse hídrico limitou o crescimento nas duas espécies de forma semelhante e favoreceu uma maior alocação de biomassa para raízes. As duas espécies responderam a reidratação com novos lançamentos foliares.

3.1. INTRODUÇÃO

As alterações no clima global indicam possíveis modificações na distribuição de chuvas nos diversos ecossistemas florestais do planeta, incluindo a Amazônia (Arnell, 1999). Tal perspectiva pode significar escassez de água por longos períodos na região e aumento da temperatura local, que por sua vez comprometem o metabolismo primário da planta, limitando a assimilação de carbono e o desenvolvimento dos vegetais (Bonan, 2008). Em longo prazo, tais mudanças podem pôr em risco o processo de regeneração florestal, que juntamente com as queimadas naturais devido às mudanças climáticas, podem resultar na modificação fitofisionômica da serem paisagem amazônica (Malhi *et al.*, 2008).

Apesar de as chuvas serem bem distribuídas ao longo do ano na Amazônia, variações sazonais são observadas na região, com períodos de chuvas intensas e períodos de estiagens (Ferreira *et al.*, 2005). Diariamente, em seu ambiente natural, as plantas são submetidas a essas alterações na quantidade de água, sendo capazes de se adequar às condições do ambiente de acordo com seu potencial genético (Krause *et al.*, 2001), de forma que podem ocorrer variações fenotípicas resultantes das propriedades genética do organismo ou da influência do ambiente na expressão do genótipo (Fuzeto e Lomônaco, 2000).

Com o intuito de minimizar os efeitos da falta de água ou da perda em excesso desta, as espécies podem utilizar diversos mecanismos, dentre eles o ajustamento osmótico (Ingram e Bartels, 1996). Assim, o acúmulo intracelular de solutos garante a diminuição do potencial hídrico e a manutenção do teor de água na planta (Bianchi *et al.*, 2005) e, desta forma, sob estresse hídrico, a planta consegue manter o funcionamento de seus processos vitais (Calbo e Moraes, 2000; Chaves Filho e Stacciarini-Seraphin, 2001; Freitas *et al.*, 2003). Outra medida funcional no sentido de evitar a dessecação, reflete-se na morfologia da planta, como maior alocação de biomassa para as raízes, redução da superfície transpirante e ampliação do sistema radicular (Larcher, 2000).

Além de ser limitante para a assimilação de nutrientes, a baixa disponibilidade de água pode interferir no processo fotossintético, limitando a síntese e distribuição de moléculas-chave, induzindo o fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, reduzindo a condutância estomática, visando minimizar a transpiração (Tuzet *et al.*, 2003). A falta de água também compromete a eficiência fotossintética pela ausência de elétrons redutores das moléculas de NADPH₂, doados durante a quebra oxidativa da molécula de água (Brunini, 1979; Westgate, 1994; Eckstein e Robinson, 1996; Souza *et al.*, 2001). Por outro lado, admite-se que tal

mecanismo evita sobrecarga do aparato fotossintético e sua possível desestruturação, além de contribuir para a síntese de intermediários importantíssimos para o metabolismo da planta (Eckstein e Robison, 1996; Souza *et al.*, 2001; Körner, 2006).

Desse modo, o conhecimento dos mecanismos fisiológicos, morfo-anatômicos e genéticos, de respostas à disponibilidade hídrica em plantas tornam-se ferramentas estratégicas para os cultivos de importância econômica. Igualmente nas iniciativas de conservação de espécies ameaçadas de extinção, como *Swietenia macrophylla* (mogno), *Cedrela odorata* (cedro) e *Aniba rosaeodora* (pau-rosa). No caso da conservação e em se tratando de espécies amazônicas, há sobreposição do interesse econômico com a necessidade de conservação, justamente pelo fato destas espécies de alto valor econômico ser àquelas mais visadas e, pelo fato de serem exploradas de forma inadequada, deixando-as em vias de extinção.

Um exemplo disto é *Aniba rosaeodora*, espécie pertencente à família botânica Lauraceae, que apresenta o odor ranaleano como característica típica. Essa espécie tem como principal importância econômica a extração do óleo volátil rico em linalol, substância utilizada na indústria de cosméticos, especialmente como fixadora na produção de perfumes. O comércio do óleo dessa espécie chegou a ocupar o terceiro lugar na pauta de exportação da região Amazônica, sendo os principais produtores dessa essência os estados do Amazonas e Pará (Marques, 2001; May e Barata, 2004).

O gênero *Aniba* reúne espécies de importância econômica para diversos fins, dentre os quais se destacam as aromáticas e produtoras de óleos voláteis, *Aniba rosaeodora*, *Aniba canelilla*, *Aniba guianensis* (Marques, 2001). Por esta propriedade, e também pelos riscos decorrentes de diferentes pressões de predação (pragas de insetos, exploração sem manejo de árvores para extração de óleo), a espécie *A. rosaeodora* tem motivado esforços de pesquisa em diferentes áreas do conhecimento (Maia *et al.*, 2003). Também recebe destaque neste gênero *Aniba canelilla*, casca-preciosa, espécie produtora de óleo volátil de odor agradável, com forte aroma de canela, que apresenta potencial para uso em indústrias de cosmético e perfumaria (Barata e May, 2004), sendo ainda utilizada na medicina tradicional na forma de chá da casca e folhas, como antiespasmódico, digestivo, eupéptico, peitoral e excitante entre outros fins (Corrêa, 1984; Martins, 1989; Almeida, 1993).

A despeito de todo o potencial econômico destas espécies poder ser convertido em processos e produtos, ainda falta muito do ponto de vista do conhecimento nas áreas da silvicultura, fisiologia e bioquímica das espécies, para se garantir informação visando o

aumento da produção destas plantas frente às variações dos fatores primários.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi investigar as respostas fisiológicas decorrentes da supressão hídrica, detectadas nas avaliações das trocas gasosas, produção de óleos voláteis e nas características de crescimento em duas espécies do gênero *Aniba*.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Local de estudo e condições de instalação do experimento:

O estudo foi conduzido na área experimental da Faculdade de Ciências Agrárias, situada no Mini-Campus da Universidade Federal do Amazonas - UFAM (3°09', 59°97W), onde o clima é do tipo Af_i segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 27°C±5 e a precipitação anual em torno de 2200mm, sendo o período seco de junho a novembro (precipitação mensal < 100mm) e chuvoso de dezembro a maio (precipitação > 300mm). O microclima na casa de vegetação apresentava temperatura média de 32°C (máxima de 39°C±1 e mínima de 26°C±1), luminosidade média de 1100±250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e umidade relativa média de 35±5%. A temperatura, a densidade de fluxo de fótons e a umidade relativa no viveiro foram determinadas com o auxílio de porômetro portátil (Steady State Porometer- modelo LI- 1600M), ao longo do dia, durante todo o experimento. Plantas jovens de regeneração natural de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e de casca-preciosa (*Aniba canelilla* (Kunth) Mez), medindo cerca de 20 cm, foram coletadas na Reserva Florestal Adolpho Ducke (Rodovia AM-010, Km 26 – Manaus/AM) e mantidas durante 60 dias em viveiros com sombreamento de 50% de irradiância incidente, para seu estabelecimento. Durante este período, todas as plantas foram irrigadas diariamente para manter-se a capacidade de campo. Após esse período, as plantas jovens de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* utilizadas no experimento foram selecionadas quanto à uniformidade de altura (cerca de 24±5 cm) e estado fitossanitário, em seguida, foram transplantadas para substrato composto por mistura de terriço e areia (2:1 v/v) em vasos plásticos, com capacidade para 10 Kg, sendo mantidas sob condições controladas de casa de vegetação. Durante 35 dias, as mudas foram submetidas a dois tratamentos (com 10 repetições cada): I – mudas-controle, com irrigação homogênea e diária, mantendo o solo em capacidade de campo; NI – mudas submetidas a déficit hídrico pela suspensão da irrigação até que as plantas atingissem fotossíntese próxima a zero. A partir desse momento, estas plantas voltaram a receber irrigação diária. Ao longo do experimento foram analisadas variáveis referentes à assimilação e trocas gasosas, ao crescimento e à biomassa das plantas bem como o potencial hídrico destas.

A falta de folhas e o estado hídrico das folhas restantes nas mudas, que já apresentavam ψ_w muito negativos, impossibilitaram o acompanhamento desta variável até os

35 dias de experimento.

3.2.2. Determinação do potencial hídrico foliar

Determinou-se o potencial hídrico foliar (ψ) na antemanhã (ψ_{pd}) e ao meio-dia (ψ_{md}), no tratamento-controle (com regime de rega regular) e no tratamento não-irrigado (que sofreu supressão hídrica), no início do experimento e até 24 dias de suspensão da rega, sendo tais medidas realizadas nos tratamentos irrigado e não-irrigado. A determinação do potencial de água na folha foi feita em cinco indivíduos por tratamento, para tanto foi utilizada bomba de pressão tipo Scholander (Scholander *et al.*, 1965). Folhas completamente expandidas e em bom estado fitossanitário, de cada planta, foram coletadas e acondicionadas individualmente na bomba de pressão, onde foram aplicadas pressões até ocorrer a exsudação pelo pecíolo da folha – neste momento foi feita a leitura (Turner, 1981).

3.2.3. Determinação das taxas de assimilação líquida e de trocas gasosas

Os dados da curva de resposta fotossintética à intensidade luminosa foram obtidos para uma densidade de fluxo de fótons (PPFD) entre 0 e 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e o aparelho ajustado para funcionar com concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, $31 \pm 1^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente. A irradiância utilizada foi proveniente da fonte de luz diodo (LED) vermelho-azul – modelo 6400-02, LI-COR. Após o ajuste do equipamento, cada folha passou por um período de adaptação de 10 a 15 min. Em seguida os dados foram coletados à medida que as folhas se adaptavam às novas condições luminosas, iniciando-se a coleta a $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com a determinação da respiração no escuro (R_d), e aumentando-se gradativamente até $2000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Os dados foram obtidos no modo manual e posteriormente foram ajustados utilizando-se o seguinte modelo da equação exponencial (Iqbal *et al.*, 1997), com o auxílio do programa Statistica 6.0 versão Windows (StatSoft, Inc., Tulsa, USA):

$$A = (A_{\text{máx}} + R_d) [1 - \exp(-\alpha I / (A_{\text{máx}} + R_d))] - R_d$$

Nesta equação, A representa a fotossíntese líquida, $A_{\text{máx}}$ representa a fotossíntese máxima sob condições de luz saturante ($I \rightarrow \infty$), I representa a intensidade luminosa. Assim

como a taxa de fotossíntese máxima ($A_{m\acute{a}x}$), a irradiância de compensação (I_c) e a de saturação (I_s) foi estimada a partir da curva da equação exponencial.

A determinação das taxas de fotossíntese líquida (A), respiração no escuro (R_d), transpiração (E) e condutância estomática (g_s) foi realizada em quatro indivíduos por tratamento utilizando-se analisador de gás infravermelho (IRGA) portátil, de sistema aberto, modelo LI-COR 6400, conforme metodologia descrita por Marengo *et al.* (2001). Os dados foram coletados entre 9:00 h e 11:00 h, em folhas completamente expandidas situadas no terço médio das plantas e com aspectos fitossanitários adequados. Para cada tratamento foi selecionada uma folha por planta para compor a repetição e foram realizadas 10 leituras por folha. Os dados de fotossíntese máxima e trocas gasosas foram obtidos para uma densidade de fluxo de fótons (PPFD) de $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (respiração no escuro) e $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (fotossíntese líquida) e o aparelho ajustado para funcionar com concentração de CO_2 , temperatura e vapor de H_2O em torno de $380 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$, $31 \pm 1^\circ\text{C}$ e $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$, respectivamente. A irradiância utilizada foi proveniente da fonte de luz diodo (LED) vermelho-azul – modelo 6400-02, LI-COR. Após o ajuste do equipamento, cada folha passou por um período de adaptação de 10 a 15 min.

3.2.4. Análise de crescimento

O crescimento absoluto do comprimento da parte aérea (altura) e comprimento em diâmetro foram obtidos a partir da mensuração destas partes com régua milimetrada e paquímetro, respectivamente. O ganho foliar (GF) foi calculado conforme Benincasa (1986). $(\text{NFN}/\text{NOF}) * [100/(\text{T})]$, onde NFN é o número de folhas novas e NOF o número de folhas originais. O crescimento absoluto em massa foliar (AGR-lm), em massa caulinar (AGR-sm), em massa radicular (AGR-rm) e em massa da planta (AGR-pm) foram determinados segundo Bugbee (1996): $\text{AGR-m} = (\text{WDf} - \text{WDi})/\text{T}$, onde WD é a massa das partes da planta. A área foliar total (AFT) foi determinada com o medidor de área foliar (LiCOR 3000a), sendo medidas em 10 folhas/tratamento. A razão de massa foliar (RPF) e a área foliar específica foram obtidas pelas seguintes equações: $\text{RPF} = \text{MF}/\text{MTP}$ (onde MF é a massa foliar seca e MTP a massa total da planta) e $\text{AFE} = \text{AF}/\text{MF}$ (onde AF é a área foliar, sendo realizada a partir de discos foliares de área conhecida), respectivamente. Todas as variáveis mencionadas foram medidas no início e/ou ao final de 35 dias de suspensão da rega.

3.3. RESULTADOS

O potencial hídrico (Ψ_w), em média, diferiu entre horário (antemanhã e meio-dia), espécies e tratamentos, e houve interação espécie vs tratamento ($p \leq 0,01$) (Figura 1).

A média de Ψ_w para os horários foi de $-1,3 \pm 1,6$ MPa na antemanhã e $-2,3 \pm 1,4$ MPa ao meio-dia (Figura 1). A média de Ψ_w em *Aniba canelilla* ($-1,8 \pm 1,5$ MPa) foi maior que em *Aniba rosaeodora* ($-2,1 \pm 1,6$ MPa) (Tabela 1). Já nos tratamentos, as plantas do tratamento irrigado (controle) ($-1,0 \pm 0,8$ MPa) apresentaram Ψ_w menos negativo em relação às plantas do tratamento não-irrigado (que sofreu supressão hídrica durante 24 dias) ($-4,4 \pm 1,3$ MPa), (Figura 1, Tabela 1).

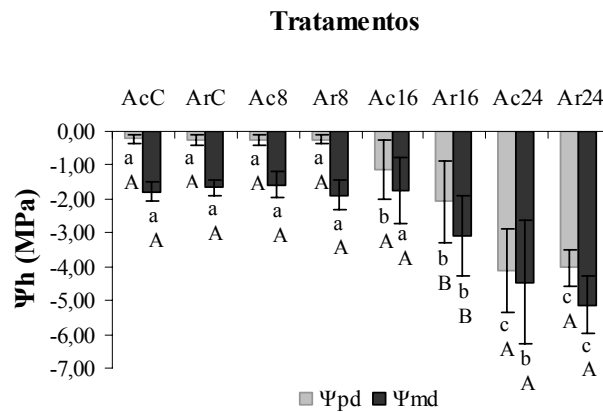


Figura 1: Potencial hídrico foliar da antemanhã (Ψ_{pd}) e ao meio-dia (Ψ_{md}) em plantas jovens *Aniba canelilla* (Ac) e *Aniba rosaeodora* (Ar) no tratamento-controle (C) e nos tratamentos com 8, 16 e 24 dias de supressão hídrica. Média \pm Desvio-padrão. Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$. Letras minúsculas indicam comparação entre espécies. Letras maiúsculas indicam comparação entre tratamentos.

Em geral, Ψ_w apresentou valores na faixa de $-0,05$ MPa a $-6,0$ MPa, variando de $-0,2$ MPa a $-5,00$ MPa na antemanhã, e de $-1,1$ MPa a $-6,00$ MPa ao meio-dia (Figura 1). Nas espécies, a variação foi de $-0,2$ MPa a $-6,00$ MPa em *Aniba canelilla* e de $-0,05$ MPa a $-6,00$ MPa em *Aniba rosaeodora* (Figura 1). Considerando os tratamentos, Ψ_w apresentou valores que variaram de $-0,05$ MPa a $-6,00$ MPa (Figura 1). No tratamento-controle, Ψ_w variou $-0,05$ MPa a $-2,2$ MPa. Já no tratamento não-irrigado, os valores de Ψ_w em T_{24} variaram de $-1,2$ MPa a $-6,00$ MPa (Figura 1), diminuindo cerca de 3 a 24 vezes em relação ao tratamento irrigado.

Tabela 1: Potencial hídrico (Ψ_w) de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T_0 : Controle; T_1 : suspensão de rega por oito dias; T_{16} : suspensão de rega por dezesseis dias; T_{24} : suspensão de rega por 24 dias) monitorados ao longo de cinco semanas.

Tratamentos	Espécies		Médias (Tratamento)
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>	
0	-1,1±0,8aA	-1,0±0,8aA	-1,0±0,8a
8	-1,1±0,7aA	-1,2±0,9aA	-1,1±0,8a
16	-1,6±1,0aA	-2,7±1,3bB	-2,0±1,2b
24	-4,3±1,5bA	-4,6±0,9cA	-4,4±1,3c
Média (Espécie)	-1,8±1,5A	-2,1±1,6B	-1,9

Médias \pm SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre os tratamentos (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

As curvas de resposta à luz, ajustadas pelo modelo exponencial, demonstram que as espécies apresentam respostas fotossintéticas similares, tendo pontos de compensação e de saturação próximos e exibindo uma forma assintótica (Figura 1).

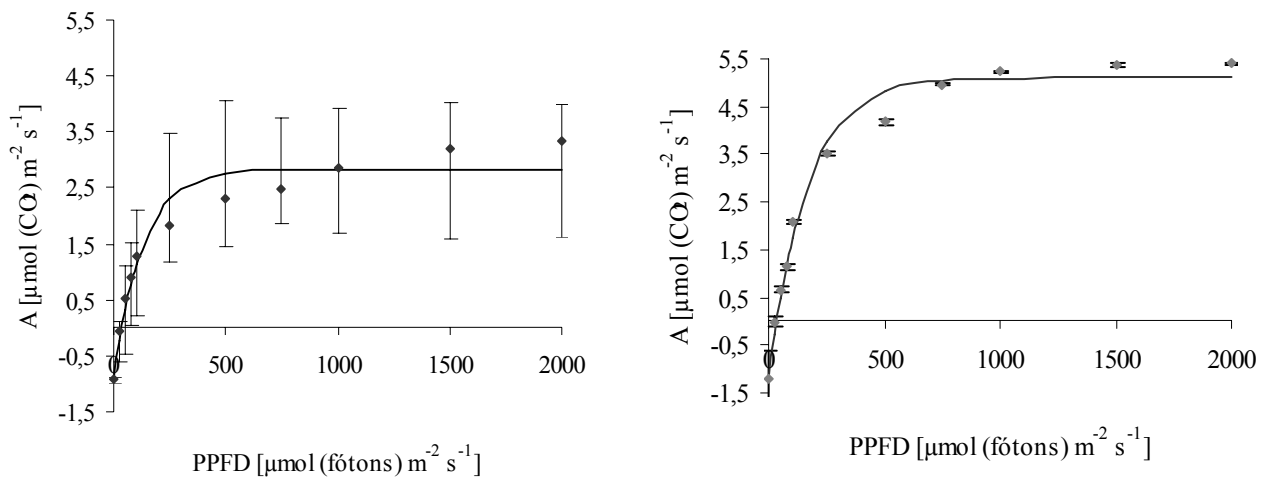


Figura 1: Curva de resposta fotossintética de *Aniba canelilla* (à esquerda) e *Aniba rosaeodora* (à direita).

Média \pm Desvio-padrão.

A fotossíntese máxima estimada foi semelhante entre as espécies, sendo $3,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em *Aniba canelilla* e $5,1 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ em *Aniba rosaeodora*, apesar de o valor desta última espécie ter sido 56% maior que em *Aniba canelilla* (Tabela 1, Figura 1). Assim como a fotossíntese máxima, a respiração no escuro foi semelhante entre espécies, sendo

cerca de 50% maior em *Aniba rosaeodora* ($1,15 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Em *Aniba canelilla*, a respiração foi igual a $0,7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 1). O rendimento quântico aparente foi semelhante entre as espécies, sendo 0,04 para *Aniba canelilla* e 0,04 para *Aniba rosaeodora* (Tabela 1).

Tabela 2: Respiração no escuro (R_d), fotossíntese máxima ($A_{\text{máx}}$) e rendimento quântico aparente (ϕ_a) de plantas do tratamento-controle de casca-preciosa (*Aniba canelilla*) e pau-rosa (*Aniba rosaeodora*), obtidos por meio da aplicação dos dados de fotossíntese líquida à equação exponencial. $n = 4$.

Espécies		
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba roseodora</i>
Regressão	$A = (A_{\text{máx}} + R_d) [1 - \exp(-\phi_a I / (A_{\text{máx}} + R_d))] - R_d$	
r^2	0,979	0,991
Coeficientes		
R_d	0,769	1,148
$A_{\text{máx}}$	3,676	5,105
ϕ_a	0,036	0,035

A irradiância de compensação foi semelhante entre as espécies, apesar de *Aniba rosaeodora* ($35 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) apresentar ponto de compensação da luz cerca de 46% maior que em *Aniba canelilla* ($24 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 1). Do mesmo modo, a irradiância de saturação foi semelhante entre as espécies (Tabela 1). Ainda sim, o ponto de saturação em *Aniba rosaeodora* ($453 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi, aproximadamente, 43% maior que em *Aniba canelilla* ($317 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 1, Figura 1).

Quanto às trocas gasosas, observadas em $2000 \mu\text{mol [fótons]} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, as espécies também tiveram respostas similares para condutância e transpiração. Entretanto, apesar de semelhantes, *Aniba rosaeodora* exibe valores de condutância e transpiração (0,1 e 1,9) cerca de 35% e 40% mais elevados que *A. canelilla* (0,05 e 1,4), respectivamente.

Tabela 3: Fotossíntese máxima ($A_{\text{máx}}$), respiração no escuro (R_d), rendimento quântico aparente (ϕ_a), irradiância de compensação (I_c), irradiância de saturação (I_s), condutância estomática (g_s), transpiração (E), durante a mensuração das curvas de resposta à intensidade luminosa em plantas do tratamento-controle de casca-preciosa (*Aniba canelilla*) e pau-rosa (*Aniba rosaeodora*). $n = 4$.

Variáveis	Espécies	
	<i>Aniba canelilla</i>	<i>Aniba rosaeodora</i>
$A_{\text{máx}}$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	4,0±1,3	5,4±0,1
R_d ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,8±0,3	1,2±0,7
ϕ_a	0,03	0,03
I_c ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	24	35
I_s ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	317	453
g_s ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,05±0,03	0,07±0,01
E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1,4±0,6	1,9±0,4

A respiração no escuro foi semelhante entre espécies e os tratamentos e diferiu entre as semanas. (Tabela 4). A respiração média em *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* foi de 0,9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e 1,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente. Para os tratamentos, irrigado e não irrigado, a média de respiração no escuro foi de 0,6 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 4). Embora não apresente diferença significativa, após a reidratação a taxa de respiração no escuro alcança a média de 1,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Tabela 4). Ao longo do tempo, a respiração se apresenta estável até a sexta semana, que corresponde ao início da reidratação e então ocorre um incremento na sétima semana, de forma que este processo exibe uma variação de 0,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Semana 1) a 3,0 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (Semana 7) (Tabela 4).

Nas plantas irrigadas de ambas as espécies não foi observada diferença significativa ao longo do experimento, exceto nas plantas de *Aniba canelilla* na 3ª semana, que apresentaram um aumento de cerca de duas a três vezes na respiração (Tabela 4). Os valores médios da respiração no escuro para *Aniba canelilla* variaram de 0,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 1) a 1,2 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 3). Já *Aniba rosaeodora* teve respiração média variando de 0,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 3) a 0,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 1) (Tabela 4).

Tabela 4: Respiração no escuro (R_d) obtidas em PPFD de $0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	0,4±0,2 aAα1	0,9±0,05 bBα2	-	0,7±0,2 aAα12	0,6±0,1 aAα12	-	0,7a
2	0,5±0,04 aAα1	0,5±0,1 abAα1	-	0,4±0,1 aAα1	0,4±0,1 aAα1	-	0,5a
3	1,2±0,1 bAα1	0,7±0,3 abAα1	-	0,4±0,02 aAα1	0,5±0,2 aAα1	-	0,7a
4	0,6±0,1 abAα1	0,6±0,1 abAα1	-	0,5±0,1 aAα1	0,6±0,1 aAα1	-	0,6a
5	0,4±0,1 aAα1	0,3±0,1 aAα1	-	0,5±0,1 aAα1	0,7±0,3 aAα1	-	0,5a
6	-	-	0,3±0,2 aα	-	-	0,5±0,2 aα	0,4a
7	-	-	3,0±0,4 cα2	-	-	2,9±1,2 bBα2	3,0b
Médias Sp X Trat	0,6±0,3	0,6±0,2	1,8±1,4	0,5±0,2	0,6±0,2	1,7±1,5	
	Espécies		Tratamentos				0,9
Médias	<i>Aniba canelilla</i>		0,9a	Irrigado	0,5A		
	<i>Aniba rosaeodora</i>		1,0a	Não-irrigado	0,6A		
				Reidratado	1,8A		

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Considerando o tratamento não-irrigado, em *Aniba canelilla*, a taxa respiratória foi maior na primeira semana ($0,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), mantendo-se estável ao longo do tempo até a sexta semana, percebendo-se um considerável aumento na última ($3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela

4). Também em *Aniba rosaeodora*, na última semana do experimento, a respiração manifesta uma súbita elevação da ordem de quatro a sete vezes maior que as demais semanas. Para *Aniba canelilla*, os valores médios da respiração no escuro variaram de $0,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 6) a $3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 7). Enquanto *Aniba rosaeodora* teve respiração média variando de $0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) a $2,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 7) (Tabela 4).

Ao se comparar os tratamentos em *Aniba canelilla*, não se observa diferenças significativas entre eles ao longo das semanas, exceto na primeira semana, em que o tratamento irrigado apresentou menor respiração ($0,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que o tratamento não-irrigado ($0,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Em *Aniba rosaeodora*, só ocorreu alteração na taxa de respiração no escuro após a reidratação, na última semana ($2,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 4).

A fotossíntese foi semelhante entre espécies e diferiu entre tratamentos e durante o período de duração do experimento e houve interação entre espécie vs semana e tratamento vs semana (Tabela 5). Para as espécies, a média da fotossíntese foi de $1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*Aniba canelilla*) e de $1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (*Aniba rosaeodora*) (Tabela 5). Entre os tratamentos, a fotossíntese média no sistema não-irrigado ($0,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi cerca de sete vezes menor que no irrigado ($3,9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5). Ao longo das semanas, a fotossíntese variou de $-3,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 7) a $4,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) (Tabela 5).

Considerando o tratamento irrigado, *Aniba canelilla* apresentou menores médias de fotossíntese na primeira ($1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e na quinta semana ($2,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo o valor máximo observado na quarta semana ($5,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5). Para *Aniba rosaeodora*, os maiores valores de fotossíntese foram observados na primeira ($5,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e na terceira semana ($4,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo cerca de três vezes maior do que a mais baixa taxa fotossintética ($1,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) observada na quarta semana (Tabela 5).

No tratamento não-irrigado, a fotossíntese em *Aniba canelilla* foi maior na segunda semana ($5,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e diminuiu progressivamente a partir da quarta semana, atingindo, na sétima semana, a menor taxa de fotossíntese líquida ($-3,8 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5). Em *Aniba rosaeodora*, a fotossíntese foi semelhante nas duas primeiras semanas ($5,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na primeira semana, e $5,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ na segunda semana), e diminuiu progressivamente a partir da terceira semana, atingindo, na última semana do experimento, o menor valor observado ($-2,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5).

Tabela 5: Fotossíntese líquida (A) obtidas em PPFD de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	1,5±0,3	3,6±1,2	-	5,0±0,3	5,2± 0,3	-	3,7b
	dBβ3	bAβ2		aAα1	aAα1		
2	4,7±0,3	5,4±0,1	-	4,1±0,0	5,3± 2,6	-	4,8a
	abBα1	aAα1		5 bcBα2	aAα1		
3	4,3±1,1	3,6±0,2	-	4,8±1,5	3,0± 1,9	-	3,9ab
	bAα12	bAα23		abAα1	bBα3		
4	5,2±0,8	2,3±0,9	-	3,9±0,4	1,4± 0,4	-	3,2b
	aAα1	cBα3		cdAα2	cBβ4		
5	2,7±0,0	1,7±0,5	-	3,2±0,2	0,5± 0,1	-	1,6c
	0cAα1	dBα2		eAα1	dBβ3		
6	-	-	0,2±0,7	-	-	-0,3±0,1	-0,1d
			eα			eβ	
7	-	-	-3,8±1,2	-	-	-2,4±1,6	-3,0e
			fβ3			fα2	
Médias Sp X Trat	3,9±1,6	2,8±1,4	-1,9±2,3	4,2± 0,8	2,8± 2,2	-1,4± 1,5	
Médias	Espécies			Tratamentos			2,00
	<i>Aniba canelilla</i>		1,6α	Irrigado		4,0A	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		1,5α	Não-irrigado		2,8B	
				Reidratado		-1,6C	

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Ao se comparar os tratamentos em *Aniba canelilla*, somente na terceira semana não foi observada diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 5). Na 1ª semana, a fotossíntese do tratamento não-irrigado ($3,6 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi 140% maior que no tratamento irrigado ($1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Na 2ª semana, a diferença entre os tratamentos diferença diminuiu para 15% (NI

= $5,4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; I = $4,7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), desaparecendo na 3ª semana. A partir da 4ª semana, a situação se inverteu: na 4ª semana, o tratamento irrigado ($5,2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi 127% maior em relação ao não-irrigado ($2,3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), já na 5ª semana essa diferença diminuiu para 66% (Tabela 5). Em *Aniba rosaeodora*, não houve diferença na primeira semana. Na 2ª semana, a fotossíntese foi maior 28% no tratamento não-irrigado. No entanto, a partir da 3ª semana, a fotossíntese líquida foi maior no tratamento irrigado, sendo cerca de duas vezes maior (Tabela 5).

Comparando as espécies no tratamento irrigado, não se observou diferenças significativas entre elas ao longo das semanas, exceto na 1ª semana, em que o tratamento irrigado ($5,0 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi cerca de três vezes maior que no tratamento não-irrigado ($1,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 5). Já no tratamento não-irrigado, as espécies se assemelharam na 2ª e 3ª semana (Tabela 5). Na 1ª e na última semana do experimento, *Aniba rosaeodora* foi, aproximadamente, 1,5 vez maior que *Aniba canelilla* (Tabela 5). Da 4ª a 6ª semana, a fotossíntese em *Aniba rosaeodora* foi cerca de 1,5 a 3 vezes maior que em *Aniba canelilla* (Tabela 5).

A condutância estomática foi distinta entre espécies, tratamentos e durante o período de duração do experimento. Também houve interação entre espécie vs semana e tratamento vs semana (Tabela 6), sendo maior em *Aniba rosaeodora* ($0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) que em *Aniba canelilla* ($0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 6). Entre os tratamentos, a condutância no sistema não-irrigado ($0,02 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi duas vezes menor que no irrigado ($0,04 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 6). Ao longo das semanas, a condutância variou de $0,004 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 6) a $0,06 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (semana 2) (Tabela 6).

Considerando o tratamento irrigado, *Aniba canelilla* apresentou menores valores de condutância na primeira ($0,01 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e na quinta semana ($0,03 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo o valor máximo observado na quarta semana ($0,06 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 6). Para *Aniba rosaeodora*, o maior valor de condutância ocorreu na última semana do experimento ($0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), sendo cerca de duas a três vezes maior do que os demais valores observados (Tabela 6).

Tabela 6: Condutância estomática (g_s) obtidas em PPFD de 1000 μmol m⁻² s⁻¹, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
I	NI	R	I	NI	R		
1	0,01±0,00 cAβ2	0,02±0,00 bcAβ2	-	0,05±0,01 bAα1	0,05±0,00 bAα1	-	0,03c
2	0,05±0,01 aBα3	0,01±0,01 aAα1	-	0,05±0,01 bcBα23	0,08±0,04 aAα1	-	0,06a
3	0,04±0,01 aAα1	0,03±0,00 bAα1	-	0,05±0,01 bAα1	0,05±0,01 bAα1	-	0,04b
4	0,06±0,02 aAα1	0,02±0,01 bcBα3	-	0,04±0,00 bcAβ2	0,02±0,01 cdBα3	-	0,03c
5	0,03±0,00 bAα12	0,01±0,01 cdBα23	-	0,03±0,00 cAα1	0,00±0,00 dBα3	-	0,02d
6	-	-	0,00±0,00 dα	-	-	0,00±0,00 dα	0,00e
7	-	-	0,02±0,01 bcα2	-	-	0,03±0,03 cBα2	0,03c
Médias Sp X Trat	0,04±0,02	0,03±0,02	0,02± 0,01(17)	0,05± 0,01(13)	0,03± 0,03(16)	0,02± 0,02(20)	
Médias	Espécies		Tratamentos				0,03
	<i>Aniba canelilla</i>	0,03b	Irrigado	0,04A			
	<i>Aniba rosaeodora</i>	0,04a	Não-irrigado	0,029B			
			Reidratado	0,02C			

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, p≤0,05).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

No tratamento não-irrigado, a condutância em *Aniba canelilla* foi maior na segunda semana (0,07 mol m⁻² s⁻¹) e diminui progressivamente a partir da quarta semana, atingindo, na penúltima semana do experimento, o menor valor observado (0,004 mol m⁻² s⁻¹) (Tabela 6). Na última semana, a taxa fotossintética foi semelhante às encontradas na 1^a, 3^a e 4^a semanas

(Tabela 6). Em *Aniba rosaeodora*, a condutância foi maior na segunda semana ($0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e diminuiu progressivamente a partir da 3ª semana, atingindo, na 5ª e 6ª semana do experimento, os menores valores observados ($0,005$ e $0,003 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente) (Tabela 6).

Tanto em *Aniba canelilla* quanto em *Aniba rosaeodora*, os tratamentos foram distintos entre si, exceto na 1ª e na 3ª semana do experimento (Tabela 6). Na 2ª semana, a condutância do tratamento não-irrigado de *Aniba canelilla* ($0,07 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e *Aniba rosaeodora* ($0,08 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi cerca de 40% e 50% maior que no tratamento irrigado (*A. canelilla* = $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; *A. rosaeodora* = $0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), respectivamente (Tabela 6). No entanto, a partir da 4ª semana, a condutância em *A. canelilla* e em *A. rosaeodora* no tratamento irrigado foi cerca de 80 a 170% e 400 a 600% maior que no tratamento não-irrigado, respectivamente (Tabela 6).

Comparando a condutância das espécies no tratamento irrigado, não se observou diferenças significativas entre elas ao longo das semanas, exceto na 1ª (Tabela 6). No início do experimento, a condutância em *A.rosaeodora* ($0,05 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi cerca de cinco vezes maior que em *A.canelilla* ($0,01 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 6).

A transpiração diferiu entre todos os fatores e houve interações entre espécie vs semana e tratamento vs semana (Tabela 7). *A. rosaeodora* ($0,8 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) apresentou maior transpiração que *A. canelilla* ($0,6 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 7). Entre os tratamentos, a transpiração do sistema irrigado ($1,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi maior que no tratamento não-irrigado ($0,5 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 8). Ao longo das semanas, a transpiração variou de $0,09 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 6) a $1,64 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (semana 2) (Tabela 7).

Considerando o tratamento irrigado, *Aniba canelilla* apresentou menores valores de transpiração na primeira ($0,3 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e na quinta semana ($0,7 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo o valor máximo observado na quarta semana ($1,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 7). Para *A rosaeodora*, o maior valor de transpiração ocorreu na última semana do experimento ($2,2 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sendo cerca de duas vezes maior do que o menor valor observado ($0,9 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), na 5ª semana do experimento (Tabela 7).

No tratamento não-irrigado, a transpiração em *A.canelilla* foi maior na segunda semana ($1,8 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e diminuiu progressivamente a partir da quarta semana, atingindo, na penúltima semana do experimento, o menor valor observado ($0,1 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 7). Na última semana, a taxa fotossintética foi semelhante às encontradas na 1ª, 4ª e 5ª semanas (Tabela 7). Em *A. rosaeodora*, a transpiração também foi maior na segunda semana ($2,2 \text{ mol}$

$\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e diminuiu progressivamente a partir da 3ª semana, atingindo, na 5ª e 6ª semana do experimento, os menores valores observados ($0,2$ e $0,4 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente) (Tabela 7).

Tabela 7: Transpiração (E) obtidas em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	0,3±0,1	0,6±0,1	-	1,4±0,3	1,4±0,3	-	0,8c
	cAβ2	bcAβ2	-	bcdAα1	bAα1	-	
2	1,3±0,3	1,8±0,1	-	1,6±0,5	2,2±1,2	-	1,6a
	aBα3	aAα12	-	abcBα23	aAα1	-	
3	1,0±0,3	0,9±0,1	-	1,7±0,6	1,2±0,2	-	1,2b
	abAβ2	bAα2	-	abAα1	bAα12	-	
4	1,2±0,4	0,5±0,04	-	1,1±0,1	0,5±0,2	-	0,8c
	aAα1	bcdBα2	-	cdAα1	cBα2	-	
5	0,7±0,00	0,4±0,2	-	0,9±0,1	0,2±0,02	-	0,5d
	bcAα12	bcdAα23	-	dAα1	cBα3	-	
6	-	-	0,1±0,1	-	-	0,1±0,01	0,1e
	-	-	dα23	-	-	cα	
7	-	-	0,3±0,2	-	-	0,6±0,6	0,5d
	-	-	cdα1	-	-	cBα	
Médias							
Sp X	1,0±0,5	0,7±0,4	0,2±0,2	1,3±0,4	0,9±0,8	0,3±0,5	
Trat							
	Espécies			Tratamentos			0,7
Médias	<i>Aniba canelilla</i>		0,6β	Irigado		1,1A	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		0,8α	Não-irrigado		0,8B	
				Reidratado		0,3C	

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Em *A. canelilla*, os tratamentos foram semelhantes entre si, exceto na 2ª e na 4ª semana do experimento (Tabela 7). Na 2ª semana, a transpiração no tratamento não-irrigado foi 42% maior que no tratamento irrigado. Já na 4ª semana, o tratamento-controle que apresentou transpiração maior 161% que o tratamento estressado (Tabela 7). Em *A. rosaeodora*, não houve diferenças significativas somente na 1ª e na 3ª semana do experimento (Tabela 7). Na 2ª semana, a transpiração foi 35% maior no tratamento não-irrigado. Já nas demais semanas, a transpiração no tratamento irrigado foi cerca de duas a seis vezes maior (Tabela 7).

As espécies tiveram valores similares de transpiração no tratamento irrigado, exceto na 1ª e 3ª semana do experimento (Tabela 7). No início do experimento, a transpiração em *A. rosaeodora* ($1,41 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi cerca de cinco vezes maior que em *A. canelilla* ($0,27 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) (Tabela 7). Na 3ª semana, *A. rosaeodora* teve transpiração duas vezes maior do que *A. canelilla* (Tabela 7).

No tratamento não-irrigado, as espécies apresentaram valores similares de transpiração, exceto na 2ª semana do experimento, em que *A. rosaeodora* apresentou transpiração cerca de duas vezes maior que a transpiração de *A. canelilla* (Tabela 7).

A concentração de carbono interno (C_i) diferiu entre espécies e semanas, mas não entre tratamentos. Houve interação entre espécie vs semana (Tabela 8). *Aniba canelilla* (254,4 Pa) apresentou menor C_i que *Aniba rosaeodora* (393,3 Pa) (Tabela 8). Embora a diferença não tenha significado estatístico, observou-se que o tratamento não-irrigado teve C_i maior (369,8 Pa) que o sistema irrigado (204,4 Pa) (Tabela 8). Ao longo das semanas, o carbono interno variou de 170,5 Pa (semana 1) a 605,4 Pa (semana 7) (Tabela 8).

Considerando o tratamento irrigado, não houve diferenças para as espécies ao longo das semanas (Tabela 8). Os maiores valores ocorreram na 3ª semana (206,0 Pa) e na 7ª semana (331,0 Pa) para *A. canelilla* e *A. rosaeodora*, respectivamente (Tabela 8). Os valores médios de carbono interno para *A. canelilla* variaram de 144,2 Pa (semana 1) a 206,0 Pa (semana 3). Já para *A. rosaeodora*, C_i variou de 202,1 Pa (semana 4) a 331,0 Pa (semana 7) (Tabela 8).

No tratamento não-irrigado, *A. canelilla* apresentou maior concentração de carbono interno na penúltima semana do experimento, sendo cerca de 17 a 350% maior do que nas demais semanas (Tabela 8). Em *A. rosaeodora*, C_i foi maior na última semana, sendo 77 a 400% maior do que nas demais semanas (Tabela 8). Para *A. canelilla*, os valores médios de C_i variaram de 131,0 Pa (semana 4) a 463,4 Pa (semana 8). Já *A. rosaeodora* teve C_i , em média,

variando de 182,6 Pa (semana 1) a 845,5 Pa (semana 6) (Tabela 8).

Tabela 8: Carbono interno (C_i) obtidas em PPFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	144,2±	168,0±	-	203,6±	182,6±	-	170,5c
	14,0 aAα1	18,4 cAα1	-	6,4 aAα1	1,7 cAα1	-	
2	199,7±	225,2±	-	230,2±	252,8±	-	222,3c
	23,7 aAα1	18,7 bcAα1	-	23,5 aAα1	3,2 cAα1	-	
3	206,0±	177,5±	-	252,3±	248,1±	-	221,0c
	6,4 aAα1	18,4 cAα1	-	0,8 aAα1	50,9 cAα1	-	
4	196,8±	131,0±	-	202,1±	242,4±	-	186,8c
	24,4 aAα1	1,9 cAα1	-	8,7 aAα1	38,1 cAα1	-	
5	189,8±	165,0±	-	214,2±	257,7±	-	203,0c
	0,0 aAα1	23,3 cAα1	-	11,5 aBα1	5,0 cAα1	-	
6	-	-	463,4±	-	-	475,9±	470,3b
	-	-	323,1 a	-	-	88,3 b	
7	-	-	395,9±	-	-	794,0±	605,4a
	-	-	71,0 abα2	-	-	179,4 aAα1	
Médias	185,1±	162,7±	427,6±	218,4±	233,3±	635,0±	
Sp X	30,4	31,5	222,3	21,9	37,6	213,5	
Trat							
	Espécies			Tratamentos			321,1
Médias	<i>Aniba canelilla</i>		254,4b	Irrigado		200,0B	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		393,3a	Não-irrigado		194,1B	
				Reidratado		539,7A	

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

Em *A. canelilla* não houve diferenças significativas entre os tratamentos. Em *A. rosaeodora*, a única diferença ocorreu na semana 5, em que C_i no tratamento irrigado foi 20%

maior que no tratamento não-irrigado (Tabela 8). Não houve diferenças significativas entre os tratamentos irrigado e não-irrigado até este último ser reidratado. Nesta condição, *A. rosaeodora* apresenta valor de C_i cerca de duas vezes maior que os demais (Tabela 8).

Tabela 9: Eficiência no uso da água (EUA) obtidas em PFD de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	4,70±0,75	3,57±0,62	-	3,61±0,56	4,22±0,18	-	4,09a
	aAα1	aAα1		aAα1	aAα1		
2	3,82±0,69	3,00±0,27	-	2,98±0,47	2,43±0,16	-	3,19a
	aAα1	aAα1		aAα1	aAα1		
3	4,09±0,05	4,26±0,67	-	2,77±0,10	2,32±1,17	-	3,36a
	aAα1	aAα1		aAα1	aAα1		
4	4,06±0,65	4,48±0,93	-	3,32±0,70	2,96±0,58	-	3,80a
	aAα1	aAα1		aAα1	aAα1		
5	3,68±0,00	4,21±0,74	-	3,04±0,59	2,22±0,06	-	3,38a
	aAα1	aAα1		aAα1	aAα1		
6	-	-	2,21±7,75	-	-	-4,98±1,76	-3,75b
			bα			bα	
7	-	-	4,11±1,99	-	-	-10,13±4,34	-7,28c
			bα2			cBβ3	
Médias Sp X Trat	4,1389	4,0491	-3,219	3,160	2,945	-7,555	
Médias	Espécies			Tratamentos			0,29
	<i>Aniba canelilla</i>		1,74α	Irrigado		3,70A	
	<i>Aniba rosaeodora</i>		-1,28β	Não-irrigado		3,56A	
				Reidratado		-5,56B	

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

A eficiência no uso da água (EUA) diferiu apenas entre espécies e não houve interações (Tabela 9). As médias de EUA para *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram $-1,3 \text{ mol mol}^{-1}$ e $1,7 \text{ mol mol}^{-1}$ (Tabela 9).

Considerando o tratamento irrigado, a eficiência no uso da água não se alterou ao longo das semanas, tanto *A. canelilla* quanto em *A. rosaeodora* (Tabela 9). Os valores de EUA para *A. canelilla* e *A. rosaeodora* variaram de $3,7$ a $4,7 \text{ mol mol}^{-1}$ e de $0,7$ a $3,6 \text{ mol mol}^{-1}$, respectivamente (Tabela 9). Em cada tratamento, as espécies apresentaram EUA semelhantes ao longo das semanas (Tabela 9)

Assim como EUA, a eficiência intrínseca do uso da água (EIUA) diferiu apenas entre espécies e não houve interações (Tabela 10). A média de EIUA foi menor em *A. rosaeodora* ($-32,9 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$) que em *A. canelilla* ($53,1 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$) (Tabela 10).

Considerando o tratamento irrigado, a eficiência intrínseca no uso da água não se alterou ao longo das semanas, tanto em *A. canelilla* quanto em *A. rosaeodora* (Tabela 10). Os valores de EIUA para *A. canelilla* e *A. rosaeodora* variaram de $99,0$ a $157,8 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$ e de $15,9$ a $99,0 \text{ } \mu\text{mol mol}^{-1}$, respectivamente (Tabela 10).

O crescimento absoluto em diâmetro (D) não se alterou ao longo do experimento, sendo o diâmetro final das plantas ($4,7 \text{ cm}$) semelhante ao inicial ($5,0 \text{ cm}$) (Tabela 11). Já as espécies e os sistemas (irrigado e não-irrigado) foram diferentes estatisticamente, entretanto, não houve nenhum tipo de interação entre os fatores (Tabela 11). *A. rosaeodora* ($5,1 \text{ cm}$) cresceu 10% a mais em diâmetro que *A. canelilla* ($4,6 \text{ cm}$). Em média, o sistema irrigado ($5,2 \text{ cm}$) teve o diâmetro cerca de 27% maior que o não-irrigado ($4,2 \text{ cm}$) (Tabela 11).

Comparando os tratamentos entre espécies no início do experimento, não se observou diferenças entre eles nem mesmo entre as espécies (Tabela 11). Assim como no início, ao final do experimento as espécies foram semelhantes entre si dentro de cada tratamento e não houve diferenças significativas entre tratamentos (Tabela 11).

O crescimento absoluto em altura (H) não sofreu efeito da supressão hídrica, sendo semelhante entre sistemas (Irrigado: $26,4 \text{ cm}$; Não-irrigado: $25,0 \text{ cm}$) (Tabela 11). Ao final do experimento ($27,3 \text{ cm}$), H foi 14% maior que no início ($24,0 \text{ cm}$) (Tabela 11). Entre as espécies, *A. canelilla* ($27,8 \text{ cm}$) teve altura maior cerca de 18% que *A. rosaeodora* ($23,6 \text{ cm}$) (Tabela 11). Houve interação entre época vs espécie e espécie vs sistema (Tabela 11).

Tabela 10: Eficiência intrínseca no uso da água (EIUA) obtidas em PPFD de 1000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a três tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI: Tratamento não-irrigado; R = Reidratado), acompanhadas durante sete semanas.

Semana	Espécies						Médias (Semana)
	<i>Aniba canelilla</i>			<i>Aniba rosaeodora</i>			
	Tratamentos						
	I	NI	R	I	NI	R	
1	157,8±	119,5±	-	93,8±	106,6±	-	123,1a
	24,0aAα1	13,6aAα1	-	10,6aAα1	0,8aAα1	-	
2	100,8±	81,8±	-	80,4±	69,1±	-	86,0a
	17,7aAα1	10,9aAα1	-	14,6aAα1	1,6aAα1	-	
3	99,0±	111,4±176	-	65,1±	63,1±	-	84,6a
	0,7aAα1	,8aAα1	-	0,6aAα1	31,5aAα1	-	
4	111,0±	128,1±	-	96,5±	81,4±	-	107,1a
	23,8aAα1	26,1aAα1	-	6,5aAα1	16,4aAα1	-	
5	103,9±	121,1±	-	99,0±	66,2±	-	99,5a
	0,00aAα1	18,1aAα1	-	2,4aAα1	1,6aAα1	-	
6	-	-	-65,4±	-	-	-136,3±	-104,7b
	-	-	213,8bα	-	-	47,3bα	
7	-	-	-101,4±	-	-	-267,2±	-188,7c
	-	-	67,1bα2	-	-	109,8cBβ3	
Médias	118,2±	118,0±	-84,4±	87,9±	80,1±	-201,7±	
Sp X	30,1	22,2	150,3	14,4	20,4	106,2	
Trat							
		Espécies		Tratamentos			11,8
Médias	<i>Aniba canelilla</i>	53,1α	Irrigado	104,6A			
	<i>Aniba rosaeodora</i>	-32,9β	Não-irrigado	101,1A			
			Reidratado	-147,8B			

Médias ±SD seguidas da mesma letra ou número não diferem entre si (Tukey, $p \leq 0,05$).

Letras minúsculas: comparação entre semanas

Letras maiúsculas: comparação entre tratamentos da mesma espécie

Letras gregas: comparação entre espécies no mesmo tratamento

Números: comparação entre todos os tratamentos das duas espécies

No início do experimento, a altura foi semelhante dentro dos tratamentos (Tabela 11). Assim como no início do experimento, a altura das espécies foi semelhante dentro dos tratamentos e estes não diferiram entre si, ao final de 35 dias (Tabela 12). No sistema irrigado, *A. canelilla* (19,7 cm) cresceu 24% a mais que *A. rosaeodora* (14,9 cm) (Tabela 12). No

sistema não-irrigado, as médias de altura para *A. canelilla* e *A. rosaeodora* foram, respectivamente, 15,7 cm e 15,5 cm (Tabela 12).

O número de folhas foi semelhante entre espécies e sistemas, mas foi maior no fim do experimento (Tabela 12). No início do experimento, o número de folhas médio para as espécies no tratamento irrigado foi de 12,9 (*A. rosaeodora*) e 14,0 (*A. canelilla*). Para o tratamento não-irrigado, a média foi a mesma para as duas espécies (14,5) (Tabela 11).

Tabela 11: Crescimento da altura do caule e do diâmetro, em cm, e em ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado), na época inicial.

Variável	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		Média geral
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não-irrigado	
Altura	15,1aA	14,5aA	12,7aA	14,5aA	14,2
Diâmetro	4,7aA	4,4aA	5,4aA	4,4aA	4,9
Ganho foliar	14,0aA	14,5aA	12,9aA	14,5aA	15,6
Médias	Fatores	Altura	Diâmetro	Ganho foliar	
Espécie	<i>Aniba canelilla</i>	14,8a	4,5a	14,8a	
	<i>Aniba rosaeodora</i>	13,7a	4,9a	13,7a	
Tratamento	Irrigado	14,0A	5,0A	15,1aA	
	Não-irrigado	14,5A	4,4A	14,5aA	

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$.

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

O crescimento absoluto em biomassa caulinar foi semelhante entre espécies, no entanto, sofreu efeito da supressão hídrica (Tabela 13). No tratamento irrigado, os respectivos valores médios da biomassa caulinar foram 3,5 g (*Aniba rosaeodora*) e 3,3 g (*Aniba canelilla*) (Tabela 13). No tratamento não-irrigado, tais valores foram 1,2 g (*Aniba rosaeodora*) 1,4 g (*Aniba canelilla*) (Tabela 13).

O crescimento absoluto em biomassa foliar foi semelhante entre espécies, no entanto, a supressão hídrica resultou em uma drástica redução da biomassa foliar (MF) (Tabela 13). A média da biomassa foliar para *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* no tratamento irrigado foi

de 4,3 g e 3,7 g, respectivamente (Tabela 13). Nessa mesma ordem, os valores médios de MF, no tratamento não-irrigado, foram 0,7 g e 0,5 g (Tabela 13).

Tabela 12: Crescimento da altura do caule e do diâmetro, em cm, e em ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado), na época final.

Variável	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		Média geral
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não-irrigado	
Altura	19,7aA	15,7aA	14,9aA	15,5aA	16,4a
Diâmetro	5,0aA	4,5aA	5,9aA	4,8aA	4,9a
Ganho foliar	19,7aA	15,7aA	14,9aA	15,5aA	15,3A
Médias	Fatores	Altura	Diâmetro	Ganho foliar	
Espécie	<i>Aniba canelilla</i>	17,7a	4,7a	17,7a	
	<i>Aniba rosaeodora</i>	15,2a	5,3a	15,2a	
Tratamento	Irrigado	17,3A	5,4A	17,3A	
	Não-irrigado	15,6A	4,6A	15,6A	

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$.

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

Assim como o crescimento absoluto em biomassa foliar e caulinar, a biomassa radicular foi semelhante entre espécies, mas sofreu efeito da supressão hídrica (Tabela 13). A média da biomassa radicular para *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* no tratamento irrigado foi de 2,7 g (Tabela 13). Do mesmo modo, os valores médios de biomassa radicular foram 1,7 g e 1,2 g no tratamento não-irrigado (Tabela 13).

Comparando os tratamentos, fica evidente que a biomassa foi alocada de forma distinta em função da falta de água (Tabela 13). Nas plantas do tratamento-controle (irrigado) houve uma maior alocação de biomassa para folhas e caule enquanto que, em consequência da restrição hídrica, houve maior alocação de biomassa para o crescimento das raízes e redução drástica de biomassa foliar, da ordem de 83%, nas plantas do tratamento não-irrigado (Tabela 13). Os valores médios de biomassa da folha, caule e raiz no tratamento irrigado foram, respectivamente, 4,0 g, 3,4 g e 2,7 g. Para o tratamento estressado (não-irrigado), os respectivos valores médios foram 0,6 g, 1,3 g e 1,4 g (Tabela 13).

A distribuição de biomassa entre os órgãos se mostrou semelhante entre as espécies (Tabela 13). Para *Aniba rosaeodora*, os valores médios de biomassa foram 2,6 g (folha), 2,3 g (caule) e 2,2 g (raiz) (Tabela 13). Para *Aniba canelilla*, tais valores foram 2,1 g (folha), 2,3 g (caule) e 1,9 g (raiz) (Tabela 13).

Tabela 13: Crescimento, em gramas, da biomassa da folha, caule e raiz em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Variável	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		Média geral
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não-irrigado	
Folha	3,7aA	0,5aB	4,3aA	0,7B	2,5
Caule	3,3aA	1,4aB	3,5aA	1,2aB	2,3
Raiz	2,7aA	1,2aB	2,7aA	1,7aB	2,1
Biomassa total	9,7	3,1	10,5	3,6	6,7

Médias	Fatores	Folha	Caule	Raiz
Espécie	<i>Anaiba canelilla</i>	2,1a	2,3a	1,9a
	<i>Aniba rosaeodora</i>	2,5a	2,3a	2,2a
Tratamento	Irrigado	4,0A	3,4A	2,7A
	Não-irrigado	0,6B	1,3B	1,4B

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$,

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

A biomassa total da planta foi semelhante entre as espécies, sendo que as plantas do tratamento que sofreu supressão hídrica apresentaram biomassa três vezes menor em relação às plantas do tratamento-controle (Tabela 14). Para *Aniba canelilla*, a média da biomassa total foi de 9,7 g (tratamento irrigado) e 3,1 g (não-irrigado) (Tabela 14). Tais valores para *Aniba rosaeodora*, nessa mesma ordem, foram 10,5 g e 3,6g (Tabela 14).

Do mesmo modo que a biomassa total da planta, a razão de peso foliar (RPF) foi semelhante entre as espécies, sendo que as plantas de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* do tratamento não-irrigado apresentaram duas e três vezes menor RPF em relação às plantas do tratamento-controle, respectivamente (Tabela 15). Para *Aniba canelilla*, RPF foi de 0,4 (tratamento irrigado) e 0,1 (não-irrigado) (Tabela 15). Tais valores para *Aniba rosaeodora*, nessa mesma ordem, foram 0,4 g e 0,2 (Tabela 15).

Tabela 14: Particionamento, em gramas, da biomassa de folha, caule e raiz em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Variável	MÉDIAS DE ÓRGÃOS DENTRO DE ESPÉCIE				
	Irrigado		Não-Irrigado		Média de órgãos
	Pau Rosa	Preciosa	Pau Rosa	Preciosa	
Folha	4,3aA	3,7aA	0,7aA	0,5aA	2,3a
Caule	3,5aA	3,3aA	1,2aA	1,4 aA	2,3a
Raiz	2,7aA	2,7aA	1,7aA	1,2 aA	2,3a

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$,

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre órgãos

Tabela 15: Razão raiz/parte aérea (RPA), razão de peso foliar (RPF), matéria seca total da planta (MSP) e área foliar específica (AFE) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Variável	<i>Aniba canelilla</i>		<i>Aniba rosaeodora</i>		Média geral
	Irrigado	Não irrigado	Irrigado	Não-irrigado	
AFE	139,3aB	172,5aA	143,7aA	163,0aA	154,6
RPF	0,4±0,1aA	0,1±0,04bA	0,4±0,1aA	0,2±0,04bA	0,3
RPA	0,4±0,1aA	0,7±0,4aA	0,4±0,1aB	0,9±0,3aA	0,6
MSP	9,6±1,2aA	3,1±0,9bA	10,5±3,4aA	3,5±1,3bA	6,7
Médias	Fatores	AFE	RPA	RPF	MSP
Espécie	<i>Aniba canelilla</i>	155,9a	0,6a	0,3a	6,3a
	<i>Aniba rosaeodora</i>	153,3a	0,6a	0,3a	7,00a
Tratamento	Irrigado	141,5B	0,4B	0,4A	10,0A
	Não-irrigado	167,8A	0,8A	0,2B	3,3B

Médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ao nível de $p \leq 0,05$,

Letras minúsculas: comparação entre tratamentos

Letras maiúsculas: comparação entre espécies

A área foliar específica (AFE) se mostrou semelhante entre as espécies e diferente entre tratamentos (Tabela 15). Não houve interação espécie vs sistema, no entanto, no tratamento não-irrigado, as folhas se apresentaram mais espessas nas duas espécies (Tabela

15). A média de AFE para *Aniba canelilla* foi 139,3 g cm⁻² (tratamento irrigado) e 172,5 cm⁻² (tratamento estressado). Do mesmo modo, a AFE de *Aniba rosaeodora* foi, respectivamente, 143,7 cm⁻² e 163,0 cm⁻² (Tabela 15).

Também a razão raiz/parte aérea (RPA) foi semelhante entre as espécies e diferente entre os tratamentos, sendo que as plantas de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* do tratamento não-irrigado apresentaram a RPA cerca de duas vezes maior que as plantas do tratamento-controle (Tabela 15). Para *Aniba canelilla*, RPA foi de 0,4 (tratamento irrigado) e 0,7 (não-irrigado) (Tabela 15). Enquanto estes valores para *Aniba rosaeodora*, nessa mesma ordem, foram 0,4 g e 0,9 (Tabela 15).

3.4. DISCUSSÃO

A extensão com que um fator ambiental, como a seca, influencia as características funcionais e estruturais das plantas, pode ser verificada pelas avaliações das características das trocas gasosas as quais se refletem em aspectos do crescimento (Peixoto *et al.*, 2006).

No que concerne às trocas gasosas, as situações ora em estudo consideraram o comportamento ecofisiológico de duas espécies (*Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla*) sob dois sistemas de irrigação (irrigado e não irrigado) a partir de avaliações de curva de respostas à luz, ajustadas pelo modelo exponencial das variáveis fotossíntese máxima, pontos de compensação e de saturação de luz, e rendimento quântico. Também foram verificadas, pontualmente (0 e 1000 μmol [fótons] $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) ao longo do experimento, as respostas de fotossíntese líquida, respiração no escuro, condutância estomática, transpiração, carbono intercelular, eficiência no uso da água e eficiência intrínseca no uso da água. Estas avaliações foram realizadas por um período de sete semanas, sendo as duas últimas dedicadas à reidratação.

O monitoramento do potencial hídrico foliar, realizado no início e final do experimento, assegurou as condições desejáveis neste trabalho e revelou a semelhança das duas espécies para esta característica. As avaliações feitas nos horários da antemanhã e ao meio dia demonstraram o comportamento anisotrópico destas plantas, que implica em uma rigorosa regulação da abertura estomática, nos momentos de maior demanda evaporativa. A supressão da rega, ao final de cinco semanas, resultou em uma severa desidratação dos tecidos, observados nos potenciais hídricos foliares médios de $-4,42 \pm 1,25$ MPa, que levaram a assimilação a valores próximos de zero (Tabela 1, Gráfico 1). Estes resultados demonstram a manutenção, ainda que em baixos níveis, do processo fotossintético quando as plantas já alcançaram o limite mínimo possível de potencial hídrico, que ainda permite assimilação em espécies arbóreas tropicais (Larcher 2000).

As características de trocas gasosas avaliadas a partir das curvas de luz (0 a 2000 μmol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) indicaram que os valores de respiração no escuro observados para *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla* foram semelhantes aos valores encontrados para espécies arbóreas ($R_d = 0,6$ a $1,2$ μmol $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (Tabela 2), como *Rhododendron maximum*, *Persea borbonia*, *Ocotea costulata* e *Licania heteromorpha* (ambas também pertencentes à família Lauraceae), bem como para duas espécies de *Protium* sp. (Burseraceae) e *Miconia dispar* e *Bellucia grossularioides* (Melastomataceae), *Vismia lauriformes* e *V. japurensis* (Clusiaceae) e

Cecropia ficifolia (Cecropiaceae) (Reich *et al.*, 1998).

Diferentemente de alguns caracteres morfológicos, as taxas fotossintéticas e de respiração no escuro são distintas em espécies do mesmo táxon, em geral, especialmente em taxa inferiores como gênero e família. No entanto *A. rosaeodora* e *A. canelilla* foram semelhantes para as variáveis relacionadas à assimilação e trocas gasosas obtidas a partir de curvas de respostas fotossintéticas à luz.

Embora as espécies tenham sido semelhantes quanto à fotossíntese máxima e à respiração no escuro, os respectivos valores médios dessas variáveis em *Aniba rosaeodora* foram 27% e 28% maiores que em *Aniba canelilla*. No entanto, ao se relacionar tais variáveis por meio da razão $R_d/A_{máx}$, fica evidente que a maior taxa fotossintética em *Aniba rosaeodora* é compensada pela maior respiração no escuro, de forma que as duas espécies apresentam o mesmo valor de $R_d/A_{máx}$ (0,18).

Tanto *Aniba canelilla* quanto *Aniba rosaeodora* apresentaram rendimento quântico aparente (ϕ_a) abaixo do valor esperado para tecidos intactos de espécies C_3 em boas condições ($\phi_a = 0,111 \text{ mol mol}^{-1}$) segundo Skillman (2008), sendo cerca de 27% e 36% menores, respectivamente.

A dinâmica das trocas gasosas monitoradas pontualmente pelas respostas aos níveis 0 e 1000 $\mu\text{mol [fótons]} \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, confirmam a semelhança das espécies, em média, nas atividades fotossintéticas ($1,46 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $1,62 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$) e respiratórias ($0,94 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ e $-1,00 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$), entretanto as plantas diferem nos demais aspectos das trocas gasosas (gs, E, Ci, EUA e EIUA). Também foram verificadas diferenças em resposta às condições de disponibilidade hídrica ao longo do tempo.

Os danos conseqüentes do estresse hídrico resultaram em um declínio da maioria das variáveis de trocas gasosas observadas, com exceção dos teores de carbono interno em *Aniba rosaeodora* nos dois sistemas.

A despeito do maior rigor com que a fotossíntese foi limitada sob supressão hídrica, também ocorreu um declínio deste processo no tratamento irrigado, especialmente em *A. canelilla* (Tabela 5). Isto é provavelmente conseqüência das “condições ambientais de fundo” (Larcher, 2000), que neste caso estão relacionadas às condições de temperatura (máxima de $39^\circ\text{C}\pm 1$ e mínima de $26^\circ\text{C}\pm 1$) e luminosidade ($1100\pm 250 \mu\text{mol fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na casa de vegetação, desde que estas plantas estavam anteriormente em ambiente sombreado sob copas de árvores. De qualquer forma, estes resultados indicam que *Aniba rosaeodora* sustenta um melhor desempenho, em condições ambientais estressantes, quando há disponibilidade de

água. Entretanto sob suspensão de rega, *A. canelilla* apresentou maior tolerância da fotossíntese ao estresse hídrico ao longo do tempo (Tabela 5). Tal resposta reflete o melhor desempenho observado para esta espécie em outros componentes das trocas gasosas, que concorrem para maiores ou mais estáveis taxas de assimilação.

O balanço das trocas gasosas entre as espécies, nos dois tratamentos de irrigação, mostrou que os maiores valores de fotossíntese ocorreram entre a primeira e a terceira semana (Tabela 5). Neste período, a respiração se manteve estável, com exceção de *Aniba canelilla* no tratamento irrigado que, durante a semana três, época em que se percebeu um rápido crescimento da região apical com o lançamento de novas folhas (Tabela 4), alcançou maior R_d (Tabela 4). Este comportamento reflete a importância da atividade respiratória na geração de energia e metabólitos importantes para diversas rotas biossintéticas em plantas (Pystina e Danilov, 2001), de forma que a magnitude deste processo informa sobre o requerimento de energia em uma dada situação (Callister e Adams, 2006).

Avaliando-se o tratamento não-irrigado observa-se que a partir da terceira semana de experimento, fotossíntese e respiração apresentam respostas diferenciadas, de forma que a respiração ainda se mantém estável até a sexta semana (Tabela 4), enquanto que a atividade fotossintética começa a apresentar os efeitos do estresse hídrico, em consequência das implicações da desidratação sobre os processos difusivos, bioquímicos e fotoquímicos (dados não apresentados). Percebeu-se, então, uma maior susceptibilidade do processo fotossintético à seca nestas espécies, em relação à respiração. Comportamento semelhante foi observado, em estudos sobre os efeitos do estresse hídrico sobre as trocas gasosas em *Glycyne max* (Ribas-Carbo *et al.*, 2005) e em *Lysimachia minoricensis* (Galmés *et al.*, 2007).

O comportamento que uma espécie desenvolve frente ao estresse hídrico, revela a magnitude com que cada um dos processos componentes da fotossíntese afeta este metabolismo em sua totalidade. Em *Aniba rosaeodora* os maiores valores observados para a condutância, a transpiração e o conteúdo de carbono interno, indicam que as limitações impostas à assimilação fotossintética, nesta espécie, estiveram mais relacionadas ao decaimento da capacidade de carboxilação, geralmente vinculado à queda na atividade da rubisco (Konrad *et al.*, 2005; Galmés *et al.*, 2007), que à restrição imposta pelos estômatos. Tal fato pode ser verificado pelos valores médios de C_i registrado para *Aniba rosaeodora* (393,31 Pa) e preciosa (254,43 Pa). Por outro lado, menores taxas de condutância e transpiração em *Aniba canelilla* asseguraram maiores valores de EUA e EIUA, desde que as duas espécies apresentaram taxas fotossintéticas semelhantes. Estas relações se mostraram

estáveis ao longo do tempo nos dois sistemas, manifestando-se, entretanto, um acentuado declínio após a reidratação. Alguns autores relatam que estresses menos intenso podem promover um incremento na eficiência no uso da água, enquanto os de maior intensidade impõem um drástico declínio desta razão, em decorrência dos baixos valores de fotossíntese associados à alguma transpiração cuticular (Chaves e Rodrigues, 1987; Gratani *et al.*, 2000; Moriana *et al.*, 2002; Llorens *et al.*, 2003). O próprio processo de reidratação, quando realizado de maneira rápida, pode resultar em danos estruturais.

As respostas à reidratação foram acompanhadas durante duas semanas, contudo não ocorreu a recuperação do metabolismo fotossintético e a atividade respiratória registra as taxas mais baixas de todo o experimento. A falência da atividade fotossintética das plantas reidratadas foi resultado dos danos que a desidratação promoveu na folha, caracterizados por extensas manchas escuras e áreas ressecadas na superfície foliar. Por sua vez, o declínio da taxa respiratória pode estar associado às alterações no particionamento de elétrons entre as duas vias respiratórias, a via citocrômica (produção de energia) e a via da oxidase alternativa (AOX dissipação de energia), que ocorre sob estresse hídrico severo (Ribas-Carbo *et al.*, 2005). Contudo 80% das plantas das duas espécies apresentaram capacidade de recuperação, emitindo lançamentos foliares após duas semanas (dados não apresentados).

Em condições de estresse hídrico, as implicações do balanço de carbono comprometem o investimento da planta no acúmulo de reservas que se traduzem em crescimento (Larcher, 2000). Entretanto os efeitos do estresse variam entre os tecidos da planta de forma que, de uma maneira geral, ocorre uma redução do crescimento da parte aérea em favor do crescimento radicular, como estratégia de adaptação ao déficit hídrico (Burke, 2007). Tal fato se verificou sobre todas as características de crescimento avaliadas nas plantas de *Aniba rosaeodora* e *A. canelilla* não irrigadas. As respostas foram similares entre as espécies para as variáveis altura do caule (AGR-sl), número de folhas (NF), área foliar específica (AFE), biomassa foliar, do caule, da raiz e total, razão de peso foliar (LWR) e razão raiz/parte aérea (RPA). Entretanto o crescimento em diâmetro (sistema irrigado) foi maior em *Aniba rosaeodora* (Tabela 15). Uma redução no crescimento em área foliar e número de folhas foi também registrado em *Tabebuia aurea*, em resposta ao estresse hídrico (Cabral *et al.*, 2004). Gindaba *et al.*, (2005) em estudo que verificou o efeito do estresse hídrico sobre plantas jovens de diferentes espécies de árvores, também relatam uma redução na razão de peso foliar e na biomassa das plantas.

Em condições de limitação hídrica verifica-se, em diferentes espécies, um menor

particionamento de matéria seca para as folhas e um favorecimento do crescimento da raiz, resultando no incremento da RPA e na biomassa de raiz (Tabela 15). Este comportamento representa uma estratégia de tolerância à seca relatado para diferentes espécies nesta condição (Cabral *et al.*, 2004;).

3.5. CONCLUSÃO

As diferenças observadas nos aspectos das trocas gasosas entre as duas espécies podem, relativamente, favorecer plantas jovens de *A. canelilla* em ambientes de menor disponibilidade hídrica.

As respostas diferenciadas entre as duas espécies, em relação às trocas gasosas, sugerem que em *A. canelilla* as limitações à assimilação fotossintética recebe uma contribuição mais significativa dos processos difusivos, enquanto que em *A. rosaeodora* dos processos de carboxilação.

Embora tenha ocorrido declínio das características de crescimento e prejuízos ao processo de assimilação, as duas espécies apresentaram capacidade de recuperação ao estresse hídrico.

3.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, E. R. 1993. *Plantas medicinais brasileiras*. São Paulo: Hemus. 341 p.
- Arnell, N. W. (1999). *Climate change and global water resources*. 9: S31-S49.
- Benincasa, M. M. P. *Análise de crescimento de plantas (noções básicas)*. Jaboticabal: FCAVUNESP, 1986. 41p.
- Bonan, G. B. 2008. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests. *Science*, 320: 1444-1449.
- Brunini, O. 1979. *New devices for in situ measurements of soil and root water potentials and transport of water in the soil-plant-system*. Master's Thesis, University of Guelph, Guelph. 144 pp.
- Bugbee, B. G. 1996. Growth, analysis and yield components. In: Salisbury, F. B. (ed). *Units, Symbols, and Terminology for plant physiology*. Oxford University Press, pp. 115-119.
- Cabral, E.L.; Barbosa, D.C.A.; Simabukuro, E.A. 2004. Crescimento de plantas jovens de *Tabebuia áurea* (Manso) Benth & Hook. F. Ex. S. Moore submetidas a estresse hídrico. *Acta Botanica Brasílica*, 18(2): 241-251.
- Calbo, M.E.R.; Moraes, J.A.P.V. 2000. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). *Revista Brasileira de Botânica*, 23(3):225-230.
- Callister A.N.; Adams M.A. 2006. Water stress impacts on respiratory rate, efficiency and substrates, in growing and mature foliage of *Eucalyptus* spp. *Planta* 224: 680-691.
- Carneiro, P. T.; Cavalcanti, M. L. F.; Brito, M. E. B.; Gomes, A. H. S.; Fernandes, P. D.; Gheyi, H. R. 2007. Sensibilidade do cajueiro anão precoce ao estresse salino na pré-floração. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár.*, 2 (2):150-155.
- Carvalho, L. M.; Casali, V. W. D.; Souza, M. A.; Cecon, P. R. 2003. Disponibilidade de água no solo e crescimento de artemísia. *Horticultura brasileira*, 21 (4): 726-730.
- Chaves, M. M.; Rodrigues, M. L. 1987. Photosynthesis and water relations of grapevines growing in Portugal: response to environmental factors. In: Tenhunen, J. D.; Catarino, F. M.; Lange, O. L.; Oechel, W. C. (Ed.). *Plant response to stress*. Berlin: NATO-Advanced Study Institute, p. 379-390. (Series, G15).
- Chaves, M. M; Pereira, J. S.; Maroco, J.; Rodrigues, M. L.; Ricardo, C. P. P.; Osório, M. L.;

- Carvalho, I.; Faria, T.; Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field? photosynthesis and growth. *Annals of Botany.*, 89: 907-916.
- Chaves-Filho, J.T.; Stacciarini-Seraphin, E. 2001. Alteração no potencial osmótico e teor de carboidratos solúveis em plantas jovens de lobeira em reposta ao estresse hídrico. *Revista Brasileira de Botânica*, 24:199-204.
- Corrêa, M. P. 1984. *Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas* . Vol II, Imprensa Nacional ed., Rio de Janeiro.
- Eckstein, K.; Robinson, J.C. 1996. Physiological responses of banana (*Musa* AAA; Cavendish sub-group) in the subtropics. VI. Seasonal responses of leaf gas exchange to short-term water stress. *Journal of Horticultural Science*, 71: 679-692.
- Ennahli, S.; Earl, H. J. 2005. Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress. *Crop Sci*, 45: 2374-2382.
- Fernandez, R. J.; Wang, M.; Reynolds, J. F. 2002. Do morphological changes mediate plant responses to water stress? A steady-state experiment with two C₄ grasses. *New Phytologist*, 155 (1): 79-88.
- Ferreira, S. J. F.; Luizão, F. J.; Dallarosa, R. J. G. 2005. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra-firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. *Environ. Exp. Bot.*, 39: 213-220.
- Flexas J, Medrano H. 2002. Drought-inhibition of photosynthesis in C₃ plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. *Ann Bot.* 89(2):183-189.
- Freitas, R.B.; Oliviera, L.E.M.; Filho, N.D.; Soares, A.M. 2003. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). *Ciências Agrotécnica*, 27(4): 804-810.
- Fuzeto, A. P.; Lomônaco, C. 2000. Potencial plástico de *Cabrlea canjerana* subsp. *polytricha* (Adr. Juss.) Penn. (Meliaceae) e seu papel na formação de ecótipos em áreas de cerrado e vereda, Uberlândia, MG. *Revta Brasil. Bot.*, 23 (2): 169-176.
- Galmés, J.; Ribas-Carbo, M.; Medrano, H.; Flexas, J. 2007. Response of leaf respiration to water stress in Mediterranean species with different growth forms. *Journal of arid environments*, 68 (2): 206-222.
- Gindaba J.; Rozanov A.; Negash L. 2005. Photosynthetic gas exchange, growth and biomass

- allocation of two Eucalyptus and three indigenous tree species of Ethiopia under moisture deficit. *Forest Ecology and Management*, 205: 127-138.
- Giraud E.; Ho L. H. M.; Clifton R. Carroll, A.; Estavillo G.; Tan, Y-F.; Howell K. A.; Ivanova A.; Pogson, B. J.; Millar A. H.; Whelan, J. 2008. The absence of alternative oxidase1a in Arabidopsis results in acute sensitivity to combined light and drought stress. *Plant Physiology*, 147: 595-610.
- Gomes, A. A.; Araújo, A. P.; Rossiello, R. O. P.; Pimentel, C. 2000. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 35 (10): 1927-1937.
- Grassi, G.; Magnani, F. 2005. Stomatal, mesophyll conductance and biochemical limitations to photosynthesis as affected by drought and leaf ontogeny in ash and oak trees. *Plant, Cell and Environ.*, 28: 834-849.
- Hsiao, T. C.; Xu, L.K. 2000. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. *Journal of Experimental Botany*, 51:1595-1616.
- Ingram, J.; Bartels, D. 1996. The molecular basis of dehydration tolerance in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol* 47:377-403.
- Iqbal, R. M.; Rao, A. u-R.; Rasul, E.; Wahib, A. 1997. Mathematical models and responses function in Photosynthesis: an exponential model. In: Pessaraki, M. (ed.). *Handbook of photosynthesis*. New York. p. 131-158.
- Ismail, M. R.; Burrage, S. W.; Tarmizi, H.; Aziz, M. A. 1994. Growth, plant water relations, photosynthesis rate and accumulation of proline in young carambola plants in relation to water stress. *Scientia Horticulturae*, 60 (1): 101-114.
- Konrad, M.L.F.; Silva, J. A. B.; Furlani, P. R.; Machado, E. C. 2005. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de cafeeiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, 64 (3): 339-347.
- Körner, C. 2006. Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist*, 172 (3): 393 – 411.
- Krause, G.H.; Koroleva, O.Y.; Dalling, J.W.; Winter, K. 2001. Acclimation of tropical tree seedlings to excessive light in simulated tree-fall gaps. *Plant, Cell and Environ.*, 24: 1345-

1352.

- Larcher, W. 2000. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos: Rima. 2000. 531p.
- Lawlor, D. W. 2002. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. *Annals of Botany*, 89: 871-885.
- Lawlor, D.W., Cornic, G. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell Environ*, 25: 275–294.
- Llorens, L.; Peñuelas, J.; Filella, I. 2003. Diurnal and seasonal variations in the photosynthetic performance and water relations of two co-occurring Mediterranean shrubs, *Erica multiflora* and *Globularia alypum*. *Physiologia Plantarum*, 118 (1): 84 – 95.
- Maia, J.; Soares, G.; Sousa, P. J. C.; Fontes Junior, E. A.; Santos, A. M. S. 2003. Volatile compounds and antispasmodic activity of the stem bark oil of *Aniba canelilla*. In: *XII Congresso Ítalo-Latino-Aamericano de Etnomedicina*, Rio de Janeiro: NPPN/UFRJ, p. 273-273.
- Malhi, Y.; Roberts, J. T.; Betts, R. A.; Killeen, T. J.; Li W.; Nobre, C. A. 2008. Climate change, deforestation, and the fate of the Amazon. *Science*, 319: 169-172.
- Marengo, R.A.; Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G. 2001. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional *status* in two light environments in central Amazonia. *Tree Physiology*, 21(18):1311-1318
- Marques, C. A. 2001. Marques, C.A. 2001. Importância econômica da família Lauraceae Lindl. *Floresta e Ambiente*, 8(1): 195-206.
- Martins, E. C. 1989. *Plantas medicinais de uso na Amazônia*. Belém: Graficentro/Cejup. 107p.
- May, P.H.; Barata, L.E.S. 2004. Rosewood exploitation in the Brazilian Amazon: options for sustainable production. *Economic Botany*, 58 (2): 257-265.
- McCree, K. J.; Kallsen, C. E.; Richardson, S. G. 1984. Carbon Balance of Sorghum Plants during Osmotic Adjustment to Water Stress, *Plant Physiology*, 76: 898-902.
- Moriana, A.; Villalobos, F. J.; Fereres, E. 2002. Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea* L.) leaves to water deficits. *Plant, Cell and Environ.*, 25 (3): 395-

405.

- Pastore, D.; Trono, D.; Laus, M. N.; Di Fonzo, N.; Flagella, Z. 2007. Possible plant mitochondria involvement in cell adaptation to drought stress. A case study: durum wheat mitochondria, *J Exp. Bot.*, 58(2):195-210.
- Peixoto, C. P.; Cerqueira, E. C.; Soares Filho, W. S.; Castro Neto, M. T.; Ledo, C. A. S.; Matos, F. S.; Oliveira, J. G. 2006. Análise de crescimento de diferentes genótipos de citros cultivados sob déficit hídrico. *Rev. Bras. Frut.*, 28 (3): 439-443.
- Pystina, N. V.; Danilov, R. A. 2001. Influence of light regimes on respiration, activity of alternative respiratory pathway and carbohydrates content in mature leaves of *Ajuga reptans* L. *Rev. Bras. Fisiol. Veg.*, 13 (3): 285-292.
- Reich, P. B.; Walters, M. B.; Ellsworth, D. S.; Vose, J. M.; Volin, J. C.; Gresham, C.; Bowman, W. D. 1998. Relationships of leaf dark respiration to leaf nitrogen, specific leaf area and leaf life-span: a test across biomes and functional groups. *Oecologia*, 144: 471-482.
- Reis, M. G. F.; Fontan, I. C. I.; Monte, M. A.; Gomes, N. A.; Oliveira, C. H. R. 2006. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* X *Eucalyptus* spp submetidos a dois regimes de irrigação no campo. *Rev. Árv.*, 30 (6): 921-931.
- Ribas-Carbo, M.; Taylor, N. L.; Giles, L.; Busquets, S.; Finnegan, P. M.; Day, D. A.; Lambers, H.; Medrano, H.; Berry, J. A.; Flexas, J. 2005. Effects of Water Stress on Respiration in Soybean Leaves, *Plant Physiology*, 139: 466-473
- Santiago, A.M.P.; Nogueira, R. J. M. C.; Lopes, E. C. 2001. Crescimento em plantas jovens de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth., cultivadas sob estresse hídrico. *Ecossistema* 26: 23-30.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148:39-46.
- Sharp, R. E.; LeNoble, M. 2002. ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. *J Exp. Bot.*, 53 (366): 33-37.
- Silva, E. C.; Nogueira, R. J. M. C.; Araújo, F. P.; Melo, N. F.; Azevedo Neto, A. D. 2008. Physiological responses to salt stress in young umbu plants. *Environ. Exp. Bot.*, 63(3): 147-157.

- Skillman, J. B. 2008. Quantum yield variation across the three pathways of photosynthesis: not yet out of the dark. *J Exp. Bot.*, 59(7):1647-1661.
- Souza, C.R. de; Soares, A.M.; Regina, M.de A. 2001. Trocas gasosas de mudas de videiras, obtidas por dois porta-enxertos, submetidas à deficiência hídrica. *Pesq. Agropec. Brasília*, 36(10): 1221-1230.
- Steppe, K; Saveyn, A.; Vermeulen, K; Lemeur, R. 2006. A comprehensive model for simulating stem diameter fluctuations and radial stem growth. ISHS *Acta Horticulturae* 718: III International Symposium on Models for Plant Growth, Environmental Control and Farm Management in Protected Cultivation (HortiModel 2006).
- Dan Tatagiba, S.; Pezzopane, J. E. M.; Reis, E. F.; Dardengo, M.C. J. D.; Effgen, T. A. M. 2007. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. *Cerne*, 13(2): 149-159.
- Tezara, W; Mitchell, V. J.; Driscoll, S. D.; Lawlor, D. W. 1999. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. *Nature*, 401: 914-917.
- Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58:339-366.
- Tuzet, A.; Perrier, A.; Leuning, R. 2003. A coupled model of stomatal conductance, photosynthesis and transpiration. *Plant Cell Environ.* 26: 1097-1116.
- Wu, F. Z.; Bao, W. K.; Li, F. L.; Wu, N. 2008. Effects of water stress and nitrogen supply on leaf gas exchange and fluorescence parameters of *Sophora davidii* seedlings. *Photosynthetica*, 46 (1): 40-48.
- Vidal, M. S.; Carvalho, J. M. F. C.C.; Meneses, H. S. G. 2005. Déficit hídrico: aspectos morfofisiológicos. Embrapa Algodão. *Série Documentos*, 142. 19pp.

ANEXOS 3

Tabela 1: Análise de variância do potencial hídrico na antemanhã e ao meio-dia de plantas jovens de *A. canelilla* e *A. rosaedora* submetidas a quatro tratamentos de rega (T₀: Controle; T₁: suspensão de rega por oito dias; T₁₆: suspensão de rega por 16 dias; T₂₄: suspensão de rega por 24 dias) em duas condições (estressado e reidratado).

Fonte de Variação	GL	QM
Condição (Cond)	1	10,8**
Hora (H)	1	48,6**
Espécie (Sp)	1	4,5**
Tratamentos (T)	3	86,1**
Cond X H	1	0,2ns
Cond X Sp	1	0,3ns
Cond X T	3	5,6**
H X Sp	1	0,6ns
H X T	3	1,1ns
Sp X T	3	2,1**
Cond X H X Sp	1	0,6ns
Cond X Sp X T	3	0,2ns
Cond X H X T	3	0,1ns
H X Sp X T	3	0,3ns
Cond X H X Sp X T	3	0,3ns
Erro	158	0,4
Média		-1,9
CV (%)		35,3

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível pelo teste F.

Tabela 2: Análise de variância da respiração no escuro (R_d) em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI = Tratamento não-irrigado), acompanhadas por um período de sete semanas.

Fonte de Variação	GL	R_d
Espécie (Sp)	1	0,0ns
Tratamentos (Trat)	1	0,0ns
Semana (Sem)	5	11,6**
Sp X Trat	2	0,0ns
Sp X Sem	5	0,2ns
Trat X Sem	4	0,1ns
Sp X Trat X Sem	4	0,2ns
Erro	82	0,1
Média		0,9
CV (%)		44,9

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 3: Análise de variância das variáveis de trocas gasosas, obtidas em PPF de $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (I = Tratamento irrigado; NI = Tratamento não-irrigado) acompanhadas durante sete semanas. (A = fotossíntese líquida, g_s = condutância estomática, C_i = carbono interno, E = transpiração, EUA = eficiência no uso da água, EIUA = eficiência intrínseca no uso da água).

Fonte de Variação	GL	A	g_s	C_i	E	EUA	EIUA
Espécie (Sp)	1	0,9ns	0,0**	181748,5**	0,8**	81,1**	66151,6**
Tratamentos (Trat)	1	7,3**	0,0*	17,7ns	6,3*	0,8ns	457,7 ns
Semana (Sem)	5	24,9**	0,0**	32872,4*	1,9**	24,1*	14796,1 ns
Sp X Trat	1	1,9ns	0,0ns	2986,8ns	0,2ns	0,1ns	186,6ns
Sp X Sem	5	6,9**	0,0**	68615,8**	0,6**	5,5ns	4312,4 ns
Trat X Sem	4	9,8**	0,0**	731,6ns	0,9**	0,2ns	209,5 ns
Sp X Trat X Sem	4	0,9ns	0,0ns	3119,0ns	0,1ns	1,1ns	1138,8ns
Erro	78	0,9	0,0	14727,6	0,1	8,3	6385,5
Média		1,5	0,0	321,1	0,7	0,3	11,8
CV (%)		59,9	41,3	37,8	44,7	992,3	676,5

ns – não significativo

* - significativo ao nível de 5% pelo teste F.

** - significativo ao nível de 1% pelo teste F.

Tabela 4: Análise de variância das variáveis altura, diâmetro e ganho foliar em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Fonte de Variação	GL	Altura	Diâmetro	Ganho foliar
Época (Ep)	1	335,7**	3,2ns	149,6*
Espécie (Sp)	1	534,7**	7,3*	93,6ns
Sistema (Sist)	1	60,4ns	16,1**	10,8ns
Ep x Sp	1	16,1ns	0,3ns	13,3ns
Ep x Sist	1	158,9**	0,2ns	36,3ns
E x Sist	1	651,0**	3,7ns	86,7ns
Ep x Sp x Sist	1	40,9ns	0,0ns	10,8ns
Erro	112	23,3	1,2	28,9
Média		25,66	4,9	15,3
CV (%)		18,83	21,9	35,1

Tabela 5: Análise de variância da biomassa em plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Fonte de Variação	GL	QM
Espécie (Sp)	1	1,4ns
Órgãos (Org)	2	0,8ns
Tratamento (Trat)	1	152,1**
Esp x Org	2	0,5ns
Esp x Trat	1	0,2ns
Org x Trat	2	12,0**
Esp x Org x Trat	2	0,6ns
Erro	108	0,7
Média geral		2,2
Cv		36,3

Tabela 6: Análise de variância das variáveis razão raiz/parte aérea (RPA), razão de peso foliar (RPF), massa seca tota (MP) e área foliar específica (AFE), de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* submetidas a dois tratamentos (irrigado e não-irrigado).

Fonte de Variação	GL	RPA	RPF	MSP	AFE
Espécie (Sp)	1	0,06ns	0,01 ns	4,26ns	66,1912ns
Tratamentos (Trat)	1	1,96**	0,51**	456,37**	7059,79003**
Sp X Trat	1	0,08ns	0,00 ns	0,67ns	483,4839ns
Erro	36	0,06	0,09	3,94	314,0824
Média		0,60	0,28	6,65	154,6175
CV (%)		41,09	18,36	29,85	25,76

CONCLUSÃO GERAL

As plantas jovens de *A. rosaeodora* e *A. canelilla* apresentaram potencial para tolerância ao estresse hídrico, demonstrando capacidade de recuperação após reidratação, e bom desempenho em resposta ao estresse por elevada irradiância.

O comportamento de plantas jovens de *Aniba canelilla* e *Aniba rosaeodora* neste trabalho indicou como principal mecanismo de tolerância à seca a capacidade de fazer ajustamento osmótico. As duas espécies demonstraram condições para tolerar seca moderada (T₁₆) à severa (T₂₄), porque mesmo com o declínio dos parâmetros acompanhados ao longo do estresse (CRA e potencial hídrico foliar), bem como alterações importantes em todas as características que foram avaliadas no início (T₀) e ao final (T₂₄) do experimento (como fotossíntese, teores de pigmentos, açúcares e crescimento), as plantas foram capazes de emitir lançamentos foliares após reidratação.

A baixa disponibilidade hídrica não alterou o rendimento dos óleos voláteis nas duas espécies.

Em condição de boa disponibilidade hídrica, as duas espécies apresentaram diferenças significativas quanto à Amáx, R_d, I_s, I_c e g_s, em que *Aniba rosaeodora* apresentou os maiores valores sugerindo uma melhor adaptação desta espécie a níveis mais elevados de irradiância.

Em plantas de *Aniba rosaeodora* e *Aniba canelilla*, com 18 meses de idade, a aclimação à ambientes com alta irradiância ocorre por meio de mecanismos que mantêm o metabolismo fotossintético em níveis mais baixos.

Aniba rosaeodora mostrou-se ser mais bem adaptada a níveis mais elevados de irradiância, tanto pelas características das trocas gasosas como para o rendimento de óleos voláteis, que se mantiveram semelhantes nas duas condições.

Aniba canelilla, apesar das limitações impostas pela irradiância elevada do ambiente a pleno sol que, entre outros aspectos, resultaram em um menor rendimento de óleo volátil, apresentou uma maior eficiência no uso da água, aspecto vantajoso quando em condições naturais combinam-se os estresses por alta irradiância e hídrico.

As duas espécies apresentaram capacidade de tolerância à transferência imediata para ambientes contrastantes de luz, característica que facilita o manejo silvicultural destas plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

- Barata, L. E. S.; Zellner, B. D.; Mondello, L. 2006. Enantioselective odour analysis of linalool present in Brazilian rosewood (*Aniba rosaeodora* Ducke) essential oils extracted from wood and leaves through enantioselective-gas-chromatography-olfactometry, enantioselective-gas-chromatography and gas-chromatography-mass spectrometry. *Analytical Chemistry*, 78: 883-890.
- Barbosa, A. P.; Sampaio, P. T. B.; Campos, M. A. A.; Goncalves, C. Q. B.; Neves, T. S.; Oliveira, I. F. 2000. A germinação de sementes de pau-rosa (*Aniba rosaeodora ducke*) em diferentes substratos. In: Workshop Intermediário: Estudos para manejo florestal e recuperação de áreas degradadas, Manaus (AM). Workshop Intermediário: Estudos para manejo florestal e recuperação de áreas degradadas - Projeto Jacaranda (INPA/JICA).
- Barbosa, A. P.; Freitas, M. S.; Useche, F. L.; Santos, A. T. C.; Chaar, J. S. 2005. Produção de óleo de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) e o crescimento de mudas plantadas. In: III Simpósio Brasileiro de Óleos Essenciais, Campinas/SP. Comitê Editorial do IAC. 1: 128-128.
- Benincasa, M. M. P. 1986. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Jaboticabal: FCAVUNESP. 41p.
- Chaar, J. S. 2000. Estudos analíticos e modificação química por acetilação do linalol contido no óleo essencial da espécie *Aniba duckei* Korstermans. Master's Thesis, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. 150pp.
- Chaar, J. S; Mouchrek Filho, V. E.; Silva, D. D.; Breviglieri, S. T.; Galhiane, M. S. ; Chierice, G. O. 2003. Extraction and Quantification of Linalool in the Essential Oil from Leaves from *Aniba duckei* Kostermans cultivated in its natural environment. *Anais da Associação Brasileira de Química*, 52 (3): 110-114.
- Clevenger, J. F. 1928. Apparatus for volatile oil determination. *American Perfumer and Essential Oil Review*. p. 467-468.
- Cunha, L.N. 2002. *Influência sazonal no teor de linalol da espécie Aniba duckei Korstermans plantadas em ambiente natural*. Master's Thesis, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 90 pp.
- Gonçalves, J. F. C.; Sousa, D. C.; Santos Junior, U. M.; Lima, R. B.; Barbosa, A. P.; Sampaio,

- P. T. 2003. Eficiência fotoquímica do fotossistema II e teores de pigmentos cloroplastídicos em plantas jovens de pau-rosa (*Aniba rosaeodora ducke*) submetidas a diferentes relações de NO₃⁻/NH₄⁺. In: 54. Congresso Nacional de Botânica, 2003, Belém-PA. Desafios da Botânica Brasileira no Novo Milênio: Inventário, sistematização e conservação da diversidade vegetal, 2003. v. 1. p. 79-79.
- Gonçalves, J.F. de C.; Santos Junior, U.M. dos. 2005. Utilization of the chlorophyll a fluorescence technique as a tool for selecting tolerant species to environments of high irradiance. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17 (3): 307-313.
- Hendry, G.A.F.; Price, A.H. 1993. Stress indicators: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F.; Grime, J.P. (eds), *Methods in Comparative Plant Ecology*, p. 148-152. London, Chapman & Hall.
- Lahlou, S.; Magalhães, P. J.; de Siqueira, R. J.; Figueiredo, A. F.; Interaminense, L. F.; Maia J. G.; Sousa, P. J. 2005. Cardiovascular effects of the essential oil of *Aniba canelilla* bark in normotensive rats. *J Cardiovasc Pharmacol.*, 46 (4): 412-21.
- Lichtenthaler, H.K.; Wellburn, A.R. 1983. Determination of total carotenoids and chlorophyll *a* and *b* of leaf extracts in different solvents. *Biochemical Societ Transactions*, 591-603.
- Lima, M. P.; Silva, T. M. D.; Silva, J. D.; Zoghbi, M. G. B.; Andrade, E. H. A. 2004. Essential oil composition of leaf and fine stem of *Aniba canelilla* (Kunth) Mez from Manaus, Brazil. *Acta Amazonica*, 34 (2): 329 – 330.
- Lima, R. B. S. 2006. Características fisiológicas e conteúdo de óleos voláteis em folhas de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em diferentes períodos de precipitação, na Amazônia Central. Master`s Thesis, INPA / UFAM, Manaus. 69pp.
- Maia, J. G. S.; Sousa, P. J. C.; Fontes Junior, E. A.; Santos, A. M. S. 2003. Volatile compounds and antispasmodic activity of the stem bark oil of *Aniba canelilla*. In: XII Congresso Ítalo-Latino-Aamericano de Etnomedicina, 2003, Rio de Janeiro. Livro de Resumos. Rio de Janeiro: NPPN/UFRJ, 1: 273-273.
- Marengo, R.A.; Gonçalves, J.F.C.; Vieira, G. 2001. Leaf gas exchange and carbohydrates in tropical trees differing in successional *status* in two light environments in central Amazonia. *Tree Physiology*, 21(18):1311-1318
- May, P.H.; Barata, L.E.S. 2004. Rosewood exploitation in the brazilian amazon: options for

- sustainable production. *Economic Botany* 58(2): 257-265.
- Morris, D. L. 1948. Quantitative determination of carbohydrates with Dreywood's anthrone reagent. *Science*. 107: 254-255.
- Passos, L.P. 1996. *Métodos analíticos e laboratoriais em fisiologia vegetal*. Embrapa, Coronel Pacheco, MG. 223 p
- Pimentel, C. 1999. Relações hídricas em dois híbridos de milho sob dois ciclos de deficiência hídrica. *Pesquisa agropecuária brasileira*, 34(11): 2021-2027.
- Rosa, L. S.; Ohashi, S.T.; Meckdece, F. S. 2001. Influência do diâmetro e da altura de corte das cepas na brotação de pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). In: V Congresso Internacional de Compensado e Madeira Tropical, Belém.
- Sampaio, P. T. B.; Barbosa, A. P.; Vieira, G. e Spironello, W. R.; Ferraz, I.D.K. e Camargo, J.L.C. 2003. Silvicultura do Pau Rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke). In: Higuchi, N. et al.,(orgs.). Projeto Jacaranda Fase II: *Pesquisas Florestais na Amazônia Central*. Manaus: INPA, 2: 179-189.
- Scholander, P.F.; Hammel, H.T.; Bradstreet, E.D.; Hemmingsen, E.A. 1965. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148:39-46.
- Spironello, W.; Barbosa, A. P.; Sampaio, P. T. B. 2001. Ecologia reprodutiva, manejo e conservação do pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em sistemas de plantios. In: V Congresso de Ecologia do Brasil. Porto Alegre.
- Wilson Roberto Spironello, Paulo de Tarso Barbosa Sampaio e Beatriz Ronchi-Teles. 2004. Produção e predação de frutos em *Aniba rosaeodora* Ducke var. *amazonica* Ducke (Lauraceae) em sistema de plantio sob floresta de terra firme na Amazônia Central. *Acta bot. bras.* 18(4): 801-807.
- Taveira, F.S.N.; Lima, W.N.;Andrade, E.H.A.; Maia, j.G.S. 2003. Seasonal essential oil variation of *Aniba canelilla*. *Biochemical Systematics and ecology*, 31: 69-75.
- Turner, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil*, 58: 339-366.
- Vieira, G.; Sampaio, P. T. B.; Quinsen, R. 2000. Regeneração Natural Como Propágulos para Produção de Mudanças de Pau-rosa (*Aniba rosaeodora* Ducke) em Viveiro. In: Forest 2000, Porto Seguro. VI Congresso Internacional sobre Florestas, p. 177-180.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)