



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

ERILVA MACHADO COSTA

**CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIAS DE *Hevea brasiliensis* Muell. Arg EM
DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS, CONCENTRAÇÕES DE CO₂ E NÍVEIS DE
ÁGUA NO SOLO**

ORIENTADOR: JOSÉ EDUARDO MACEDO PEZZOPANE

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
2015

ERILVA MACHADO COSTA

**CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIAS DE *Hevea brasiliensis* Muell. Arg EM
DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS, CONCENTRAÇÕES DE CO₂ E NÍVEIS DE
ÁGUA NO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Orientador: José Eduardo M. Pezzopane

Coorientadores: Paulo Cezar Cavatte e
Sandro Dan Tatagiba

JERÔNIMO MONTEIRO - ES
2015

- C837c Costa, Erilva Machado, 1989-
Crescimento de mudas clonais de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg em diferentes regimes térmicos, concentração de CO₂ e níveis de água no solo/ Erilva Machado Costa. – 2015.
91f. : il.

Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane.
Coorientador: Paulo Cezar Cavatte; Sandro Dan Tatagiba.
Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Seringueira. 2. Elevado CO₂. 3. Câmara de topo aberto. 4. Deficiência hídrica. I. Pezzopane, José Eduardo Macedo. II. Cavatte, Paulo Cezar. III. Tatagiba, Sandro Dan. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

**CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIS DE *Hevea brasiliensis* Muell.
Arg EM DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS, CONCENTRAÇÕES DE CO₂ E
NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO**

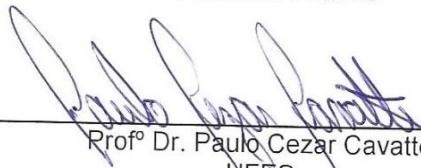
ERILVA MACHADO COSTA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

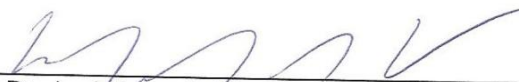
Aprovada em 31 de julho de 2015



Profº Dr. Rodrigo Sobreira Alexandre
UFES
Examinador Externo



Profº Dr. Paulo Cezar Cavatte
UFES
Co-orientador



Profº Dr. José Eduardo Macedo Pezzopane
UFES
Orientador

“Tenho a impressão de ter sido uma criança brincando à beira-mar, divertindo-me em descobrir uma pedrinha mais lisa ou uma concha mais bonita que as outras, enquanto o imenso oceano da verdade continua misterioso diante de meus olhos.”

Isaac Newton

Agradecimentos

Agradeço ao 'Divino supremo', pois este me guia e me fortalece pra seguir minha missão.

Aos meus pais Nilta e Antônio por me amar e educar.

Aos meus irmãos Nilva, Eronildo, Gil, Vagner, Anderson, Tchek e Amanda por me edificarem com o amor fraterno.

Aos meus sobrinhos Laiza, Júlia e Luis pelo amor imenso e respeito.

Ao meu Noivo Fernando pelo amor, amizade e aprendizado.

Aos meus familiares e amigos de longa data que estiveram sempre torcendo por mim.

Agradeço ao Professor José Eduardo Macedo Pezzopane pela orientação e pelos conhecimentos compartilhados para melhoria da minha formação profissional e pessoal.

Agradeço aos professores Paulo César Cavatte e Sandro Dan Tatagiba pela orientação.

À Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais pela realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Às empresas Anglo American e Vale pela infraestrutura e a empresa NR Seringueira pela doação das mudas.

Aos meus amigos de laboratório: Siléia, Jessily, Elias, Hamilton, Sandy, Mariana, Jonas, André e Rogério pela força.

Grata!

RESUMO

COSTA, Eriiva Machado. **CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIS DE *Hevea brasiliensis* Muell. Arg EM DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS, CONCENTRAÇÕES DE CO₂ E NÍVEIS DE ÁGUA NO SOLO.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: José Eduardo Macedo Pezzopane. Coorientador(es): Paulo Cezar Cavatte; Sandro Dan Tatagiba

A intensificação das atividades antrópicas tem resultado em aumento significativo da concentração de gases de efeito estufa, alterando inclusive os regimes térmicos e, conseqüentemente, o balanço hídrico, podendo influenciar o crescimento de plantas. O objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento inicial e determinar padrões fisiológicas de clones de seringueira sob condições climáticas adversas. Para isso dois experimentos foram estabelecidos com intuito de avaliar a influência de concentrações de CO₂ e de diferentes regimes hídricos em microclimas contrastantes. Os estudos foram realizados em casas de vegetação climatizadas, com controle de temperatura e umidade relativa do ar, pertencente ao Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, no município de Jerônimo Monteiro, ES. No estudo apresentado no capítulo I, dois clones de *H. brasiliensis* (RRIM 600 e FX 3864) foram avaliados sob diferentes condições microclimáticas e concentrações atmosféricas de CO₂. Assim, dois experimentos foram montados, uma para cada clone, seguindo um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2 (duas condições microclimáticas x duas concentrações de CO₂), com seis repetições, sendo cada repetição composta por uma planta. Para o controle das concentrações de CO₂, utilizou-se câmaras de topo aberto (OTC's - *Open Top Chambers*) com controle automático de injeção de CO₂, alocadas no interior de duas casas de vegetação climatizadas entre os meses de setembro a dezembro. No estudo apresentado no capítulo II, dois clones de *H. brasiliensis* (RRIM 600 e FX 3864) foram avaliados sob condições microclimáticas e regimes hídricos distintos entre os meses de setembro a novembro. Assim, dois experimentos foram montados, uma para cada clone, seguindo um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2 (duas condições microclimáticas x dois regimes hídricos), com cinco repetições, sendo cada repetição composta por uma planta. A água disponível no substrato foi determinada por meio de dados obtidos em curva de retenção de água no solo e, a partir desses dados estabeleceu-

se o volume de água para cada regime hídrico. O controle da água foi através de pesagens diárias dos vasos. Ao final de cada experimento realizou-se análise de crescimento das plantas através da obtenção da massa seca total e suas partições, além da área foliar total e área foliar específica. Para avaliação das respostas fisiológicas das plantas, realizou-se medições de trocas gasosas e quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos para ambos os experimentos. Além disso, para o experimento do capítulo I, foram realizadas medições de trocas gasosas para ajuste de curvas da relação entre a assimilação líquida de CO_2 (A) e o fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ($FFFA$) e curva da relação de assimilação líquida de CO_2 entre a concentração interna de CO_2 para obtenção de parâmetros fotossintéticos. Os dados dos dois experimentos foram submetidos à análise de variância e, quando significativa, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Os clones apresentaram maior crescimento, maiores taxas de assimilação líquida de CO_2 e eficiência intrínseca do uso da água com o aumento da concentração de CO_2 , independente dos microclimas. Através das variáveis respostas de crescimento e fisiológicas fica evidente na presente pesquisa que os clones de seringueira avaliados, apresentam uma maior sensibilidade às condições do microclima com baixa demanda atmosférica, independente da $[\text{CO}_2]$, visto que, através das análises das curvas $A/FFFA$ e A/C_i , os clones apresentam maiores desempenhos fotossintéticos em resposta a luz quando mantidos sob alta demanda atmosférica. A redução de 50% da água disponível no solo para os dois clones, foi suficiente para reduzir o crescimento, demonstrando a grande suscetibilidade dos clones ao déficit hídrico. Entretanto, o clone FX 3864 mostrou-se mais tolerante à redução na disponibilidade hídrica em relação ao clone RRIM 600.

Palavras-chave: Seringueira, elevado CO_2 , câmaras de topo aberto, deficiência hídrica.

ABSTRACT

COSTA, Eriiva Machado. **GROWTH OF PLANTS CLONAL *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. DIFFERENT SCHEMES UNDER THERMAL, STRENGTHS OF CO₂ AND WATER LEVELS IN SOIL.** 2015. Dissertation (Masters in Forest Science) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Adviser: José Eduardo Macedo Pezzopane. Co-advisers: Paulo César Cavatte; Sandro Dan Tatagiba

The intensification of human activities has resulted in significant increase in the concentration of greenhouse gases, including changing the thermal regimes and hence the water balance and can influence the growth of plants. The objective of this study was to evaluate the initial growth and determine physiological patterns of rubber tree clones under adverse weather conditions. For this two experiments were established in order to assess the influence of CO₂ concentrations and different water regimes in contrasting microclimates. The studies were carried out in air-conditioned greenhouses, with controlled temperature and relative humidity, belonging to the Meteorological Laboratory Ecophysiology and Forestry of the Federal University of Espírito Santo in the city of Jerônimo Monteiro, ES. In the study presented in Chapter I, two clones of *H. brasiliensis* (RRIM 600 and FX 3864) were evaluated under microclimate conditions and atmospheric concentrations of CO₂ contrasting. Thus, two experiments were set up, one for each clone, following a completely randomized design in a 2x2 factorial design (two microclimate conditions x two concentrations of CO₂) with six repetitions, each repetition consisting of a plant. For controlling CO₂ concentrations, we used open-top chambers (*OTC - Open Top Chambers*) with automatic control of CO₂ injection, allocated within two greenhouses acclimatized between the months of September to December. In the study presented in chapter II, two clones of *H. brasiliensis* (RRIM 600 and FX 3864) were evaluated under microclimate conditions and different water regimes between the months of September to November. Thus, two experiments were set up, one for each clone, following a completely randomized design in a 2x2 factorial design (two water regimes x two microclimate conditions), with five replications, each replication consisted of a plant. The available water in the substrate was determined by using data obtained water retention curve in the soil and, from these data it was established volume of water for each water system. The water control was performed by daily weighing vessel, using a precision balance. At the end of each experiment

was performed plant growth analysis by obtaining the total dry matter and its partitions, as well as leaf area, leaf specific area. To evaluate the physiological responses of plants, there was gas exchange measurements and quantification of photosynthetic pigments content for both experiments. Furthermore, for the experiment Chapter I, of the gas exchange measurements for curve fitting were performed $A/FFFA$ and A/C_i to obtain photosynthetic parameters. The data from the two experiments were subjected to analysis of variance, and when significant, the averages were compared by Tukey test at 5% probability. Clones showed higher growth, higher net assimilation rates of CO_2 and intrinsic efficiency of water use by increasing the concentration of CO_2 , regardless of microclimates. Using the variables growth and physiological responses is evident in this study that the rubber tree clones, RRIM 600 and FX 3864, have a greater sensitivity to microclimate conditions with low air demand, independent of $[CO_2]$. Since, through the analysis of the curves $A/FFFA$ and A/C_i , clones have higher photosynthetic performance in response to light when kept under high atmospheric demand. The reduction of 50% of available water in the soil for the clones RRIM 600 and FX 3864, was sufficient to reduce growth, demonstrating high susceptibility of clones to drought. However, the clone FX 3864 was more tolerant to reduced water availability compared to the RRIM 600 clone.

Keywords: Rubber tree, elevated CO_2 , Open Top Chambers, water deficiency.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Espécie estudada: <i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg.	3
2.2 Clones de seringueira	4
2.2 Mudanças climáticas.....	5
2.3 Crescimento das plantas sob elevado CO ₂	6
2.4 Efeito da temperatura nas plantas	8
2.5 Efeito da deficiência hídrica nas plantas	9
3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
CAPÍTULO I: CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIS DE <i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg EM DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS E CONCENTRAÇÕES DE CO ₂	14
1 INTRODUÇÃO	15
2 MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1 Local do estudo e instalação do experimento	17
2.2 Caracterização microclimáticas	18
2.3 Controle das concentrações de CO ₂	20
2.4 Material vegetal.....	22
2.5 Avaliação do crescimento das plantas	23
2.6 Análises fisiológicas	23
2.6.1 Avaliação das trocas gasosas.....	23
2.6.2 Determinação dos teores dos pigmentos fotossintéticos	25
2.7 Análises estatística dos dados.....	26
3 RESULTADOS	27
3.1 Resumo da análise de variância	27
3.2 Crescimento	31
3.3 Trocas gasosas.....	32
3.4 Curva de resposta à luz	34
3.5 Curva de resposta ao CO ₂	37
4 DISCUSSÃO	42
4.1 Crescimento.....	43
4.2 Respostas fisiológicas.....	45
4.2.1 Trocas gasosas.....	49
4.2.2 Pigmentos fotossintéticos	47
5 CONCLUSÕES	49
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO II: CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIS DE <i>Hevea brasiliensis</i> Muell. Arg EM DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS E DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO	54
1 INTRODUÇÃO	55
2 MATERIAL E MÉTODOS	57

2.1 Local do estudo e instalação do experimento	57
2.2 Caracterização microclimática	57
2.3 Material vegetal.....	59
2.4 Regimes hídricos	60
2.5 Avaliação do crescimento das plantas	60
2.6 Análises fisiológicas	61
2.6.1 Avaliação das trocas gasosas.....	61
2.6.2 Determinação dos teores dos pigmentos fotossintéticos	61
2.7 Delineamento experimental e análise estatística dos dados.....	62
3 RESULTADOS	63
3.1 Resumo da análise de variância	63
3.1.2 Clone RRIM 600.....	63
3.2 Crescimento	65
3.3 Trocas gasosas.....	67
3.4 Pigmentos fotossintéticos	69
4 DISCUSSÃO	72
4.1 Crescimento	72
4.2 Respostas fisiológicas.....	74
4.2.1 Trocas gasosas.....	74
4.2.2 Pigmentos fotossintéticos	75
5 CONCLUSÕES	77
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

1 INTRODUÇÃO GERAL

A seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg), nativa da região Amazônica, é considerada a espécie mais importante do seu gênero (GONÇALVES et al., 1989), devido à sua maior capacidade produtiva de látex para produção de borracha natural de qualidade. A espécie é considerada uma *commodity* mundialmente valorizada, devido a sua ampla gama de aplicações industriais, tais como na manufatura de pneus, produtos para uso médicos e farmacêuticos, calçados e outros (PEREIRA et al., 2000; COELHO JUNIOR et al., 2009).

A produção mundial de borracha natural atualmente ultrapassa mais de 11 milhões de toneladas. Deste total, mais de 80% de toda produção é originária de países do sudeste asiático, tais como Tailândia, Indonésia e Malásia. A China é o maior consumidor de borracha natural, absorvendo mais de 30%, em seguida vêm os países da comunidade Européia com um consumo de 9,4% do que é produzido mundialmente (IRSG, 2013).

Com relação ao Brasil, que já foi o maior produtor e exportador de borracha natural do mundo, atualmente, é responsável por apenas 1% (135.000 mil toneladas) da produção mundial, sendo necessário importar borracha natural para suprir um consumo de 3% (350.000 mil toneladas) da produção mundial (IRSG, 2013). No ano de 2013, a área plantada com seringueira no país alcançou 172.448 mil hectares, sendo São Paulo, Mato Grosso, Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo como os estados responsáveis pelas maiores áreas de cultivo (IBÁ, 2014).

O cultivo da seringueira é uma atividade altamente dependente das condições climáticas, que podem alterar o desenvolvimento e a produção da planta constituindo um sério obstáculo à implantação de cultivos comerciais. Dentre os fatores climáticos condicionantes para o cultivo da seringueira pode-se destacar a temperatura, umidade relativa do ar, disponibilidade hídrica e radiação solar (ORTOLANI et al., 2000), como os mais importantes que estão diretamente ligados aos processos fisiológicos e metabólicos relativos à planta da seringueira, principalmente na síntese de látex.

Diante dos prognósticos do *Intergovernmental Panel Climate Change* (IPCC, 2014), acerca do aumento das temperaturas globais devido à elevação dos gases de efeito estufa, principalmente o CO₂, pesquisadores admitem que as regiões climaticamente limítrofes àquelas de delimitação de cultivo adequado de plantas agrícolas podem se tornar desfavoráveis ao desenvolvimento vegetal (ASSAD et al.,

2004). Assim, pesquisas que são direcionadas a identificar materiais genéticos resistentes às adversidades climáticas são de grande importância, destacando trabalhos que evidenciam respostas ecofisiológicas desses materiais genéticos, principalmente na fase jovem, uma vez que suas respostas flutuam em relação ao ambiente.

Portanto, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar o crescimento inicial e as variações fisiológicas de clones de seringueira sob distintas concentrações de CO₂ e disponibilidade hídrica em contrastantes condições microclimáticas, uma vez que, além desses estudos serem escassos, é de suma importância para a prática sustentável da silvicultura diante das mudanças climáticas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Espécie estudada: *Hevea brasiliensis* Muell. Arg.

A seringueira pertence ao gênero *Hevea*, da família Euphorbiaceae e caracteriza-se por apresentar ampla ocorrência natural, abrangendo a região Amazônica. Entre as onze espécies que compreende o gênero, *Hevea brasiliensis* é a mais importante por ser uma planta de alto valor econômico, principalmente pela produção de látex vegetal com propriedades físico-químicas ideais para o processo industrial da borracha natural (GONÇALVES et al., 1989).

Quanto aos aspectos botânicos, a seringueira é uma eudicotiledônea monóica, possui flores unissexuais e suas folhas são longamente pecioladas e compostas trifolioladas. As plantas adultas deste gênero apresentam período de senescência e queda das folhas, geralmente, no início da estação seca. A partir do terceiro ano de idade, após a formação da copa, a seringueira passa a apresentar periodicidade anual na emissão de fluxos de lançamentos, caracterizada pela senescência e queda das folhas, seguida de novo fluxo após um período de duas a seis semanas em que a planta fica desfolhada (GONÇALVES et al., 1989).

A seringueira tem inúmeras aplicações. Sua borracha é de suma importância para o país e para o mundo, por sua intensa utilização, na fabricação de pneumáticos e em centenas de artefatos de grande utilidade. Por estas razões, as pesquisas com seringueira têm sido direcionadas para o desenvolvimento de clones com dupla aptidão quer para produção de borracha quer para madeira, tornando-se dessa forma mais útil e lucrativa (SOUZA, 2007).

Em âmbito nacional, os estados de São Paulo, Bahia, Mato Grosso e Espírito Santo são os principais produtores, sendo o estado paulista responsável pela maior parcela da produção nacional, o que lhe confere a condição de principal produtor de borracha natural do Brasil (IAC, 2014), sobretudo, devido às condições climáticas presentes nessa região desfavorecerem o desenvolvimento do “mal-das-folhas” causada pela presença do fungo *Microcyclus ulei* (P. Henn.) (MORAIS et al., 2013).

De maneira geral, a seringueira desenvolve-se em temperaturas médias anuais maiores ou iguais a 20 °C, e o fluxo de látex, o intervalo entre 18 e 28 °C é o mais indicado. A seringueira é suscetível a temperaturas baixas, principalmente na fase juvenil e, em regiões onde a temperatura é igual ou inferior a 16 °C, o crescimento da planta é nulo (IAC, 2014).

Devido a grande exigência climática da espécie e da sua susceptibilidade a doenças incidentes em regiões úmidas, diversos estudos de zoneamento agroclimáticos para a cultura da seringueira foram realizados no Brasil visando ao conhecimento da aptidão da espécie às mais diferentes regiões, dentre eles São Paulo (GONÇALVES et al., 1993), Rio de Janeiro (CARMO et al., 2003), Bahia (CECÍLIO et al., 2006) e Espírito Santo (SILVA et al., 2013).

Em relação às propriedades físicas do solo, a seringueira requer solos profundos, menos densos e bem drenados, onde o sistema radicular pode desenvolver-se plenamente, possibilitando suprimento de água e nutriente e boa fixação da árvore (CUNHA, et al., 2000). Os aspectos nutricionais do solo são indispensáveis para que os plantios de seringueira atinjam seu potencial máximo de produção, porém características nutricionais são facilmente corrigíveis através do manejo de solo, não limitando tanto o desenvolvimento da seringueira como os aspectos físicos do solo (CARMO et al., 2003).

2.2 Clones de seringueira

Os clones produzidos dentro de um programa de melhoramento genético ou proveniente de outras instituições são testados em condições edafoclimáticas distintas de cada região produtora de borracha do Brasil para confirmar o seu potencial produtivo (TERRA, 2012). Clones de seringueira têm sido avaliados em programas de melhoramento genético no Brasil, com ênfase em produção, crescimento, vigor, crescimento do caule durante a sangria, espessura de casca virgem, ótima capacidade de regenerar a casca, tolerância à queda pelo vento e à seca do painel e resistência às principais doenças. No entanto, um dos principais problemas na recomendação de clones é o longo período de testes de campo (GONÇALVES et al., 2001).

Logo, para contornar o problema, os institutos de pesquisa têm experimentado clones elites, originados de outras regiões, em solos e clima prevalentes de áreas heveícolas da região a que se destina o material (TERRA, 2012).

Os clones são classificados como base nos parentais utilizados nos cruzamentos para obtenção de ortete (árvore matriz). Estes costumam ser classificados em primários, secundários e terciários. Clones oriundos de parentais desconhecidos são chamados primários. Em geral, essas árvores matrizes possuem

caracteres desejáveis, sendo, portanto, multiplicadas vegetativamente para dar origem ao clone. Em clones secundários, as árvores matrizes são obtidas através de cruzamentos controlados entre dois clones primários. Os clones terciários são obtidos de cruzamentos onde pelo menos um parental é secundário (IAC, 2014).

Os dois clones utilizados no presente trabalho são secundários e de origens diferenciadas, porém de alto valor comercial e melhorados para diferentes condições de resistência. O RRIM 600, resultante do cruzamento entre Tjir 1 e PB 86, desenvolvido pelo *Rubber Research Institute of Malaysia* (RRIM) é plantado em grande escala no Oeste do Estado de São Paulo sendo tolerante á seca de painel, porém bastante suscetível ao vento e pouco tolerante ao frio. O clone FX 3864, desenvolvido pela Companhia Ford, resultante do cruzamento dos clones primários IAN 893 x FB 38, e um clone bastante tolerante ao mal-das-folhas no Sul da Bahia e vem sendo cultivado no Planalto do Estado de São Paulo (IAC, 2014).

2.2 Mudanças Climáticas

O clima da Terra vem sofrendo alterações em resposta às mudanças na criosfera, hidrosfera, biosfera e fatores atmosféricos (CHAKRABORTY; NEWTON, 2011). No entanto, atualmente, discutem-se largamente como as atividades humanas estão influenciando cada vez mais as mudanças no clima (PACHAURI; REISINGER, 2007).

A concentração atmosférica de dióxido de carbono (CO₂) tem aumentado consideravelmente nos últimos anos (SIEGENTHALER et al., 2005; CANADELL et al., 2007). Tendências semelhantes também são observadas para o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), e outros gases de efeito estufa (SPAHNI et al., 2005) e estima-se que estas alterações climáticas influenciarão a produção agrícola, florestal e as práticas culturais em diferentes partes do mundo (ROOS et al., 2011).

Dados reunidos pelo IPCC – *Intergovernmental Panel Climate Change* – (2014) revelam alterações climáticas correlacionadas diretamente ao aumento da concentração de CO₂ na atmosfera e temperatura, que podem resultar em consequências diversas para a população humana e para a biodiversidade mundial. De acordo ao relatório do IPCC (2014) a variação da temperatura na superfície terrestre para o período de 2016 a 2035 pode variar de 0,3 a 0,7 °C. O aumento da temperatura para 2081-2100 varia de 0,3 °C (no cenário otimista) a 4,8 °C (no cenário pessimista). Na maioria dos lugares serão frequentes temperaturas extremas

no verão com acréscimo de ondas de calor com maior frequência e duração, e invernos extremamente rigorosos continuarão a ocorrer ocasionalmente. A concentração dos três principais gases estufa; dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nítrico (N₂O) cresceu desde 1750 em 40%, 150% e 20%, respectivamente e já em 2011, a concentração de CO₂ no ar era maior que nos períodos pré-industriais.

Com aumento já registrados pelo IPCC (2014), a concentração de CO₂ está em torno de 400 ppm e possivelmente irá dobrar nos próximos 100 anos, possibilitando uma atmosfera como uma nova experiência para a vida das plantas modernas, pois possivelmente nenhuma dessas plantas teve contato com essa concentração pelo menos desde o período Terciário. A maioria das espécies que dominam a biosfera atual evoluiu sob concentrações de CO₂ que variam entre 280 a 240 ppm de acordo com dados obtidos desde 650.000 anos atrás (KORNER, 2006). A concentração de CO₂ mais baixa já registrada ocorreu a 18.000 anos (PETIT et al., 1999) sendo suficiente para ampliação de 180.000 para 250.000 espécies de plantas que atualmente compõem a cobertura vegetal do planeta (KORNER, 2006).

É evidente que as plantas estão modificando seus processos fisiológicos e ecológicos, a fim de se adaptar e sobreviver para os novos cenários ambientais impostos pelas mudanças globais. Dessa forma, as mudanças globais podem ser considerada a principal ameaça ao funcionamento da vegetação, com possíveis *feedbacks* negativos sobre os outros componentes da biosfera e, conseqüentemente, para todo o sistema-Terra (BONAN, 2008; BERRY et al., 2010; COATES et al., 2011)

Com o aquecimento da terra, é presumível que várias espécies de animais e vegetais tenham que migrar para maiores latitudes e/ou altitudes em busca de temperaturas que se aproximam da sua condição natural. No entanto, algumas não conseguirão devido à rapidez das mudanças climáticas (principalmente as árvores na sua lenta marcha de migração e adaptabilidade), à escassez de espaços naturais ou a falta de vinculação entre as áreas (BUCKERIDGE, 2007).

2.3 Crescimento das plantas sob elevado CO₂

A elevação da [CO₂] pode atuar de forma direta e indireta sobre as plantas (SOUZA et al., 2008). O efeito direto refere ao incremento na disponibilidade de substrato para a fotossíntese resultando no aumento da produtividade primária das

plantas, devido à ação do CO₂ como “fertilizante atmosférico”. Os efeitos indiretos relacionam-se às alterações climáticas provocadas pelo efeito estufa, principalmente no incremento da temperatura, que pode afetar a fisiologia e a produtividade das plantas (BUCKERIDGE et al., 2008).

A elevação dos teores de CO₂ causa um significativo aumento de atividade da RUBISCO, e conseqüentemente da taxa fotossintética, decréscimo da taxa de transpiração por unidade foliar, redução da abertura estomática e maior área foliar (JWA; WALLING, 2001). Como consequência, ocorrem alterações no balanço de água e carbono nas plantas e com isto há impacto sobre o crescimento, partição de recursos, síntese de defesa e, em alguns casos, em longo prazo a aclimação (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A aclimação da fotossíntese às elevadas concentrações de CO₂ origina-se nos processos celulares da planta. O ponto central é a redução no conteúdo da proteína RUBISCO, sendo que esta redução depende do uso diferencial e do controle temporal de processos moleculares de cada espécie, e também, a aclimação da fotossíntese pode ser resultante de ajustes na sinalização de carboidratos foliares (MOORE, 1999).

A evidência de que a elevada [CO₂] estimula o aumento da fotossíntese é concreta. Em uma revisão que compilou 124 trabalhos realizados em sistema FACE (*Free Air Carbon Enrichment*), Ainsworth e Long (2005) verificaram que as taxas fotossintéticas de plantas cultivadas em elevado CO₂ aumentam em 28%. Esses mesmo autores afirmaram que há redução na taxa de condutância estomática de aproximadamente 20% e aumento na eficiência do uso da água de até 50%.

Segundo Luo et al. (1997) a capacidade fotossintética da planta aumenta somente quando o desenvolvimento das folhas é alterado, o que é caracterizado pela presença de células maiores e um número maior das camadas de células na folha. Plantas com metabolismo fotossintético do tipo C₃ aumentam sua biomassa em média 47%, ao passo que para as plantas C₄ o aumento é de 11% quando submetido a uma concentração de CO₂ duas vezes maior que a atual (POOTER; PÉREZ, 2002), o que indica que áreas de florestas tropicais tenham grande potencial para sequestro de carbono.

Devakumar et al. (1998) estudaram o crescimento e fotossíntese de dois clones de seringueira em concentração de CO₂ de 700 ppm e observaram um maior acúmulo de biomassa e aumento na área foliar. Marabesi (2007) observou em *Senna alata* um aumento de biomassa de 60% em plantas crescidas em elevada

[CO₂]. Godoy (2007), que acompanhou cinco leguminosas da Mata Atlântica de diferentes estágios sucessionais, concluiu que em elevado CO₂ as taxas fotossintéticas são maiores em espécies pioneiras comparado a espécies tardias.

2.4 Efeito da temperatura sobre o crescimento das plantas

A temperatura constitui um importante fator abiótico determinante da distribuição, adaptação e produção das plantas, pois está intimamente ligada nas taxas evaporativas da atmosfera. A adaptabilidade das plantas a altas temperaturas pode ser medida em função da capacidade desta em manter a fotossíntese líquida sob temperaturas supraótimas, ou acima do ótimo requerido para as taxas fotossintéticas (LARCHER, 2000).

Com o aumento contínuo do CO₂, acarretando em intensificação do efeito estufa, espera-se que a temperatura do planeta aumente nos próximos 100 anos. Os impactos provocados pelo aumento de temperatura, com a elevação do CO₂ atmosférico na fisiologia das plantas, podem modificar seu estabelecimento, uma vez que o ambiente pode influenciar o crescimento da planta, bem como sua sobrevivência (CHAKRABORTY et al., 2008).

O metabolismo da planta é altamente alterado quando submetidas às elevadas temperaturas, esta proporciona alterações na condutância estomática e da difusidade no mesófilo, inibindo a expansão foliar, promovendo a abscisão e o crescimento acentuado de raízes, devido ao efeito direto no potencial hídrico da planta (LARCHER, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2013). Déficit hídrico, tanto no solo quanto no ar, são importantes fatores que limitam a fotossíntese e o crescimento, embora a alta luminosidade e a alta temperatura também contribuam para a redução da aquisição do carbono (FARIA et al., 1998). Sob condições de temperatura mais elevadas, os sistemas limitados pela disponibilidade de água possuem tendência de usar a água disponível mais rapidamente, portanto limitando o crescimento (KIRSCHBAUM, 2000).

Outro aspecto que é altamente afetada pelo aumento da temperatura, é a respiração, pois esse processo metabólico apresenta resposta de aumento de forma exponencial (ATKIN et al., 2000). Chambers et al. (2004) trabalhando com a floresta tropical na região da Amazônia Central, mostraram que aumentos da taxa respiratória das folhas estão relacionadas com aumentos da temperatura.

2.5 Efeito da deficiência hídrica nas plantas

A água é o principal constituinte dos vegetais, representando 50% da produção da massa fresca nas plantas lenhosas e cerca de 80 a 95% nas plantas herbáceas, sendo indispensável para o bom funcionamento no transporte de solutos e gases, como reagente no metabolismo vegetal e estrutura dos órgãos e essencial para o crescimento da planta (LARCHER, 2000).

O déficit hídrico é considerado um dos fatores estressantes de maior efeito na produtividade agrícola, sendo o fator que conduz a distribuição das espécies nas diferentes zonas climáticas do globo, além de influenciar praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal, diminuindo a taxa fotossintética pela redução da área foliar e afetando vários outros processos fisiológicos. (PIMENTEL, 2004). Seus efeitos deletérios dependem da sua intensidade, duração, época de ocorrência e da influência mútua com outros fatores que interferem no rendimento das culturas (BEZERRA et al., 2003).

O déficit hídrico tem efeitos em diversos processos fisiológicos das plantas, geralmente aumentando a resistência estomática, reduzindo a transpiração e conseqüentemente o suprimento de CO₂ para a realização do processo de fotossíntese. Com o déficit hídrico, a atividade fotossintética declina paralelamente a diminuição do volume celular e, portanto, simultaneamente ao declínio da turgescência (MORAIS et al., 2003).

As estratégias das plantas para superar o estresse hídrico, normalmente envolvem uma ação complexa relacionada à sensibilidade e à tolerância a outros estresses, o que pode variar entre os genótipos. Essas respostas foram observadas em estudos como os de Marrichi (2009); Xavier (2014); Santos Neto (2014), que integraram fatores ambientais como temperatura e déficit de pressão de vapor do ar combinados com o déficit hídrico no solo sob o crescimento inicial de espécies lenhosas.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. **New Phytologist**, Germany, v. 165, p. 351-372, 2005.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; AVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.
- ATKIN, O. K.; EDWARDS, E. J.; LOVEYS, B. R. Response of root respiration to changes in temperature and its relevance to global warming. **New Phytologist**, New York, v. 147, n. 1, p. 141-154, 2000.
- BERRY, J. A.; BEERLING, D. J.; FRANKS, P. J. Stomata: key players in the earth system, past and present. **Current Opinion in Plant Biology**, Amsterdam, v. 13, n. 3, p. 233-240, 2010.
- BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Ciência Agrônômica**, v. 34, n. 1, 10p, 2003.
- BONAN, G. B. Forests and climate change: forcings, feedbacks, and climate benefits of forests. **Science**, Washington, v. 320, n. 5882, p. 1444-1449, 2008.
- BUCKERIDGE, M. S. Mudanças climáticas, biodiversidade e sociedade: como a teoria de redes pode ajudar a compreender o presente e planejar o futuro? **Multiciência**, Campinas, v. 8, p. 88-107, 2007.
- BUCKERIDGE, M. S.; AIDAR, M. P. M.; MARTINEZ, C. A.; SILVA, E. A. Respostas de plantas às mudanças climáticas globais. In: BUCKERIDGE, M. S. **Biologia e Mudanças Climáticas no Brasil**. Rima, 2008, p. 77-91.
- CANADELL, J. G.; LE QUÉRÉ, C.; RAUPACH, M. R.; FIELD, C. B.; BUITENHUIS, E. T.; CIAIS, P.; CONWAY, T. J.; GILLET, N. P.; HOUGHTON, R. A.; MARLAND, G. Contributions to accelerating atmospheric CO₂ growth from economic activity, carbon intensity, and efficiency of natural sinks. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, p. 1866-1870, 2007.
- CARMO, C. A. F. S.; MANEGUELLI, N. A.; LIMA, J. A. S.; EIRA, P. A. Diagnóstico do estado nutricional de seringueiras da Zona da Mata de Minas Gerais. **Embrapa Solos. Circular técnica**, Rio de Janeiro, n. 14, 7p, 2003.
- CECÍLIO, R. A.; MEDEIROS, S. S.; JUNIO, J. L. S.; SOUZA, J. A. Zoneamento agroclimático para heveicultura na parte Leste do estado da Bahia. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 2, p. 14-17, 2006.
- CHAKRABORTY, S.; LUCK, J.; HOLLAWAY, G.; FREEMAN, A.; NORTON, R.; GARRETT, K. A.; PERCY, K.; HOPKINS, A.; DAVIS, C.; KARNOSKY, D. F. Impacts of global change on diseases of agricultural crops and forest trees. **CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources**, v. 3, p. 1-15, 2008.
- CHAKRABORTY, S.; NEWTON, A. C. Climate change, plant diseases and food security: an overview. **Plant Pathology**, v. 60, p. 2-14, 2011.

- CHAMBERS, J. Q.; TRIBUZY, E. S.; TOLEDO, L. C.; CRISPIM, B. F.; HIGUCHI, N.; DOS SANTOS, J.; TRUMBORE, S. E. Respiration from a tropical forest ecosystem: partitioning of sources and low carbon use efficiency. **Ecological Application**, Washington, v. 14, p. 72-88, 2004.
- COATES, J. C.; MOODY, L. A.; SAIDI, Y. Plants and the earth system - past events and future challenges. **New Phytologist**, Oxford, v. 189, n. 2, p. 370-373, 2011.
- COELHO JÚNIOR, L. M.; REZENDE, J. L. P.; BORGES, L. A. C.; OLIVEIRA, A. D. Análise temporal da borracha natural brasileira. **Cerne**, Lavras, v. 15, n. 1, p.19-26, 2009.
- DEVAKUMAR, A. S.; SHESHA SHAYEE, M. S.; UDAYAKUMAR, M.; PRASAD, T. G. Effect of elevated CO₂ concentration on seedling growth rate and photosynthesis in *Hevea brasiliensis*. **Journal of Biosciences**, Bangalore, v.23, n. 1, p. 33-36, 1998.
- FARIA, T.; SILVEIRO, D.; BREIA, E.; CABRAL, R.; ABADIA, A.; ABADIA, J.; PEREIRA, J. S.; CHAVES, M. M. Differences in the response of carbon assimilation to Summer stress (water deficits, high light and temperature) in four Mediterranean tree species. **Physiologia Plantarum**, Oxford, v. 102, p. 419-428, 1998.
- GODOY, J. **Ecofisiologia do estabelecimento de leguminosas arbóreas da Mata Atlântica, pertencentes a diferentes grupos funcionais, sob atmosfera enriquecida com CO₂: uma abordagem sucessional**. 2007. 117 f. Tese (Doutorado), Instituto de Botânica. São Paulo.
- GONÇALVES, P. S.; CARDOSO, M.; MENTE, E. M.; MARTINS, A. L. M.; GOTTARDI, M. V. C.; ORTOLANI, A. A. Desempenho preliminar de clones de seringueira na região de São José do Rio Preto, Planalto do Estado de São Paulo. **Bragantia**. Campinas, v. 52, n. 2, p.119-130, 1993.
- GONCALVES, P. S.; BATAGLIA, O. C.; ORTOLANI, A. A.; FONSECA, F. S. **Manual de Heveicultura para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronomico, 78 p. 2001.
- GONÇALVES, P. de S.; CARDOSO, M.; BOAVENTURA, M. A. M.; MARTINS, A. L. M.; LAVORENTTI, C. Biologia, citogenética e ploidia de espécies do gênero *Hevea*. **O Agrônomo**, v.41, p.40-64, 1989.
- IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Ibá 2014. Brasília: IBÁ, 2014. 100 p.
- IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - **Programa Seringueira: importância da cultura**. Disponível em:< <http://www.iac.sp.gov.br>>. Acesso 17 de mar. 2014.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Disponível em:<<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>>. Acesso 22 de mar. 2015.
- IRSG - INTERNATIONAL RUBBER STUDY GROUP. Producing and consumption of natural rubber. **Rubber Industry Report**, Singapore, Março 2014. Disponível em: <<http://www.rubberstudy.com>>. Acesso em: 13 mar. 2015.
- JWA, N. S.; WALLING, L. L. Influence of elevated CO₂ concentration on disease development in tomato. **New Phytologist**, Riverside, v. 149, n. 3, p. 509-518, 2001.
- KIRSCHBAUM M. U. F.; FARQUHAR G. D. Temperature dependence of whole-leaf photosynthesis in *Eucalyptus pauciflora* Sieb. Ex. Spreng. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.11, p. 519-538, 1984.

- KÖRNER, C. Plant CO₂ responses: an issue of definition, time and resource supply. **New Phytologist**, n. 172, p. 393-411, 2006.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos. Rima, 533p. 2000.
- LUO, Y.; CHEN, J. L.; REYNOLDS, J. F.; FIELD, C. B.; MOONEY, H. A. Disproportional increases in photosynthesis and plant biomass in a Californian grassland exposed to elevated CO₂: a simulation analysis. **Functional Ecology**, Stanford, v. 11, p. 696-703, 1997.
- MARABESI, M. **Efeito do alto CO₂ no crescimento inicial e na fisiologia da fotossíntese em plântulas de *Senna alata*(L) Roxb.** 2007. 78 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Botânica. São Paulo, Brasil.
- MARRICHI, A. H. C. **Caracterização da capacidade fotossintética e da condutância estomática em sete clones comerciais de *Eucalyptus* seus padrões de resposta ao déficit de pressão de vapor.** 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.
- MORAES, L. A. C; MORAES, V. H. F; CORDEIRO, A. E. R, OLIVEIRA, M. C. N. Clones de copa de seringueira resistentes ao mal-das-folhas para o cultivo na Amazônia tropical úmida. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 3, p. 271-278, 2013.
- MORAES, V. H. F.; MOREIRA, A. Potencial de contribuição da cultura da seringueira para a conservação do ambiente no Trópico Úmido. **Embrapa Amazônia Ocidental. Documentos**; Manaus, n. 29, 18 p. Dez. 2003.
- MOORE, B. D.; CHENG, S. H, SIMS, D.; SEEMANN, J. R. The biochemical and molecular basis for photosynthetic acclimation to elevated atmospheric CO₂. **Plant, Cell and Environment**. Reno, v. 22, p. 567-582, 1999.
- ORTOLANI, A. A.; PEZZOPANE, J. E. M.; SENTELHAS, P. C. Aspectos climáticos condicionantes da produção da seringueira. In: BERNARDES, M. S. (Ed.). **Sangria da seringueira**. Piracicaba, ESALQ, p. 1-20, 2000.
- PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007. 104p.
- PEREIRA, J. P; DORETTO, M.; LEAL, A. C.; CASTRO, A. M. G.; RUCKER, N. A. **Cadeia produtiva da borracha natural: análise diagnóstica e demandas atuais no Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. 85p.
- PILAU, G. F.; MARIN, F. R.; CAMARGO, M. B. P.; ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; BARBARISI, B. F. Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v.15, n.2, p. 161-168, 2007.
- PIMENTEL, C. A relação da planta com a água. **Seropédica: Edur**, 191p, 2004.
- POORTER, H.; PÉREZ-SOBA, M. Plant growth at elevated CO₂. In: MOONEY, H. A.; CANADELL, J. G. **Encyclopedia of Global Environmental Change**, Chichester, v.2, p. 489-496, 2002.
- ROOS, J.; HOPKINS, R.; KVARNHEDEN, A.; DIXELIUS, C. The impact of global warming on plant diseases and insect vectors in Sweden. **European Journal of Plant Pathology**, v. 129, n. 1, p. 9-19, 2011.

SANTOS NETO, A. P. **Crescimento inicial de mogno africano (*Khaya ssp.*) sob diferentes condições microclimáticas associadas à deficiência hídrica.** 2014. 66 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, Brasil.

SIEGENTHALER, U.; STOCKER, T. F.; MONNIN, E.; LUTHI, D.; SCHWANDER, J.; STAUFFER, B.; RAYNAUD, D.; BARNOLA, J. M.; FISCHER, H.; MASSON-DELMOTTE, V.; JOUZEL, J. Stable carbon cycle-climate relationship during the late pleistocene. **Science**, v. 310, p. 1313-1317, 2005.

SILVA, K. R.; CECÍLIO, R. A.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; GARCIA, G. O. Zoneamento endofoclimático para a cultura da seringueira no Espírito Santo. **Irriga**, Botucatu, v. 18, n. 1, p. 1-12, 2013.

SIQUEIRA, O. J. F. Efeitos potenciais das mudanças climáticas na agricultura brasileira e estratégias adaptativas para algumas culturas. In: LIMA, M. A.; CABRAL, O. M. R.; MIGUEZ, J. D. G. (Ed.). Mudanças climáticas globais e a agropecuária brasileira. Jaguariúna: **Embrapa Meio Ambiente**, 2001. p.33-63.

SOUZA, I.A. **Avaliação de clones de seringueira (*Hevea* spp.) em Piracicaba-SP.** 2007. 72f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP.

SOUZA, A. P.; GASPARI, M.; DA SILVA, E. A.; ULIAN, E. C.; WACLAWOVSKY, A. J.; NISHIYAMA, J. R.; DOS SANTOS, R. V.; TEIXEIRA, M. M.; SOUZA, G.M.; BUCKERIDGE, M. S. Elevated CO₂ increases photosynthesis, biomass, productivity, and modifies gene expression. in sugarcane. **Plant Cell & Environment**, v. 31, n. 8, p. 1116-1127, 2008.

SPAHNI, R.; CHAPPELLAZ, J.; STOCKER, T. J.; LOULERGUE, L.; HAUSAMMANN, G.; KAWAMURA, K.; FLUCKIGER, J.; SCHWANDER, J.; RAYNAUD, D.; MASSON-DELMOTTE, V.; JOUZEL, J. Atmospheric methane and nitrous oxide of the late pleistocene from Antarctic ice cores. **Science**, v. 310, p. 1317-1321, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2013. 918p.

TERRA, M. I. da C. **Dinâmica de crescimento de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis* (Willd. ex. A.D. Jussieu) Muell. Arg.) na Região Noroeste de Minas Gerais.** 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em Silvicultura)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.

XAVIER, T. M. T. **Crescimento de mudas clonais de Eucalipto sob diferentes condições microclimáticas associadas à deficiência hídrica.** 2014, 104 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo, Brasil.

CAPÍTULO I

CRESCIMENTO DE MUDAS CLONAIIS DE *Hevea brasiliensis* Muell. Arg EM DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS E CONCENTRAÇÕES DE CO₂

1 INTRODUÇÃO

A seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg) é uma espécie arbórea que ocorre naturalmente na região Amazônica, sendo cultivada principalmente no Brasil e países Asiáticos, devido a sua grande exigência climáticas (CAMARGO, et al., 2003; PILAU et al., 2007).

Apesar de ser espécie originária de região de clima tropical, notadamente quente e úmida, abrangendo áreas com temperatura média de 25 °C e pluviosidade média de 2000 mm, o cultivo da seringueira deixou de ser recomendado para essas áreas, em razão da susceptibilidade de pragas e doenças. Por outro lado, o cultivo também é limitado em regiões que apresentam temperatura média anual abaixo de 21 °C e umidade excessiva (GALBIATI NETO; GUGLIELMETTI, 2012).

Devido a essas exigências, áreas que apresentam predominância de clima quente e seco, como o sudeste e centro-oeste do Brasil, com destaque para o noroeste paulista, tem se caracterizado como áreas aptas ao cultivo da seringueira. Todavia, há a necessidade de escolher variedades aptas para essas condições ambientais, uma vez que elementos meteorológicos tais como temperatura, disponibilidade hídrica e pluviosidade, contribuem para a variação no comportamento dos cultivares de seringueira, além de serem determinantes na regulação da assimilação de CO₂ que está intimamente ligado na síntese do látex, matéria prima da borracha natural (GONÇALVES, 1998).

A temperatura e o CO₂ atmosférico são fatores ambientais fundamentais no crescimento e processos metabólicos das plantas (ELLER et al., 2012; TAIZ; ZEIGER, 2013). Neste sentido, as mudanças climáticas poderão afetar o cultivo de seringueira de várias formas: alteração dos fatores climáticos, incluindo a frequência e a severidade de eventos extremos, pelo aumento da produção devido ao efeito fertilizador de carbono por meio de maiores concentrações de CO₂ atmosférico, pela alteração da intensidade de colheita devido a uma mudança no crescimento, ou então modificando a ocorrência e a severidade de doenças, entre outros efeitos (MORAES et al., 2011). Segundo o relatório do IPCC (2014), a concentração CO₂ atmosférico, antes da Revolução industrial aumentou de 280 ppm para 390 ppm em condições atuais, podendo aumentar para 800 ppm até o final do século. Simultaneamente, a temperatura do globo também aumentará em torno de 4,8 °C.

Plantas crescidas sob elevadas concentração de CO₂ apresentam efeitos diretos sobre a fotossíntese, crescimento e produtividade das plantas. Visto que, há

um estímulo da carboxilação da Rubp e redução da fotorrespiração, o qual produz um ganho fotossintético de carbono e da produtividade primária em longo prazo; redução na abertura estomática nas folhas, reduzindo conseqüentemente a condutância estomática, e em troca, ocorre uma menor perda de água para atmosfera através da transpiração (LONG et al., 2004; AINSWORTH; LONG, 2005; BERNACCHI et al., 2007; LEAKEY et al., 2009). Porém, se o aumento da concentração de CO₂ for acompanhado de aumento da temperatura, poderá não haver incremento no crescimento, bem como estímulos fotossintéticos, principalmente em razão do encurtamento do ciclo de desenvolvimento e elevação da respiração do tecido vegetal. A temperatura afeta todas as reações bioquímicas da fotossíntese. Assim, não é surpreendente que as respostas à temperatura sejam complexas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Desta forma, estudos ecofisiológicos têm um importante papel quando analisam a influência de fatores ambientais no desenvolvimento das plantas, visando principalmente caracterizar o comportamento de variedades altamente produtivas no mercado atual, como o caso da seringueira, sob condições ambientais contrastantes.

Portanto, esse estudo teve como objetivo, avaliar o crescimento inicial e as atividades fisiológicas de dois clones de seringueira, RRIM 600 e FX 3864, mantidos sob duas concentrações de CO₂ em dois microclimas com diferentes demandas evaporativas da atmosfera.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do estudo e instalação do experimento

O estudo foi desenvolvido no período entre os meses de setembro a dezembro de 2014 no Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, localizado no município de Jerônimo Monteiro, ES (latitude 20°47'25"S e longitude 41°23'48"W, altitude de 120m).

O crescimento de dois clones de *H. brasiliensis* (RRIM 600 e FX 3864) foi avaliado sob condições microclimáticas e concentrações atmosféricas de CO₂ contrastantes. Assim, dois experimentos foram montados um para cada clone, seguindo um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2 (duas condições microclimáticas x duas concentrações de CO₂), com seis repetições, sendo cada repetição composta por uma planta.

As condições microclimáticas foram simuladas em casas de vegetação climatizadas com controle de temperatura e umidade relativa do ar (Figura 1). Estabelecendo os dois microclimas contrastantes, sendo um considerado de alta demanda atmosférica (elevada temperatura) e outro com baixa demanda atmosférica (baixa temperatura).

Utilizou-se uma baixa concentração atmosférica de CO₂ (± 450 ppm) e outra elevada (± 850 ppm). Assim, para obtenção de uma atmosfera controlada, utilizou-se câmaras de topo aberto (OTC's - *Open Top Chambers*) com controle automático de injeção de CO₂ (Figura 2), instaladas no interior das casas de vegetação climatizadas.

Figura 1: Estrutura externa da casa de vegetação climatizada (A) e painel de controle das variáveis climáticas da casa de vegetação (B), no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Figura 2: Painel de controle de injeção de CO₂ para o interior das câmaras de topo aberto (A) e distribuição das câmaras de topo aberto dentro das casas de vegetação (B) no município de Jerônimo Monteiro, ES.



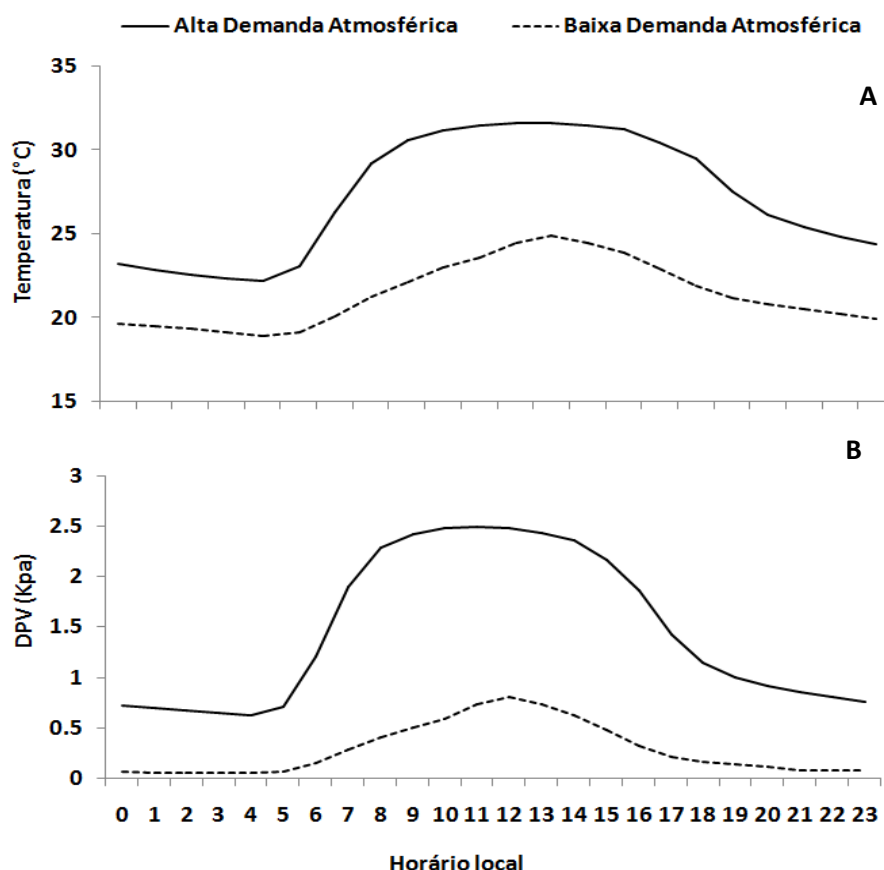
2.2 Caracterização microclimáticas

Para a obtenção dos dados microclimáticos do interior das casas de vegetação, foram instaladas estações meteorológicas automáticas, compostas por sensores de temperatura e umidade relativa do ar (Marca Vaisala, modelo CS500). Os dados foram coletados a partir de um *datalogger* (Campbell Scientific Inc, CR-10x) com leituras de dados a cada 10 segundos e armazenamento a cada 5 minutos. Os dados déficit de pressão de vapor do ar (DPV) foram obtidos a partir da diferença

entre os valores pressão de saturação de vapor de água (e_s) e pressão parcial de vapor (e_a), de acordo a Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002).

O curso médio diário da temperatura do ar (Figura 4A) e do déficit de pressão de vapor no ar (Figura 4B) evidencia as diferenças contrastantes entre os microclimas.

Figura 5: Curso médio diário da temperatura do ar (A) e do déficit de pressão de vapor (B) das duas casas de vegetação climatizadas simulando um microclima com baixa e alta demanda atmosférica no município de Jerônimo Monteiro, ES.



Durante o período de estudo o microclima com baixa demanda atmosférica apresentou uma temperatura média de 21 °C e DPV médio 0,29 Kpa e uma amplitude térmica diária média de 6°C. O microclima com alta demanda atmosférica apresentou uma temperatura média de 27 °C e DPV médio 1,49 Kpa com amplitude térmica diária média de 9,5°C (Tabela 2).

Tabela 2: Média, máxima e mínima de temperatura e déficit de pressão de vapor nos microclimas simulados com baixa e alta demanda atmosférica, durante o período dos experimentos em Jerônimo Monteiro, ES

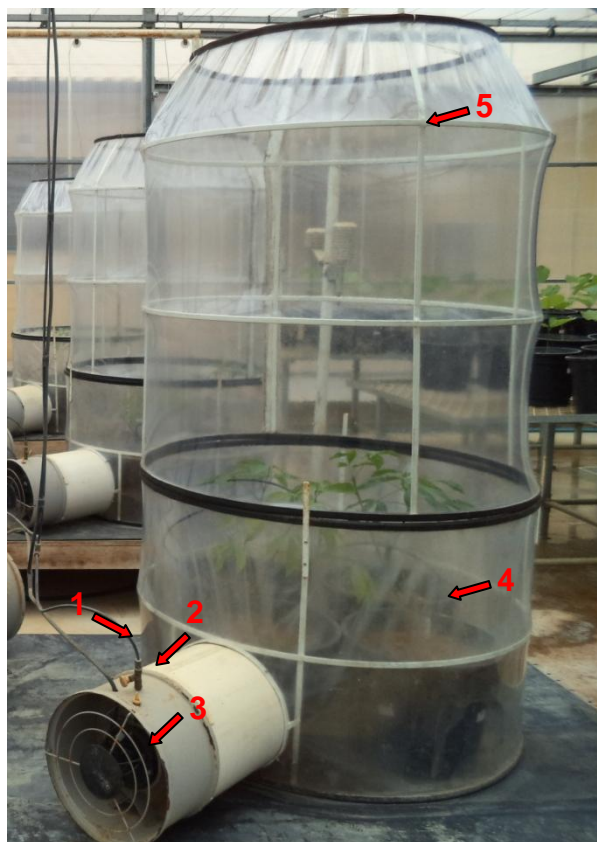
Temperatura (°C)	Demanda Atmosférica	
	Baixa	Alta
Máxima	24,9	31,6
Média	21,2	26,9
Mínima	18,9	22,1
DPV (Kpa)		
Máximo	0,81	2,49
Médio	0,29	1,49
Mínimo	0,05	0,63

2.3 Controle das concentrações de CO₂

Para o controle das concentrações de CO₂ '[CO₂]' utilizou-se câmaras de topo aberto do tipo cilíndrico, com 1,60 m de altura e 1,0 m de diâmetro, sendo compostas por duas partes, sendo a inferior fixa, com 60 cm de altura e a parte superior, de 1,0 m de altura, que se acopla à parte inferior da câmara. A parte inferior da câmara, foi composta por uma camada dupla de plástico transparente, sendo a interna perfurada, onde o CO₂ era injetado no espaço entre as camadas plásticas e passava para interior da câmara, evitando a injeção direta do gás nas plantas. A parte superior, topo aberto, permitia a renovação da concentração de CO₂. A mesma possui um mecanismo de injeção forçada e de mistura de ar com CO₂ e regulação de CO₂ através de reguladores de fluxo (Figura 3).

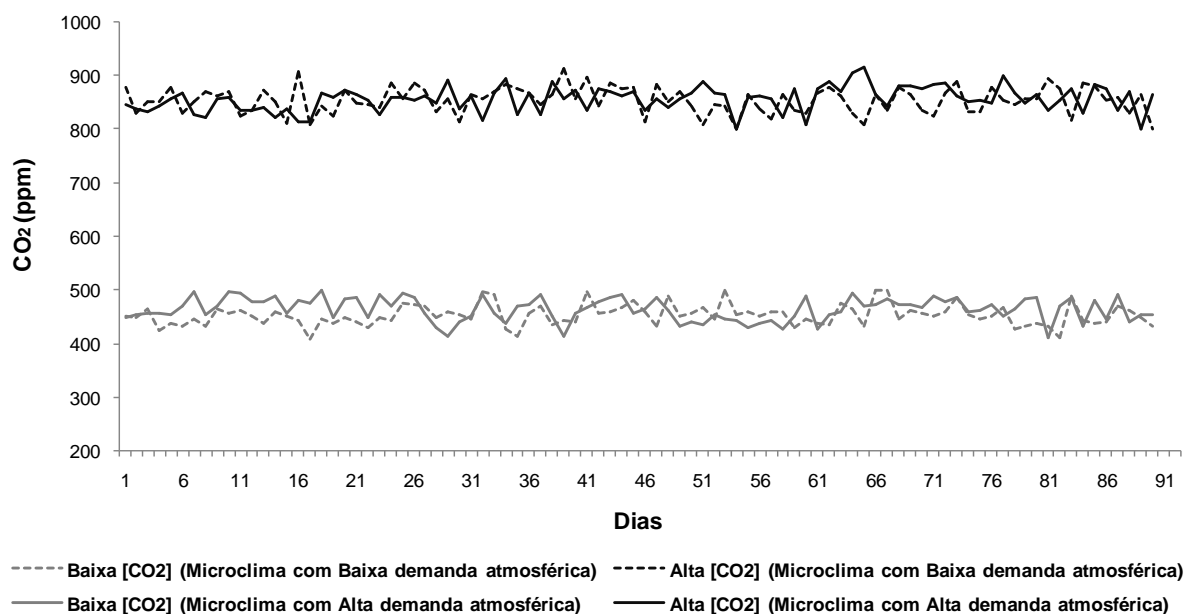
Cada OTC possuía um sistema de ventilação a partir de um circulador de ar acoplado à parte inferior da câmara através de um duto de conexão que, além de ser responsável pela injeção de CO₂, também serviu para forçar a renovação de ar entre o interior da OTC e o meio externo, evitando o superaquecimento. Para o controle das concentrações do gás no interior das OTC's, foram realizadas medições por meio de um analisador de CO₂ (Marca Testo AG, modelo testo 535).

Figura 3. Esquema geral do sistema das câmaras de topo aberto onde os clones de seringueira foram mantidos a diferentes concentrações de CO₂. 1- Mangueira pneumática para injeção do CO₂; 2- regulador do fluxo de CO₂; 3- exaustor funcionando como ventilador; 4- câmara de homogeneização e peça inferior da câmara; 5- peça superior da câmara com o topo aberto.



As médias de concentrações de CO₂ no interior das câmaras apresentaram oscilações ao longo de todo o período de experimentos, porém possibilitou uma média de cerca ± 450 ppm para a concentração atual e ± 850 ppm para a concentração futura, em ambos os microclimas (Figura 5).

Figura 4: Médias diárias das concentrações de CO₂ no interior das câmaras de topo aberto utilizadas no período do experimento alocadas em dois microclimas distintos no município de Jerônimo Monteiro, ES.



2.4 Material vegetal

As mudas clonais utilizadas foram produzidas por enxertia na modalidade borbulhia em janela aberta em porta enxertos com 1 ano de idade cultivados via seminal. O material vegetal utilizado foi cedido pela empresa NR Seringueiras, responsável pela produção das mesmas.

As mudas com idade de 120 dias foram transplantadas para vasos de 21 litros com dimensões de 30 cm de altura, 37 cm de diâmetro superior e 27 cm de diâmetro inferior, contendo furos na parte inferior para percolar o excesso de água, estes foram preenchidos com substrato constituído por solo extraído de camadas na profundidade de aproximadamente 20 a 40 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo (60%), areia lavada (30%) e composto de casca bioestabilizada de pinus (10%).

Foi realizada uma análise química e granulométrica do solo, obtendo-se a classificação textural como Franco Argilo Arenoso (Tabela 1).

As mudas necessitaram de adubação, sendo que a primeira foi feita aos 15 dias após o início do experimento e as demais seguiram o mesmo período. Para cada vaso aplicou-se 3 gramas de N-P-K com formulado 19-6-10 e 0,65 mL de magnésio diluídos em 50 mL de água.

Tabela 1: Análise química e física do substrato utilizado no experimento

Camada (cm)	Química								Física			Densidade
	pH	P	K	Na	Mg	Al	Ca	M.O	Argila	Silte	Areia	
	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol dm ⁻³			g kg ⁻¹		(%)		g cm ⁻³
20-40	5,9	23	68	11	1	0	1,4	9	35	2	63	0,61

Todos os vasos permaneceram durante 15 dias na casa de vegetação, onde cresceram mantidas irrigadas frequentemente, quando, então, foram alocadas dentro das OTC's recebendo rega frequente durante o período dos experimentos.

2.5 Avaliação do crescimento das plantas

Aos 90 dias após o início dos experimentos, em todas as plantas de cada tratamento, avaliou-se os seguintes parâmetros: área foliar, massa seca de: folhas, caule, e raízes. Para medidas de área foliar, utilizou-se um medidor de área foliar (LI-COR, LI 3100) e a massa seca foi obtida após a secagem das folhas, caule e raízes que foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 75°C durante 72 horas.

A partir dos dados de massa seca de folhas, haste e raízes, calcularam-se massa seca total (MST em g) - neste caso é importante destacar que não se considerou os valores de massa seca do porta enxerto devido a grande variação de tamanho entre eles para o processo de enxertia; a fração de massa foliar, FMF (g de massa seca foliar por g de massa seca total), fração de massa radicular, FMR (g de massa seca radicular por g de massa seca total) e fração de massa seca da parte aérea, FMPA (g de massa seca de folhas + g de massa seca de caule por g de massa seca total).

Considerando os dados de área foliar total e massa foliar, calculou-se a área foliar específica AFE (área total em cm² por g de massa foliar).

2.6 Análises fisiológicas

2.6.1 Avaliação das trocas gasosas

Aos 84 dias após o início dos experimentos, foi realizada a avaliação de trocas gasosas, sendo quantificada a taxa fotossintética líquidas (*A*), a taxa de transpiração por unidade foliar (*E*), a condutância estomática (*g_s*) e a concentração intercelular de

CO₂ (Ci), por meio de um analisador de gás por infravermelho portátil – IRGA (Li-COR, modelo Li 6400), empregando-se intensidade luminosa de 1500 μmol m⁻² s⁻¹ e concentrações de CO₂ externa igual ao tratamento (Ca), ou seja, 450 ou 850 ppm, A avaliação foi feita entre 9 às 10:30 horas do dia em uma folha totalmente expandida no terço superior da planta, considerando-se seis repetições por tratamento para cada clone. A partir dos dados de trocas gasosas, calculou-se a eficiência do uso da água dada pela razão entre A/E e a eficiência intrínseca do uso da água dada pela razão entre A/g_s.

As curvas de resposta à luz foram realizadas após 80 dias de experimento, por meio de analisador de gás por infravermelho portátil - IRGA (Li-COR, modelo Li 6400), equipado com uma fonte de luz artificial (LI-6400-02B). As curvas foram obtidas entre 9 às 12:00 horas do dia em folha totalmente expandida no terço superior da planta, totalizando três repetições por tratamento para cada clone. Empregou-se uma variação de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) ente 50 e 2000 μmol m⁻² s⁻¹ de forma decrescente, com os respectivos valores de FFFA incidentes na superfície da folha: 2000, 1750, 1500, 1250, 1000, 750, 500, 250 e 50 μmol m⁻² s⁻¹. Os valores de A foram registrados após 3 minutos de aclimatação da folha à condição do primeiro valor de FFFA e assim sucessivamente para os outros valores. A concentração de CO₂ foi modificada de acordo ao tratamento (450 ppm e 850 ppm), e a temperatura e umidade foram de acordo ao microclima onde as plantas estavam mantidas.

O ajuste das curvas A/FFFA foi realizado por meio do modelo da hipérbole não retangular, através de uma planilha, *Light Response Curve Fitting* 1.0 proposta por Ogren; Evans (1993).

$$A = \frac{\Phi * FFFA + A_{max} - ((\Phi * FFFA + A_{max})^2 - 4 * \theta * \Phi * FFFA * A_{max})^{0,5}}{2 * \theta}$$

Onde: A corresponde à taxa fotossintética líquida [μmol m⁻² s⁻¹], Φ a eficiência quântica (adimensional), FFFA = fluxo de fótons fotossinteticamente ativos [μmol m⁻² s⁻¹], A_{max} a taxa fotossintética bruta em condições de saturação de luz [μmol m⁻² s⁻¹], θ a convexidade da curva (adimensional), e Rd a taxa de respiração no escuro [μmol m⁻² s⁻¹].

A partir dos dados iniciais obtidos no ajuste das curvas A/FFFA foram analisados os seguintes parâmetros: taxa máxima de fotossíntese saturante (A_{maxsat}), o ponto de compensação de luz (PCL), a densidade de fluxo

fotossinteticamente ativo saturante ($FFFA_{sat}$) que situa o ponto de saturação de luz (PSL), eficiência quântica (Φ) e a convexidade da curva (θ) determinadas pelos pontos lineares da curva. O Ponto de saturação de luz (PSL) foi calculado como a intensidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativo necessário para atingir 90% da A_{max} .

Com relação às curvas de assimilação líquida de CO_2 (A) em resposta às concentrações intercelulares de CO_2 (C_i) (A/C_i), estas foram obtidas aos 87 dias após o início dos experimentos, utilizando um analisador de gás por infravermelho portátil - IRGA (Li-COR, modelo Li 6400), com fluxo de irradiância constante de $1500 \mu mol m^{-2} s^{-1}$ sob temperatura e umidade relativa do ar do microclima onde as plantas estavam mantidas.

Os dados foram medidos em diferentes concentrações atmosféricas de CO_2 : 50, 150, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600 e $1800 \mu mol m^{-2} s^{-1}$. Porém, os dados foram plotados de acordo as concentrações intercelulares de CO_2 (C_i). Todas as medições foram sempre dos maiores valores para os menores valores. As curvas foram obtidas entre 9 às 12:00 horas do dia em folha totalmente expandida no terço superior da planta, totalizando três repetições por tratamento para cada clone.

Para o cálculo dos parâmetros estudados a partir das curvas A/C_i , seguiu-se o modelo sugerido por Ethier; Livingston (2004) que se baseia no modelo proposto por Farquhar et al. (1980), entretanto, os cálculos matemáticos e ajuste das curvas foram realizados em planilha eletrônica, proposta por Diaz-Espejo et al., (2006). A partir dos ajustes das curvas foi determinada a taxa máxima de fotossíntese (A_{max}), velocidade máxima de carboxilação da Rubisco (V_{max}), taxa máxima de transporte de elétrons para regeneração da Rubisco (J_{max}), ponto de compensação de CO_2 (PC) e ponto de saturação por CO_2 (P_{sat}).

2.6.2 Determinação dos teores dos pigmentos fotossintéticos

A extração e quantificação dos teores de clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides foram obtidas aos 74 dias de experimentação, através de folhas coletadas do terço superior externo das plantas, em quatro repetições. As folhas quando retiradas das plantas foram alocadas em sacos de papel alumínio identificados conforme o tratamento, estes foram imediatamente acondicionados em caixas de isopor e posteriormente alocadas em freezer até a análise.

Os pigmentos foram extraídos de 80 mg de folha maceradas em acetona a 80% e suas concentrações foram determinados pela absorvência dos extratos em

diferentes comprimentos de ondas (470 nm, 646,8 nm e 663,2 nm) em um espectrofotômetro UV-Vis. Com os valores obtidos calcularam-se os teores de cada pigmento em g kg^{-1} , como descrito em Lichtenthaler (1987), conforme as equações listadas abaixo. A partir dos dados obtidos, calcularam-se as razões clorofila *a*/clorofila *b*, clorofila *a+b*/carotenóides.

$$\text{Clorofila } a = C_a = 12,25 A_{663,2} - 2,79 A_{646,8}$$

$$\text{Clorofila } b = C_b = 21,50 A_{646,8} - 5,10 A_{663,2}$$

$$\text{Clorofilas totais} = C_{(a+b)} = 7,15 A_{663,2} + 18,71 A_{646,8}$$

$$\text{Carotenóides}_{(\text{xantofilas}+\text{carotenos})} = (1000 A_{470} - 1,82 C_a - 85,02 C_b)/198$$

A= absorvência no comprimento de onda indicado.

2.7 Análises estatística dos dados

Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste *F*) e as médias entre os tratamentos, quando necessário, foram comparadas pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$) usando o *software* ASSISTAT[®] 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3 RESULTADOS

3.1 Resumo da análise de variância

3.1.1 Clone RRIM 600

De acordo a análise de variância (Tabela 3), verificou-se que algumas das variáveis avaliadas tais como: *E*, *Chl a*, *Chl b*, *Car* e *Chl a/b* não foram afetadas significativamente pelos tratamentos aplicados. Entretanto, todas as variáveis do conjunto crescimento e trocas gasosas, e as variáveis *Amax_{sat}*, *PCL*, *PSL*, *Vmax*, *Amax*, *Chla+b* e *Chla+b/Car* apresentaram interação significativa entre os efeitos dos fatores, porém não explicando mais de 50% da variação total.

Do conjunto crescimento o efeito da [CO₂] proporcionou diferenciação significativas em todas variáveis, explicando a maior proporção de 93% a *AF* e 62% a *MST*. Em relação ao fator microclima, notou-se que este também atua na diferenciação das variáveis, porém em menor proporção, e com exceção da *FMR* e *FMPA* que não foram significativas.

Contudo, as variáveis relacionadas aos conjuntos trocas gasosas, curva *A/Ci* e *A/FFFA*, com exceção da *E*, *PSL*, e θ , apresentaram maiores proporções da variação total explicada pela [CO₂], demonstrando assim o grande efeito desse fator nas atividades fotossintéticas. Todavia, constatou-se também que o microclima atua expressivamente nessas variáveis, exceto algumas, tais como a *E*, *A/E*, ϕ e *Vmax*.

Pouco efeito se observou dos fatores isolados sobre as variações dos pigmentos fotossintéticos, porém apesar disso os dois fatores atuaram significativamente na variação da *Chl a+b* e na razão *Chl a+b/Car*.

Tabela 3: Efeito dos fatores: Concentração de CO₂ (n=2), Microclima (n=2) e da interação entre os fatores, em variáveis de crescimento, trocas gasosas, das curvas de resposta à luz e CO₂ e de pigmentos de mudas do clone RRIM 600 de acordo a análise de variância (ANOVA).

Variáveis	Fatores		Interação [CO ₂] x M	R ²	CV (%)	
	[CO ₂]	Microclima (M)				
Crescimento	MST	62,4**	21,0**	2,0*	85,4	11,2
	AF	93,9**	1,3*	0,6*	95,9	9,5
	AFE	22,9**	32,2**	35,2**	90,3	14,4
	FMF	12,2*	39,3**	29,6**	81,1	13,9
	FMR	28,6**	9,5 ^{ns}	11,1*	49,2	6,1
	FMPA	29,6**	9,4 ^{ns}	11,1*	50,1	10,6
Trocas gasosas	A	66,5**	7,8*	1,3*	75,6	9,2
	gs	63,1**	26,3**	5,5**	94,9	9,9
	E	0,1 ^{ns}	4,7 ^{ns}	20,7*	25,4	21,8
	Ci	92,6**	1,9*	0,6*	95,1	9,5
	A/E	23,4*	10,5 ^{ns}	4,4*	38,3	22,8
	A/gs	67,1**	18,1**	1,3*	86,5	17,4
Curva A/FFFA	<i>Amax_{sat}</i>	71,3**	15,3**	9,1**	95,6	6,5
	<i>PCL</i>	40,2**	23,3**	28,1**	74,7	14,2
	<i>PSL</i>	1,8 ^{ns}	52,2*	2,1*	54,1	21,4
	ϕ	77,8**	7,5 ^{ns}	2,3 ^{ns}	87,6	10,7
	θ	1,1 ^{ns}	52,2*	2,9 ^{ns}	56,2	31,5
Curva A/Ci	<i>Amax</i>	74,8**	20,6**	1,2*	96,6	3,7
	<i>Vmax</i>	49,2**	0,5 ^{ns}	42,8**	92,5	5,2
	<i>Jmax</i>	85,8**	9,6*	0,7 ^{ns}	96,1	4,1
	<i>PC</i>	79,8**	16,8**	0,8 ^{ns}	97,4	0,8
	<i>Psat</i>	81,1**	12,6**	5,5**	99,2	1,6
Pigmentos	<i>Chl a</i>	9,2 ^{ns}	21,0 ^{ns}	4,2 ^{ns}	34,4	23,2
	<i>Chl b</i>	5,4 ^{ns}	21,8 ^{ns}	0,1 ^{ns}	27,2	29,2
	<i>Chla+b</i>	10,4*	26,6*	3,1*	40,1	30,4
	<i>Car</i>	1,7 ^{ns}	0,1 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,7	30,3
	<i>Chl a/b</i>	2,9 ^{ns}	3,3 ^{ns}	6,9 ^{ns}	13,1	29,6
	<i>Chla+b/car</i>	7,3 ^{ns}	20,5*	5,8*	33,6	44,9

As proporções de variância são explicadas pela relação da Soma do quadrado da variável/Soma do quadrado total e o nível de significância avaliado pelo teste *F* (**p*<0,05, ***p*<0,01, ^{ns}*p*<0,05) para cada fator e a interação. A variabilidade dos dados em relação à média é representada pelo coeficiente de variação CV, e a proporção da variância total é explicada pelo R².

3.1.2 Clone FX 3864

De todas as variáveis estudadas para o clone FX 3864, a FMF , E , θ , $Chl\ a$, Car , $Chl\ a/b$ e $Chla+b/Car$ não foram explicadas pelos os fatores e nem pela interação entre eles, julgando-se pelos menores valores da variação total explicada pelo modelo (R^2), observado na tabela 4. As demais variáveis, apresentaram interação significativa ($p < 0,05$), e apenas AF , $Amax$, $Amax_{sat}$ e $Jmax$ foram altamente significativas ($p < 0,01$).

As plantas do clone FX 3864 diferiram grandemente com $p < 0,01$ entre as concentrações de CO_2 , como observado no conjunto de variáveis correspondentes ao crescimento que a variação em AF e MST foram explicadas em 62% e 55% da variação total, respectivamente. Do conjunto trocas gasosas a variação da Ci foi explicada 98%, e da curva A/Ci , explicou 97% da variação total do PC.

As fortes diferenciações ($p < 0,01$) das variáveis entre os microclimas são observadas em AF , AFE , $Amax_{sat}$, $Amax$, $Jmax$ e $Chla+b/Car$, porém as demais variáveis não foram significativas ou quando foram apresentaram uma baixa proporção da variação sendo explicado por esse fato.

Tabela 4: Efeito dos fatores: Concentração de CO₂ (n=2), Microclima (n=2) e da interação entre os fatores, em variáveis de crescimento, trocas gasosas, das curvas de resposta à luz e CO₂ e de pigmentos de mudas do clone FX 3864 de acordo a análise de variância (ANOVA).

Variáveis	Fatores		Interação [CO ₂] x M	R ²	CV (%)	
	[CO ₂]	Microclima (M)				
Crescimento	MST	54,9**	3,6 ^{ns}	6,0*	64,4	14,1
	AF	62,0**	20,0**	9,4**	91,4	11,9
	AFE	5,8 ^{ns}	35,6**	0,8 ^{ns}	42,2	38,6
	FMF	6,1 ^{ns}	1,3 ^{ns}	9,9 ^{ns}	17,4	22,2
	FMR	9,5*	3,4 ^{ns}	6,4*	19,3	11,0
	FMPA	10,5*	3,4 ^{ns}	6,2*	29,1	19,6
Trocas Gasosas	A	56,2**	0,2 ^{ns}	3,7*	60,1	10,7
	gs	54,7**	0,9*	0,5*	56,1	14,0
	E	7,1 ^{ns}	0,0 ^{ns}	9,9 ^{ns}	17,0	20,5
	Ci	97,5**	0,0 ^{ns}	0,6*	98,0	4,7
	A/E	29,2*	0,0 ^{ns}	3,4*	32,6	25,9
	A/gs	61,5**	0,9 ^{ns}	3,3*	65,7	23,4
Curva A/FFFA	Amax _{sat}	40,2**	36,5**	20,7**	93,7	5,3
	PCL	48,1**	23,3*	11,6*	58,2	19,8
	PSL	2,2 ^{ns}	49,1*	4,8*	56,1	30,6
	φ	39,9*	18,9 ^{ns}	12,1 ^{ns}	70,9	31,3
	θ	2,7 ^{ns}	6,6 ^{ns}	30,2 ^{ns}	39,5	32,6
Curva A/Ci	Amax	13,2**	80,8**	4,7*	98,7	1,7
	Vmax	65,1*	16,4*	1,6*	83,1	14,3
	Jmax	20,7**	66,6**	12,5**	99,8	0,3
	PC	97,1**	2,2*	0,1 ^{ns}	99,3	0,7
	Psat	63,7*	11,9 ^{ns}	8,3 ^{ns}	83,9	12,6
Pigmentos	Chl a	1,0 ^{ns}	22,2 ^{ns}	6,6 ^{ns}	29,8	22,9
	Chl b	1,1 ^{ns}	33,5*	12,9*	47,5	23,3
	Chla+b	1,1 ^{ns}	26,4*	8,7*	36,2	22,5
	Car	2,1 ^{ns}	0,1 ^{ns}	20,1 ^{ns}	22,2	17,8
	Chl a/b	0,1 ^{ns}	25,2 ^{ns}	15,8 ^{ns}	41,0	22,3
	Chla+b/car	8,3*	72,6**	0,5 ^{ns}	81,4	7,2

As proporções de variância são explicadas pela relação da Soma do quadrado da variável/Soma do quadrado total e o nível de significância avaliado pelo teste *F* (**p*<0,05, ***p*<0,01, ^{ns}*p*<0,05) para cada fator e a interação. A variabilidade dos dados em relação à média é representada pelo coeficiente de variação CV, e a proporção da variância total é explicada pelo R².

3.2 Crescimento

3.2.1 Clone RRIM 600

Para o estudo da interação das concentrações dentro dos microclimas, observamos que a $[CO_2]$ de 850 ppm sob as plantas crescidas sob baixa demanda atmosférica foi significativo aumentando os valores da MST, AF, AFE e FMPA em relação à $[CO_2]$ de 450 ppm, contudo as demais variáveis não diferiram estatisticamente entre as concentrações (Tabela 5). O mesmo acréscimo significativo foi observado para AF, FMF e FMPA dentro do microclima com alta demanda atmosférica, exceto para FMR que decresceu, em relação às plantas mantidas na $[CO_2]$ de 450 ppm.

Entretanto, observou-se que o microclima com alta demanda atmosférica proporcionou um maior acúmulo em MST independente da $[CO_2]$, em relação ao microclima com baixa demanda atmosférica. Contudo, numa $[CO_2]$ de 450ppm, as plantas mantidas sob alta demanda atmosférica, apresentaram maior AF e FMF em relação às plantas mantidas em baixa demanda atmosférica. Entretanto, a FMPA, não apresentou alterações entre os microclimas na $[CO_2]$ de 450ppm.

Analisando o efeito dos microclimas nas plantas mantidas na $[CO_2]$ de 850 ppm, observou-se que a FMF e FMPA foram maiores, e a FMR foi menor sob alta demanda atmosférica, em relação ao microclima com baixa demanda atmosférica.

Tabela 5: Valores médios ($n=6$) da Massa seca total (MST), área foliar total (AF), área foliar específica (AFE), fração massa foliar (FMF), fração massa raiz (FMR) e fração massa parte aérea (FMPA) do clone RRIM 600 submetido a diferentes concentrações de CO_2 e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	$[CO_2]$ 450	$[CO_2]$ 850	$[CO_2]$ 450	$[CO_2]$ 850
MST (g)	49,07Bb*	73,09 Ba	60,73Ab	95,14 Aa
AF (cm²)	373,4 Bb	1051,97 Aa	500,66 Ab	1076,26 Aa
AFE (cm² g⁻¹)	62,09Ab	99,68 Aa	60,8 Aa	56,11 Ba
FMF (g g⁻¹)	0,12 Ba	0,15 Ba	0,14 Ab	0,21 Aa
FMR (g g⁻¹)	0,68 Aa	0,66 Aa	0,66 Aa	0,60 Bb
FMPA (g g⁻¹)	0,32 Ab	0,34 Ba	0,34 Ab	0,40 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO_2 , e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

3.2.2 Clone FX 3864

O efeito do aumento da [CO₂] proporcionou significativamente uma maior MST, AF, AFE, independente do microclima. Todavia, a elevada [CO₂] aumentou a FMR e reduziu a FMPA nas plantas crescidas sob baixa demanda, porém o microclima com alta demanda atmosférica ocasionou uma inversão significativa neste comportamento, aumentando a FMPA e diminuindo FMR (Tabela 6).

Independente da [CO₂], as plantas do clone FX 3864, no microclima com alta demanda, apresentaram maior AF e AFE, entretanto as demais variáveis não apresentaram diferenças significativas.

Tabela 6: Valores médios ($n=6$) da Massa seca total (MST), área foliar total (AF), área foliar específica (AFE), fração massa foliar (FMF), fração massa raiz (FMR) e fração massa parte aérea (FMPA) do clone FX 3864 submetido a diferentes concentrações de CO₂ e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850
MST (g)	49,87 Ab*	62,89 Aa	40,72 Ab	67,61 Aa
AF (cm²)	414,67 Bb	643,08 Ba	481,22 Ab	1002,35 Aa
AFE (cm² g⁻¹)	42,59 Bb	58,73 Ba	81,76 Ab	96,69 Aa
FMF (g g⁻¹)	0,19 Aa	0,18 Aa	0,18 Aa	0,20 Aa
FMR (g g⁻¹)	0,63 Ab	0,69 Aa	0,62 Aa	0,58 Ab
FMPA (g g⁻¹)	0,37 Aa	0,31 Ab	0,38 Ab	0,42 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO₂, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

3. 3 Trocas Gasosas

3.3.1 Clone RRIM 600

Através da análise das variáveis de trocas gasosas do clone RRIM 600 (Tabela 7), observou-se que as plantas que foram mantidas na [CO₂] elevada, independente do microclima, aumentaram a *A* e reduziram a *gs*, e como consequência houve aumento na *A/E*, *A/gs*, e *Ci*.

Independente da [CO₂], as plantas que cresceram sob alta demanda atmosférica, aumentaram significativamente os valores da *A/gs* e *A*, no entanto

reduziu a g_s . Quanto às demais variáveis (E , A/E e C_i), apresentaram valores estatisticamente semelhantes entre os microclimas.

Tabela 7: Valores médios ($n=6$) da taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e concentração interna de CO_2 (C_i) do clone RRIM 600 submetidos a diferentes concentrações de CO_2 e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	10,38 Bb*	11,39 Ba	11,51 Ab	17,34 Aa
g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,37 Aa	0,22Ab	0,26 Ba	0,18 Bb
C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	359,59 Ab	711,32 Aa	298,01 Ab	668,10 Aa
E ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	3,20 Aa	2,75 Aa	2,50 Aa	3,00 Aa
A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	3,66 Ab	5,57 Aa	4,50 Ab	5,88 Aa
A/g_s ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	31,41 Bb	67,92 Ba	47,49 Ab	96,05 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO_2 , e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

3.3.2 Clone FX 3864

Ao avaliar o efeito da $[\text{CO}_2]$ dentro de cada microclima, verificou-se que a $[\text{CO}_2]$ de 850 ppm, proporcionou redução significativa na g_s , e maior A , C_i e A/g_s independente do microclima (Tabela 8). Entretanto, a E apresentou semelhanças entre as concentrações de CO_2 em ambos microclimas estabelecidos. Quanto a A/E , o efeito das concentrações de CO_2 no microclima com baixa demanda não a alterou significativamente, porém diferenciou-se dentro sob alta demanda atmosférica, apresentando maior valor na $[\text{CO}_2]$ de 850 ppm.

Com relação ao efeito do microclima dentro das concentrações de CO_2 , observou-se que o padrão de comportamento das variáveis A , g_s , E , A/E , A/g_s e C_i para este clone foram semelhantes, independente da $[\text{CO}_2]$.

Tabela 8: Valores médios ($n=6$) da taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) e concentração interna de CO_2 (C_i) do clone FX 3864 submetidos a diferentes concentrações de CO_2 e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	[CO_2] 450	[CO_2] 850	[CO_2] 450	[CO_2] 850
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	10,80 Ab*	12,05 Aa	10,96Ab	14,65 Aa
g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,27 Aa	0,19 Ab	0,26 Aa	0,17Ab
C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	360,59 Ab	708,30 Aa	381,11 Ab	681,74 Aa
E ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	2,93 Aa	2,32 Aa	2,62 Aa	2,67 Aa
A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	4,27 Aa	5,60 Aa	4,78 Ab	6,09 Aa
A/g_s ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	46,68Ab	73,65 Aa	42,79 Ab	86,11 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO_2 , e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

3.4 Curva de resposta à luz

3.4.1 Clone RRIM 600

Os parâmetros obtidos através da modelagem das curvas $A/FFFA$ (Figura 6), estão apresentados na tabela 9.

Analisando o efeito da [CO_2] de 850 ppm, verificou-se um aumento na A_{max} saturante somente quando as plantas foram mantidas sob uma alta demanda atmosférica. No entanto, o PSL na [CO_2] de 850 ppm foi maior em ambos microclimas. Enquanto ao PCL , este aumentou quando se elevou a [CO_2] somente nas plantas sob uma baixa demanda atmosférica.

Todavia, através da comparação do efeito dos microclimas dentro de cada [CO_2], notou-se que a A_{max} saturante das plantas crescidas nas duas [CO_2], são significativamente maiores nas plantas sob uma alta demanda atmosférica. No entanto, o mesmo microclima proporcionou um decréscimo no PCL das plantas sob [CO_2] de 850 ppm, em relação ao microclima com baixa demanda. Quanto ao PSL , este não apresentou diferenças significativas entre os microclimas em ambas [CO_2].

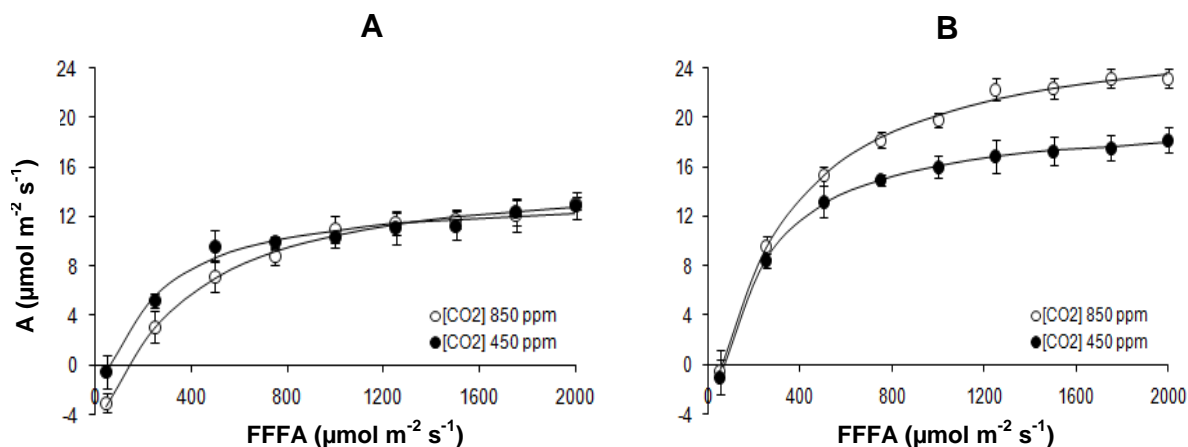
Em relação à eficiência quântica e a convexidade das curvas, a interação entre os fatores [CO_2] e microclima não ocasionou diferenças significativas entre os tratamentos avaliados.

Tabela 9: Valores médios ($n=3$) dos parâmetros obtidos a partir das curvas de assimilação líquida de CO_2 em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos: $A_{\text{max}_{\text{sat}}}$ (taxa máxima de fotossíntese em luz saturante), PCL (ponto de compensação luminoso), PSL (ponto de saturação por luz), ϕ (eficiência quântica) e θ (convexidade da curva) do clone RRIM 600 submetidos a diferentes concentrações de CO_2 e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850
$A_{\text{max}_{\text{sat}}}$ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	10,21 Ba*	12,59 Ba	15,07Ab	20,42 Aa
PCL ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	62,85 Ab	122,45 Aa	56,68Aa	53,89Ba
PSL ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	1211,75 Ab	1830,86 Aa	1352,22Ab	1913,05Aa
ϕ (mol mol ⁻¹)	0,05 Aa	0,05 Aa	0,07 Aa	0,09 Aa
θ	0,48 Aa	0,15 Aa	0,38 Aa	0,17 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO_2 , e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

Figura 6: Curvas de assimilação líquida de CO_2 em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos para o clone RRIM 600 submetidos a diferentes concentrações de CO_2 em dois microclimas distintos: **A-** Com baixa demanda atmosférica. **B-** Com alta demanda atmosférica.



3.4.2 Clone FX 3864

Por meio dos parâmetros do clone FX 3864 (Tabela 10) obtidos a partir dos ajustes das curvas $A/FFFA$ (Figura 7), notou-se que a elevada $[\text{CO}_2]$ elevou a A_{max}

saturante quando as plantas estavam sob alta demanda atmosférica, porém o *PSL* apresentou maiores valores, independente da demanda evaporativa do microclima, em relação às plantas mantidas na $[CO_2]$ de 450 ppm. Quanto ao *PCL*, este foi significativamente maior com o aumento da $[CO_2]$, entretanto somente sob baixa demanda atmosférica.

Observou-se que sob alta demanda atmosférica houve aumento significativo na *Amax* saturante na $[CO_2]$ de 850 ppm, o que não se observou nas plantas mantidas na $[CO_2]$ de 450 ppm, sendo que apresentaram comportamento semelhante entre os microclimas. Com relação ao *PSL*, houve redução significativa no microclima com alta demanda atmosférica nas plantas sob a $[CO_2]$ de 450 ppm, todavia os valores de *PSL* foram similares entre os microclimas nas plantas crescidas sob $[CO_2]$ de 850 ppm.

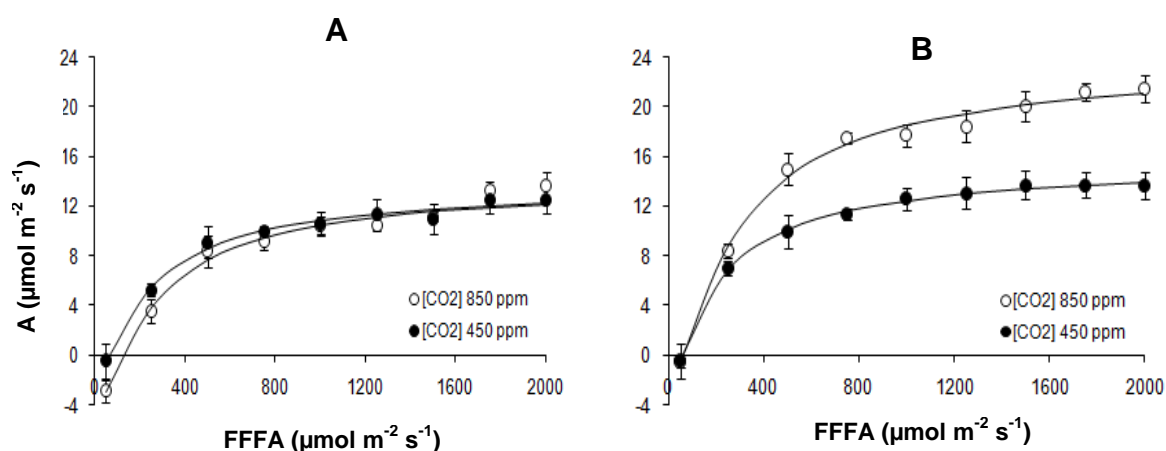
Contudo, o *PCL* apenas diferiu entre as plantas mantidas na $[CO_2]$ de 850 ppm, sendo significativamente maior no microclima com baixa demanda atmosférica comparando ao com alta demanda atmosférica. E, quanto a eficiência quântica (ϕ) e a convexidade da curva (θ), estas não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 10: Valores médios ($n=3$) dos parâmetros obtidos a partir das curvas de assimilação líquida de CO_2 em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos: $A_{max_{sat}}$ (taxa máxima de fotossíntese saturante), *PCL* (ponto de compensação luminoso), *PSL* (ponto de saturação por luz), ϕ (eficiência quântica) e θ (convexidade da curva) do clone FX 3864 submetidos a diferentes concentrações de CO_2 e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	$[CO_2]$ 450	$[CO_2]$ 850	$[CO_2]$ 450	$[CO_2]$ 850
$A_{max_{sat}}$ ($\mu mol CO_2 m^{-2} s^{-1}$)	10,81 Aa*	12,96 Ba	12,19 Ab	20,37 Aa
<i>PCL</i> ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$)	82,22 Ab	138,51 Aa	58,14Aa	67,84 Ba
<i>PSL</i> ($\mu mol m^{-2} s^{-1}$)	1256,33 Ab	1950,16 Aa	1090,74 Bb	1959,78 Aa
ϕ ($mol mol^{-1}$)	0,05 Aa	0,04 Aa	0,09 Aa	0,07 Aa
θ	0,33 Aa	0,21 Aa	0,26 Aa	0,37 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO_2 , e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

Figura 7: Curvas de assimilação líquida de CO₂ em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos para o clone FX 3864 submetidos a diferentes concentrações de CO₂ em dois microclimas distintos: **A-** Com baixa demanda atmosférica. **B-** Com alta demanda atmosférica.



3.5 Curva de resposta ao CO₂

3.5.1 Clone RRIM 600

A partir dos ajustes dos pontos médios das curvas A/C_i (Figura 8), calculou-se os parâmetros apresentados na tabela 11. Desta forma, verificou-se que a [CO₂] de 850 ppm proporcionou aumento significativo na A_{max} nas plantas mantidas sob baixa demanda atmosférica e na V_{max} em ambos microclimas. Quanto ao J_{max} , PC e o P_{sat} , estes apresentaram similaridades entre as concentrações nos dois microclimas.

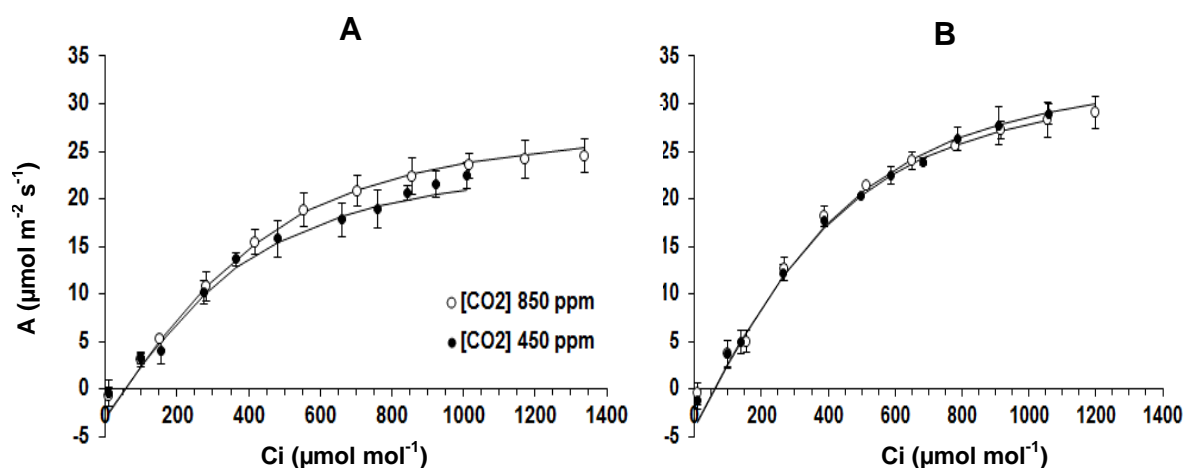
Comparando os microclimas, nota-se que a A_{max} e V_{max} das plantas crescidas sob alta demanda atmosférica, independente das [CO₂], obtiveram aumento significativo em comparação ao microclima com baixa demanda atmosférica. Observou-se também que, entre os microclimas, independente da [CO₂], não houve diferenças significativas na J_{max} e PC . Entretanto, o P_{sat} foi significativamente influenciado pelo aumento na demanda atmosférica, sendo que esta condicionou maiores pontos, independente da [CO₂].

Tabela 11: Valores médios ($n=3$) dos parâmetros obtidos a partir das curvas de assimilação líquida de CO_2 em função da concentração interna de CO_2 : A_{max} (fotossíntese máxima), V_{max} (taxa máxima de carboxilação da Rubisco), J_{max} (taxa máxima de transporte de elétrons), PC (ponto de compensação de CO_2) e P_{sat} (ponto de saturação de CO_2) do clone RRIM 600 submetidos a diferentes concentrações de CO_2 e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	[CO_2] 450	[CO_2] 850	[CO_2] 450	[CO_2] 850
A_{max} ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	20,95 Bb*	25,36 Ba	28,55 Aa	31,21 Aa
V_{max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	247,43 Bb	293,51 Ba	297,85 Ab	343,13 Aa
J_{max} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	107,51Aa	123,04 Aa	147,32 Aa	156,19 Aa
PC ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	47,84 Aa	49,65 Aa	51,39 Aa	52,53 Aa
P_{sat} ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	573,06 Ba	591,07 Ba	733,58 Aa	934,02 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO_2 , e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

Figura 8: Curvas de assimilação líquida de CO_2 em função da concentração interna de CO_2 para o clone RRIM 600 submetidos a diferentes concentrações de CO_2 em dois microclimas distintos: **A-** Com baixa demanda atmosférica. **B-** Com alta demanda atmosférica



3.5.2 Clone FX 3864

Os dados das curvas A/C_i para clone FX 3864, estão listados na tabela 12, e podem ser acompanhados pelo ajuste dos pontos médios das curvas na figura 12.

A [CO_2] de 850 ppm proporcionou efeito positivo na A_{max} e J_{max} , elevando seus valores significativamente, porém as variáveis V_{max} , PC e P_{sat} não

apresentaram nenhuma diferenciação entre as concentrações de CO₂ dentro dos microclimas.

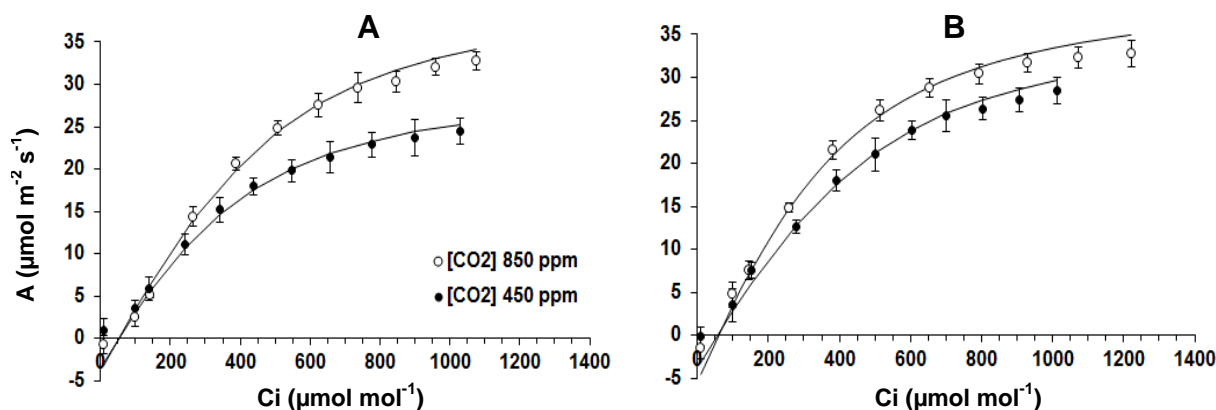
Não obstante, verificou-se que entre os microclimas, a *A*_{max} e *J*_{max} das plantas sob a [CO₂] de 450 ppm foram significativamente superiores quando mantidas sob alta demanda atmosférica e a *V*_{max} e o *P*_{sat} foram maiores sob alta demanda atmosférica, independente da [CO₂].

Tabela 12: Valores médios (*n*=3) dos parâmetros obtidos a partir das curvas de assimilação líquida de CO₂ em função da concentração de CO₂: *A*_{max} (fotossíntese máxima), *V*_{max} (taxa máxima de carboxilação da rubisco), *J*_{max} (taxa máxima de transporte de elétrons), *PC* (ponto de compensação de CO₂) e *P*_{sat} (ponto da concentração de saturação) do clone FX 3864 submetidos a diferentes concentrações de CO₂ em microclimas distintos, em Jerônimo Monteiro, ES

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850
<i>A</i> _{max} (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)	25,73 Bb*	33,52 Aa	29,79Ab	34,54 Aa
<i>V</i> _{max} (μmol m ⁻² s ⁻¹)	246,70 Ba	293,10 Ba	360,30 Aa	449,87 Aa
<i>J</i> _{max} (μmol m ⁻² s ⁻¹)	127,77 Bb	169,64 Aa	156,73 Ab	173,27 Aa
<i>PC</i> (μmol m ⁻² s ⁻¹)	46,76 Aa	47,56 Aa	53,18 Aa	54,38 Aa
<i>P</i> _{sat} (μmol m ⁻² s ⁻¹)	675,72 Ba	702,68 Ba	825,92 Aa	959,87 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO₂, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey (*P*<0,05).

Figura 9: Curvas de assimilação líquida de CO₂ em função da concentração interna de CO₂ para o clone FX 3864 submetidos a diferentes concentrações de CO₂ em dois microclimas distintos: **A**- Com baixa demanda atmosférica. **B**- Com alta demanda atmosférica



3.6 Pigmentos fotossintéticos

3.6.1 Clone RRIM 600

Os teores de *Chl a*, *Chl b*, *Car* e *Chl a/b* não foram significativos entre os tratamentos avaliados (Tabela 13). Entretanto, verificou-se que somente os totais de clorofilas *a+b* foram significativamente maiores quando elevou-se a [CO₂] no microclima com alta demanda atmosférica.

Todavia, comparando os microclimas, notou-se que as plantas sob a [CO₂] de 850 ppm, por efeito da alta demanda atmosférica, apresentaram acréscimo significativo nos teores de clorofilas totais e da razão *Chl a+b/car*. Contudo, na [CO₂] de 450 ppm os teores foram semelhantes entre os microclimas.

Tabela 13: Teores médios ($n=4$) dos pigmentos fotossintéticos Clorofila a (*Chl a*), clorofila b (*Chl b*), clorofilas totais (*Chl a+b*) e carotenóides (*Car*) do clone RRIM 600 submetidos a diferentes concentrações de CO₂ (aproximadamente 450 ppm e 850 ppm) e microclimas distintos, em Jerônimo Monteiro, ES

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850
Chl a (g Kg ⁻¹ MF)	7,75 Aa*	8,53 Aa	9,78 Aa	13,90 Aa
Chl b (g Kg ⁻¹ MF)	2,87 Aa	3,43 Aa	3,98 Aa	4,51 Aa
Chla+b (g Kg ⁻¹ MF)	10,62 Aa	11,96 Ba	13,77 Ab	18,41 Aa
Car (g Kg ⁻¹ MF)	2,39 Aa	2,55 Aa	2,41 Aa	2,61 Aa
Chl a/b	2,70 Aa	2,48 Aa	2,46 Aa	3,09 Aa
Chla+b/car	4,44 Aa	4,69 Ba	5,71 Aa	7,05 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO₂, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

3. 6.2 Clone FX 3864

Ao analisarmos os teores médios dos pigmentos fotossintéticos do clone FX 3864 que são indicados na tabela 14, com exceção da *Chl b* e das *Chl a+b*, as demais variáveis não apresentaram interação significativa entre os fatores.

A elevada [CO₂] não influenciou significativamente sobre os teores dos pigmentos fotossintéticos, uma vez que observou-se semelhanças entre as concentrações. Entretanto, quando comparamos os microclimas em cada [CO₂], percebe-se que os teores de *Chl b* e *Chl a+b* foram significativamente maiores no microclima com alta demanda nas plantas mantidas sob a [CO₂] de 450 ppm, e nota-

se também que na [CO₂] de 850 ppm as plantas não se diferenciaram significativamente entre os microclimas.

Tabela 14: Teores médios ($n=4$) dos pigmentos fotossintéticos Clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), clorofilas totais (Chla+b) e carotenóides (Car) do clone FX 3864 submetidos a diferentes concentrações de CO₂ (aproximadamente 450 ppm e 850 ppm) e em microclimas distintos, em Jerônimo Monteiro, ES

Pigmentos	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850	[CO ₂] 450	[CO ₂] 850
Chl a (g Kg⁻¹ MF)	8,42 Aa*	9,15 Aa	11,84 Aa	10,15 Aa
Chl b(g Kg⁻¹ MF)	2,97 Ba	3,52 Aa	5,01 Aa	3,99 Aa
Chl a+b (g Kg⁻¹ MF)	11,39 Ba	12,67 Aa	16,85 Aa	14,15 Aa
Car (g Kg⁻¹ MF)	2,44 Aa	3,02 Aa	2,85 Aa	2,55 Aa
Chl a/b	2,83 Aa	2,60 Aa	2,36 Aa	2,54 Aa
Chl a+b/car	4,67 Aa	4,20 Aa	5,91 Aa	5,54 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre uma mesma concentração de CO₂, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre as concentrações dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

4 DISCUSSÃO

4.1 Crescimento

O acúmulo de biomassa total, para os clones RRIM 600 e FX 3864, foi maior com o aumento da [CO₂], independente do microclima. Esse resultado está condizente ao encontrado na literatura, evidenciando que o CO₂ é um recurso que atua diretamente no processo fotossintético das plantas, e sua maior disponibilidade proporciona maior produção de fotoassimilados. Pritchard et al. (1999) em uma metanálise de trabalhos que avaliaram plantas sob elevada [CO₂], verificaram que 58% das plantas estudadas, aumentaram seu crescimento. Todavia, a amplitude de resposta do crescimento em relação a elevação da [CO₂] depende da espécie, porém a maioria das espécies de crescimento rápido, respondem positivamente ao CO₂, com aumento de biomassa de aproximadamente 47% (POORTER; PÉREZ-SOBA, 2002).

Os efeitos da elevada [CO₂] para os clones nesta pesquisa corroboram com os encontrados por Devakumar et al. (1998) com os clones de seringueira RR11 105 e GT1, em que ao elevar a concentração de CO₂ para 700 ppm, houve aumento na biomassa. Eller et al. (2012) também observaram aumentos significativos na biomassa de dois clones de *Phragmites australis* quando estes foram mantidos em [CO₂] de 700 ppm. Mendes de Sá et al. (2014), avaliando *Baccharis dracunculifoli*, observaram que houve aumento de 134% na biomassa total quando se elevou a [CO₂].

Observou-se que as condições dos microclimas proporcionaram aos clones diferentes comportamentos. Larcher (2000), explica que a produção da biomassa de uma planta é altamente afetada pelas condições do microclima em que ela se encontra, pois estas influenciam principalmente nos processos fotossintéticos e sobre a alocação de carbono da planta. Desta forma, sob alta demanda atmosférica o clone RRIM 600 apresenta maior estímulo metabólico refletido no maior crescimento, independente da [CO₂], porém o clone FX 3864 não se diferenciou entre os microclimas, apresentando o mesmo padrão de crescimento entre eles. Desta forma esse resultado para os dois clones reforça a aptidão climática dos clones, sendo o microclima com baixa demanda atmosférica fator limitante para o desenvolvimento de ambos os clones de seringueira.

O padrão de alocação de biomassa tende sempre a aperfeiçoar a alocação de recursos disponíveis (POOTER, 1999). Assim, nota-se que os clones priorizam a alocação de biomassa na parte aérea quando mantidos sob alta demanda e em elevada $[CO_2]$, investindo no processo de fixação de CO_2 (POORTER; PÉREZ-SOBA, 2002). O aumento na superfície assimilatória pode estar relacionado a diversos aspectos metabólicos da planta, como perda de água, interceptação da radiação luminosa e a capacidade fotossintética, além de ser determinante na resposta da planta à produção de biomassa, visto que folhas em expansão são drenos importantes para o carbono fixado (FERRIS et al., 2001).

O modo como a elevação na $[CO_2]$ atua no aumento da área foliar tem sido destacado em muitos trabalhos, assim como observado neste estudo, onde o fator CO_2 atuou fortemente na diferenciação da variável área foliar. Ferris e Taylor (1994) demonstraram que o CO_2 estimula a taxa de expansão foliar e Kinsman et al. (1997) mostraram que a exposição a altas concentrações de CO_2 faz com que folhas apresentem células epidérmicas e parenquimáticas alongadas. Devakumar et al. (1998), observaram que com o aumento de 700 ppm de CO_2 , clones de seringueira, RRIM 600 e FX 3864, apresentaram maiores áreas foliares em relação as plantas mantidas em concentração de 350 ppm. O mesmo foi observado por Eller et al. (2013) em dois clones de *Phragmites australis* quando estes foram mantidos em $[CO_2]$ de 700 ppm interagido ao aumento na temperatura, corroborando com os resultados encontrados para os clones RRIM 600 e FX 3864.

A área foliar específica é uma variável que relaciona a unidade de área foliar por massa seca produzida. Quando ocorre o aumento em área foliar específica, sugere-se que a folha apresente epidermes mais delgadas e com menor espessura do mesofilo; por outro lado quando há redução na área foliar específica indica que as folhas são mais espessas, devido ao adensamento nos espaços intracelulares, uma vez que há maior acúmulo de massa por unidade de área foliar (BERLYN; CHO, 2000).

O crescimento da área foliar específica em CO_2 elevado é estimulado pelo aumento da expansão celular (RANASINGHE; TAYLOR, 1996), estando de acordo às observações feitas para os clones de seringueira mantidos em *OTC's* no presente estudo. Contudo, existem divergências entre as respostas relacionadas à expansão foliar de plantas com o aumento do CO_2 . Em alámo sob elevado CO_2 foi observada maior extensibilidade da parede celular, resultante do afrouxamento da mesma devido ao aumento da concentração de CO_2 intercelular (GARNER et al., 1995). Não

obstante, a espessura da folha também é alterada quando as plantas estão submetidas ao elevado CO_2 (MARROCO et al., 2002), devido ao aumento da espessura pelo acréscimo no tamanho, camadas ou números das células que normalmente são correlacionadas ao aumento de carboidratos totais não estruturais (amido e açúcares solúveis totais) nas folhas (SAGE, 2002). Entretanto, este aumento de amido não pode ser cogitado aos clones de seringueira, visto que esta resposta é elucidada pela quantificação de carboidratos estruturais na folha o que poder ser explicado pela diminuição da área foliar por massa foliar, o que não foi observado neste estudo.

4.3 Respostas Fisiológicas

4.3.1 Trocas Gasosas

Os clones de seringueira apresentaram respostas fotossintéticas com proporcionalidade ao acúmulo de biomassa entre os microclimas. As atividades fotossintéticas, em resposta às alterações térmicas, dependem das condições adaptativas de cada genótipo em limitar morfologicamente ou bioquimicamente as taxas de fotossíntese, esta pode aclimatar em certas condições ambientais para proporcionar crescimento efetivo da planta, sinalizando estar uma condição ótima (SAGE et al., 2008).

Contudo, o aumento na taxa de assimilação, observado nas plantas dos clones RRIM 600 e FX 3864, crescidas em elevada $[\text{CO}_2]$, independente do microclima, é uma resposta já observada em outros estudos, como descrito por Ainsworth e Long (2005), em uma metanálise de 124 trabalhos realizados com aumento da $[\text{CO}_2]$, verificando aumento de 28% nas taxas fotossintéticas das plantas cultivadas em elevado CO_2 . Isso ocorre devido ao aumento na concentração interna de CO_2 nas folhas, que eleva a pressão do sítio ativo da Rubisco e proporciona maior eficiência de carboxilação, e redução na fotorrespiração (LONG et al., 2004).

Além do incremento da taxa fotossintética, também tem sido observado redução concomitante da condutância estomática e da taxas transpiratórias, como verificadas neste experimento (AIDAR et al., 2002; LONG et al., 2004; BERNACCHI et al., 2007; AINSWORTH; LONG; 2005). Todavia, a base fisiológica que explica o papel do CO_2 na redução estomática ainda não são claras. Mott (1990) sugere que os estômatos respondem à concentração intercelular (C_i) de CO_2 ajustando a difusão

desse gás para a fotossíntese, com provável favorecimento da eficiência do uso da água. Nesta pesquisa, verificou-se que sob elevada $[CO_2]$ houve redução na condutância estomática, entretanto essa redução não foi acompanhada pela transpiração. De acordo a Drake et al. (1998), os efeitos da elevada $[CO_2]$ na redução da condutância estomática nem sempre correspondem a redução proporcional na transpiração. Essa desproporcionalidade se deve as complexas interações entre o efeito da $[CO_2]$ elevada e da temperatura foliar.

Segundo Drake et al. (1998), na grande maioria dos estudos em ambientes com CO_2 elevado, tem sido verificada, por meio das trocas gasosas, uma maior eficiência no uso da água pelas plantas. Essa eficiência relaciona a taxa de carbono fixado por unidade de água perdida no processo transpiratório, e da condutância estomática, ou seja, a redução na transpiração como na condutância estomática aumenta a eficiência do uso da água. Neste sentido, em condições ambientais onde as plantas são submetidas a elevado CO_2 as relações hídricas das mesmas são melhoradas (LEAKEY, 2009), sendo, contudo, em condições de restrição hídrica essas plantas podem sofrer de forma amena. Assim, estudos que integram esses fatores é extremamente importante para compreendermos melhor as respostas das plantas de seringueira às mudanças no clima.

De acordo aos dados observados através das curvas $A/FFFA$, verificou-se que os clones estudados apresentam maior $A_{max_{sat}}$ e PSL com o aumento da $[CO_2]$ quando submetidos à alta demanda atmosférica. Contudo, no geral os valores de $A_{max_{sat}}$ para os clones tenderam a ser maiores, independente da $[CO_2]$, sob alta demanda atmosférica. Neste sentido, os maiores valores de $A_{max_{sat}}$ com o aumento da $[CO_2]$ sugerem aos clones um maior desempenho fisiológico, evidenciado pela maior capacidade de absorção de luz e maior taxa de transporte de elétrons, assim como maior velocidade na atividade da enzima Rubisco mesmo em alta demanda evaporativa do ar.

A maioria dos estudos com plantas mantidas em elevadas $[CO_2]$ corrobora com os resultados encontrados para os clones de seringueira. Quando analisadas as modelagens de curvas de luz feitas por unidade de área foliar, respondem com maior taxa de fotossíntese saturante em relação às plantas em baixa $[CO_2]$, a eficiência assimilatória do carbono é maior devido à pressão interna de CO_2 estar elevada, bem como alcançam maiores pontos de saturação luminosa devido ao aumento da carboxilação e redução da fotorrespiração, ou seja, apresentam uma

maquinaria fotossintética com maior robustez (AINSWORTH; LONG, 2005; GRANDIS, 2010; MAYORGA, 2010).

O aumento no PCL sob baixa demanda atmosférica, verificado no presente estudo, pode ser atribuído pelo aumento na respiração e assim requerer maior fluxo de fótons para equilibrar o O₂ liberado e o respirado. Neste sentido, sabe-se que o PCL é intimamente ligado a respiração, pois este é determinado quando a taxa de CO₂ liberado pela respiração é fixada pela fotossíntese, refletindo um balanço entre a fotossíntese e a respiração em função do fluxo de fótons, podendo variar entre as espécies e com as condições de desenvolvimento (TAIZ; ZEIGER, 2013). Alguns estudos evidenciam que plantas que crescem em longo prazo sob elevada [CO₂] apresentam uma reprogramação metabólica estimulando a respiração e aumento na síntese de açúcares, sendo esta aumentada devido ao acúmulo de carboidratos foliares, o que provocam limitação da atividade fotossintética (AINSWORTH et al., 2006; LEAKEY et al., 2009).

No entanto, a eficiência quântica, analisada na fase linear das curvas, que é considerada como eficiência com que a luz é utilizada na fixação do carbono, manteve o mesmo padrão entre os tratamentos. Possibilitando sugerir que não houve interferência das diferenças entre os microclimas e entre as concentrações de CO₂ nos aparatos luminosos dos clones. Uma vez que, uma drástica redução na eficiência quântica sinaliza que a planta está sob condições estressantes, alterando principalmente a atividade do fotossistema II (KRAUSE; WEIS, 1991). Foi possível observar também, que não houve diferenças significativas para os valores da convexidade das curvas (θ) entre os tratamentos analisados. Sendo os valores encontrados em ambos os tratamentos estando abaixo do valor médio de 0,5 relatado por Marshall e Biscoe (1980), seria um indicativo de baixa limitação na condutância estomática se comparada à resistência interior de difusão de CO₂ para o cloroplasto, atribuindo assim uma boa adaptação da espécie a ambientes de luz elevada.

As curvas A/C_i mostram que os clones apresentam tendências de maiores acréscimos na fotossíntese máxima (A_{max}) com o aumento da [CO₂], independente do microclima. Possivelmente esse aumento está correlacionado ao aumento na taxa de carboxilação máxima da Rubisco (V_{max}) e na taxa de transporte de elétrons (J_{max}). No entanto, através dos resultados observados, o clone FX 3864, sob elevada [CO₂], mostrou-se mais aclimatado, visto que apresentou maiores valores

de A_{max} e V_{max} , porém a V_{max} foi maior nas duas $[CO_2]$ no sob alta demanda atmosférica.

De acordo a Larcher (2000), a fase linear da curva A/C_i é o efeito do aumento da pressão parcial do CO_2 no processo fotossintético, e é uma medida da taxa de carboxilação da Rubisco (V_{max}) até atingir a fotossíntese potencial (A_{max}) quando atinge a saturação devido a pressão interna do CO_2 . De acordo ao modelo proposto por Farquhar et al. (1980) para plantas C_3 o comportamento da taxa de fotossíntese é comumente ligada ao da taxa de transporte de elétrons para regenerar a Rubisco e a sua capacidade de carboxilação, tornando limitada quando há equivalência em ambos. Com o aumento do CO_2 disponível, a fotorrespiração é reduzida pelo aumento da razão ente CO_2/O_2 e com isso a assimilação é maior para as plantas crescidas em CO_2 elevado. As plantas C_3 são capazes, nessa condição, de fixar duas a três vezes mais CO_2 do que em condição atmosférica atual (LARCHER, 2000). Com elevada fixação do CO_2 , a atividade de regeneração da Rubisco será contínua e rápida, o que exige que uma molécula de rubisco seja regenerada para cada molécula usada na reação de carboxilação ou na oxigenação.

Alguns estudos evidenciam que as limitações nas taxas de fotossíntese, são altamente dependentes das condições ótimas de temperatura e quantidade de CO_2 . A temperatura age na condutância mesofílica da folha, assim quando há uma maior C_i de CO_2 a V_{max} é maior e o transporte de elétrons necessário para regenerar a Rubisco carboxilada também aumenta até o ponto saturante para fotossíntese limitada pela regeneração da Rubisco (SALVUCCI; CRAFTS-BRANDNER, 2004). Desta forma, acredita-se que o aumento do CO_2 beneficiaria principalmente as plantas tropicais ou plantas de clima quente em relação ao ganho por assimilação de carbono (LONG, 1991; KIRSCHBAUM, 1994, HIKOSAKA; HIROSE, 1998). Uma vez que, esta predição é baseada na cinética de Rubisco sobre a solubilidade do CO_2 e O_2 e na forte supressão da fotorrespiração em concentrações elevadas de CO_2 e temperaturas mais elevadas (LONG, 1991).

4.2.2 Pigmentos Fotossintéticos

O aumento nos teores de clorofilas indica maior eficiência fotossintética, pois estas estão intimamente ligadas à captação de luz no centro de reação do fotossistema II (TAIZ; ZEIGER, 2013). O aumento nos teores de clorofilas $a+b$ para o clone RRIM 600 em elevada $[CO_2]$ também foi observado por Qaderi et al. (2006)

em *Brassica napus* mantidas sob concentrações elevadas de CO₂ a ocorrência de taxas relativamente altas de assimilação fotossintética e conteúdos elevados de clorofila, quando comparadas às plantas mantidas sob baixa concentração de CO₂, sugerindo que a maior disponibilidade de CO₂ promoveu a produção desses pigmentos fotossintetizantes. O mesmo aumento nos teores de clorofilas foi observado por Eller et al. (2012) em clones de *Phragmites australis* mantidos sob 700 ppm de CO₂ e elevadas temperaturas, corroborando com o resultado encontrado.

Entretanto, para o clone FX 3864 os teores dos pigmentos foram semelhantes entre as [CO₂], no entanto somente as plantas crescidas sob 450 ppm de CO₂ apresentaram maior teor de *Chl b* e Clorofilas *a+b* quando mantidas sob alta demanda atmosférica. Porém, este comportamento não acompanhou os resultados referidos as taxas fotossintéticas nas condições tratadas. Desta forma, nota-se que as modificações nas estratégias fotossintéticas das plantas, todavia, não estão associadas, necessariamente somente aos teores de pigmentos fotossintéticos, mas podem estar ligados na reorganização dos cloroplastos nas células do tecido da folha, assim como uma maior expansão foliar (OGUCHI et al., 2006).

5 CONCLUSÕES

Os clones apresentaram maior crescimento, maiores taxas de assimilação líquida de CO_2 e eficiência intrínseca do uso da água com o aumento da concentração de CO_2 , independente das condições microclimáticas.

Através das variáveis respostas de crescimento e fisiológicas fica evidente na presente pesquisa que os clones de seringueira, RRIM 600 e FX 3864, apresentam uma maior sensibilidade às condições do microclima com baixa demanda atmosférica, independente da $[\text{CO}_2]$, visto que, as análises das curvas $A/FFFA$ e A/C_i , os clones apresentam maiores desempenhos fotossintéticos em resposta a luz, assim como maiores taxa de carboxilação da Rubisco e taxa de transporte de elétrons, quando mantidos sob alta demanda atmosférica.

O clone FX 3864 em elevada $[\text{CO}_2]$ apresentou uma maior eficiência de carboxilação, com relação ao RRIM 600, possibilitando assim uma maior capacidade de aclimação com o aumento da $[\text{CO}_2]$.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, M. P. M.; MARTINEZ, C. A.; COSTA, A. C.; COSTA, P. M. F.; DIETRICH, S. M. C.; BUCKERIDGE, M. S. Effect of atmospheric CO₂ enrichment on the establishment of seedlings of jatobá, *Hymenaea courbaril* L. (Leguminosae, Caesalpinioideae). **Biota Neotropica**, v. 2, n. 1, p. 1-10, 2002.

AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. What have we learned from 15 years of free-air CO₂ enrichment (FACE)? A meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO₂. **New Phytologist**, Germany, v. 165, p. 351-372, 2005.

;AINSWORTH, E. A.; ROGERS, A., VODKIN, L. O.; WALTER, A.; SCHURR, U. The effects of elevated CO₂ concentration on soybean gene expression. an analysis of growing and mature leaves. **Plant Physiology**, v. 142, n. 1, p.135-147, 2006.

BERLYN, G. P.; CHO, J. Light, moisture, and nutrient use by plants. In: ASHTON, M.S.; MONTAGNINI, F. (Eds.) **The silvicultural basis for agroforestry systems**. Boca Raton, p.9-39. 2000.

BERNACCHI, C. J.; KIMBALL, B. A.; QUARLES, D. R.; LONG, S. P.; ORT D. R. Decreases in stomatal conductance of soybean under open air elevation of [CO₂] are closely coupled with decreases in ecosystem evapotranspiration. **Plant Physiology**, Illinois, n. 143, p. 134–144, 2007.

CAMARGO. A. P.; MARIN. F.R.; CAMARGO, M. B. P. Zoneamento climático da heveicultura no Brasil. **EMBRAPA-Documentos**, Campinas, p.1-17, 2003.

CURTIS, P. S.; VOGEL, C. S.; WANG, X.; PREGITZER, K. S.; ZAK, D. R.; LUSSENHOP, J.; KUBISKE, M.; TEERI, J. A. Gas Exchange, leaf nitrogen, and growth efficiency os *Populus tremuoides* in a CO₂ enriched atmosphere. **Ecological Applications**. n. 10. p. 3-10, 2000.

DEVAKUMAR, A. S.; SHESHA SHAYEE, M. S.; UDAYAKUMAR, M.; PRASAD, T. G. Effect of elevated CO₂ concentration on seedling growth rate and photosynthesis in *Hevea brasiliensis*. **Journal of Biosciences**, Bangalore, v.23, n. 1, p. 33-36, 1998.

DRAKE, B. G.; JACOB, J.; GONZALEZ-MELER, M. A. Photosynthesis, respiration and global climate change. In: RAGHAVENDRA, A. S. (ed): *Photosynthesis: A comprehensive treatise*. **Cambridge University Press**, n. 187, p. 273-282, 1998.

ELLER, F.; LAMBERTINI, C.; NGUYEN, L. X.; ACHENBACH, L.; BRIX, H. Interactive effects of elevated temperature and CO₂ on two phylogeographically distinct clones of common reed (*Phragmites australis*). **AoB Plants**, v. 5, p. 1-13, 2013.

FARQUHAR, G. D.; VON CAEMMERER, S.; BERRY, J. A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C3 species. **Planta**, v. 149, n. 1, p. 78-90, 1980.

FERRIS, R.; SABATTI, M.; MIGLIETTA, F.; MILLS, R. F.; TAYLOR, G. Leaf area is stimulated in *Populus* by free air CO₂ enrichment (POPFACE), through increased cell expansion and production. **Plant, Cell and Environment**. v. 24, p. 305-315, 2001.

- FERRIS, R.; TAYLOR, G. Elevated CO₂, water relations and biophysics of leaf extension in four chalk grassland herbs. **New Phytologist**, v. 127, p. 297-307, 1994.
- GALBIATI NETO, P.; GUGLIELMETTI, L. C. **Heveicultura, a cultura da seringueira: The book of brazilian rubber**. São Jose do Rio Preto. GRAFISA, 2012. 344p.
- GONÇALVES, P. S. Recomendações de clones de seringueira para o estado de São Paulo. **I ciclo de palestras sobre heveicultura Paulista**. Barretos, 25p. 1998.
- GRANDIS, A. **Respostas fotossintéticas e de crescimento da espécie amazônica *Senna reticulata* sob elevada concentração de CO₂**. 2010, 137 f. Dissertação (Mestrado). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo. São Paulo.
- HIKOSAKA, K.; HIROSE, T. Leaf and canopy photosynthesis of C₃ plants at elevated CO₂ in relation to optimal partitioning of nitrogen among photosynthetic components: theoretical prediction. **Ecological Modelling**, n. 106, p. 247–259, 1998.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>>. Acesso 22 de mar. de 2014.
- KINSMAN, E. A.; LEWIS, C.; DAVIES, M. S.; YOUNG, J. E.; FRANCIS, D.; VILHAR, B.; OUGHAM, H. J. Elevated CO₂ stimulates cell to divide in grass meristems. A differential effect in two natural populations of *Dactylis glomerata*. **Plant, Cell and Environment**, v. 20, p. 1309-1316, 1997.
- KIRSCHBAUM M. U. F.; FARQUHAR G. D. Temperature dependence of whole-leaf photosynthesis in *Eucalyptus pauciflora* Sieb. Ex. Spreng. **Australian Journal of Plant Physiology**, v. 11, p. 519–538, 1984.
- KRAUSE, G. H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: The Basics. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42, p. 313-49, 1991.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos. Rima, 2000. 533p.
- LEAKEY, A. D.; AINSWORTH, E. A.; BERNACCHI, C. J.; ROGERS, A.; LONG, S. P.; ORT, D. R. Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen, and water relations: six important lessons from FACE. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, n.10, p. 2859-2876, 2009.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods of Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.
- LONG S. P. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric carbon dioxide concentrations: has its importance been underestimated? **Plant, Cell and Environment**, n. 14, p. 729–740, 1991.
- MAYORGA, A. Y. **Desenvolvimento e efeito da concentração atmosférica de CO₂ e da temperatura em plantas juvenis de *Hymenaea courbaril* L., jatobá**. 2010, 180 f. Tese (Doutorado). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.
- MARSHALLI, B.; BISCOE, P. V. A model for C₃ leaves describing the dependence of net photosynthesis on irradiance. **Journal of Experimental Botany**, v. 31, p. 29–39, 1980.

- MARROCO, J. P.; BREIA, E.; FARIA, T.; PEREIRA, J. S.; CHAVES, M. M. Effects of longterm exposure to elevated to elevated CO₂ and N fertilization on the development of photosynthetic capacity and biomass accumulation in *Quercus suber* L. **Plant, Cell e Environmet**, n. 25, p. 105-113, 2002.
- MENDES DE SA, C. E.; NEGREIROS, D.; FERNANDES, G. W.; DIAS, M. C.; FRANCO, A. C. Carbon dioxide-enriched atmosphere enhances biomass accumulation and meristem production in the pioneer shrub *Baccharis dracunculifolia* (Asteraceae). **Acta Botanica Brasilica**, n. 28, p. 646-650, 2014.
- MORAES, W. B.; JESUS JUNIOR, W. C de.; MORAES, W. B.; CECÍLIO, R. A. Potenciais impactos das mudanças climáticas globais sobre a agricultura. **Revista Trópica- Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 5, n. 2, 13p, 2011.
- MOTT, K. A. Sensing of atmospheric CO₂ by plants. **Plant Cell and Environment**. v. 13, p. 731-737,1990.
- OGREN, E.; EVANS, J. R. Photosynthetic light response curves. The influence of CO₂ partial pressure and leaf inversion. **Planta**, n.189, p. 182–190, 1993.
- OGUCHI R.; HIKOSAKA K.; HIURA T.; HIROSE, T. Leaf anatomy and light acclimation in woody seedlings after gap formation in a cool-temperature deciduous forest. **Oecologia**, n.149, p. 571-582, 2006.
- PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: ed. Agropecuária, 2002. p. 247-267.
- PILAU. G. F.; MARIN. F. R.; CAMARGO. M. B. P.; ASSAD. E. D.; PINTO. H. S.; BARBARISI. B. F. Zoneamento agroclimático da heveicultura para as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v. 15, n. 2, p. 161-168, 2007.
- POORTER, H.; PÉREZ-SOBA, M. Plant growth at elevated CO₂. In: MOONEY, H. A.; CANADELL, J. G. **Encyclopedia of Global Environmental Change**, v. 2. Chichester: John Wiley & Sons, p. 489-496. 2002.
- POORTER, L. Growth responses of 15-rain forest tree species to a light gradient: the relative importance of morphological and physiological traits. **Functional Ecology**, v. 13, p. 396-410, 1999.
- PRITCHARD, S. G.; ROGERS, H. H.; PRIOR, S. A.; PETERSON, C. M. Elevated CO₂ and plant structure: a review. **Global Change Biology**, v. 5, p. 807 – 837, 1999.
- QADERI, M. M.; KUREPIN, L.V.; REID, D. M. Growth and physiological responses of canola (*Brassica napus*) to three components of global climate change: temperature, carbon dioxide and drought. **Physiologia Plantarum**, v. 128, p. 710 - 721, 2006.
- RANASINGHE, C. S.; TAYLOR, G. Mechanism for increased leaf growth in elevated CO₂. **Journal of Experimental Botany**, n. 47, p. 349-358. 1996.
- SALVUCCI, M. E.; CRAFTS-BRANDNER, S. J. Mechanism for deactivation of Rubisco under moderate heat stress. **Physiologia Plantarum**, v. 122, n. 4, p. 513-519, 2004.
- SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SAGE, R. F. How terrestrial organisms sense, signal, and respond to carbon dioxide. **Integrative and Comparative Biology**, v. 42, n. 3, p. 469-480, 2002.

SAGE, R. F.; WAY, D. A.; KUBIEN, D. S. Rubisco activase, and global climate change. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 7, p. 1581-1595, 2008.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2013. 918p.

CAPÍTULO II

CRESCIMENTO E DE MUDAS CLONAIIS DE *Hevea brasiliensis* Muell. Arg EM DIFERENTES REGIMES TÉRMICOS E DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO

1 INTRODUÇÃO

A *Hevea brasiliensis* é uma espécie altamente cultivada comercialmente em razão da sua grande produção de látex, matéria prima para produção da borracha natural, utilizada na fabricação de diversos artefatos (IRSG, 2013).

Atualmente, as maiores áreas de cultivo estão na Ásia (IRSG, 2013). No Brasil, em função da condição ideal para a ocorrência da doença conhecida como “mal-das-folhas” na Amazônia, região de origem da seringueira, os cultivos migraram para as regiões Centro Oeste e Sudeste, apresentando excelentes adaptações climáticas (GONÇALVES, 1990). Entretanto, alguns clones, mesmo sendo altamente produtivos e resistentes a alguns fatores para uma determinada região, podem não ser para outros locais já que as características de desenvolvimento estão sujeitos às condições do ambiente (MORETI et al., 1994).

Diante das alterações no clima previstas (IPCC, 2014), com o aumento na temperatura do globo, poderão ocorrer secas drásticas, sendo este um dos principais problemas para o cultivo de espécies florestais e agrícolas. Assim, a busca por cultivares resistentes a condições adversas tem sido foco de estudos sobre respostas fisiológicas e desenvolvimento da seringueira, principalmente relacionadas à redução da disponibilidade hídrica. Segundo Larcher (2000), o déficit hídrico afeta diretamente a planta reduzindo a condutância estomática e desidratando o tecido vegetal, no entanto afetando o balanço de calor sensível sobre a planta e ainda diminuindo a absorção de CO₂ e conseqüentemente as taxas fotossintéticas da planta.

Os trabalhos realizados com clones de seringueira focando comportamentos fisiológicos em resposta a deficiência hídrica ainda são escassos no Brasil, entretanto é possível alguns estudos como os de Rocha Neto et al. (1983), Conceição et al., (1986), Cascardo; Oliveira; Soares (1993), Brunini e Cardoso (1998), Cavalcante e Conforto (2006), Latansio-Aidar e Conforto (2008).

Deste modo é de grande valia aprofundar mais em estudos acerca dessas respostas da seringueira a diferentes condições microclimáticas, pois os efeitos causados pelas alterações no clima podem prejudicar a exploração comercial dos cultivares de seringueira, pois as respostas aos fatores ambientais ou a interação deles sobre os vegetais ocorrem principalmente em função de alterações no aparelho fotossintético e ou fluxo de gases (MIGUEL, 2005), prejudicando principalmente o desenvolvimento na fase inicial.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o comportamento de clones de seringueira, RRIM 600 e FX 3864, em fase inicial quando mantidos em microclimas com diferentes demandas atmosféricas e submetidas ao déficit hídrico no solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do estudo e instalação do experimento

O estudo foi desenvolvido entre os meses de setembro a novembro de 2014 no Laboratório de Meteorologia e Ecofisiologia Florestal da Universidade Federal do Espírito Santo, localizado no município de Jerônimo Monteiro, ES (latitude 20°47'25"S e longitude 41°23'48"W, altitude de 120m).

O crescimento de dois clones de *H. brasiliensis* (RRIM 600 e FX 3864) foi avaliado sob condições microclimáticas e regimes hídricos distintos. Assim, dois experimentos foram montados, uma para cada clone, seguindo um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2x2 (duas condições microclimáticas x dois regimes hídricos), com cinco repetições, sendo cada repetição composta por uma planta.

As condições microclimáticas foram simuladas em casas de vegetação climatizadas com controle de temperatura e umidade relativa do ar (como observado na Figura 1 do Capítulo 1). Estabelecendo os dois microclimas contrastantes, sendo um considerado de alta demanda atmosférica (elevada temperatura e déficit de pressão de vapor do ar) e outro com baixa demanda atmosférica, (baixa temperatura baixa e déficit de pressão de vapor do ar).

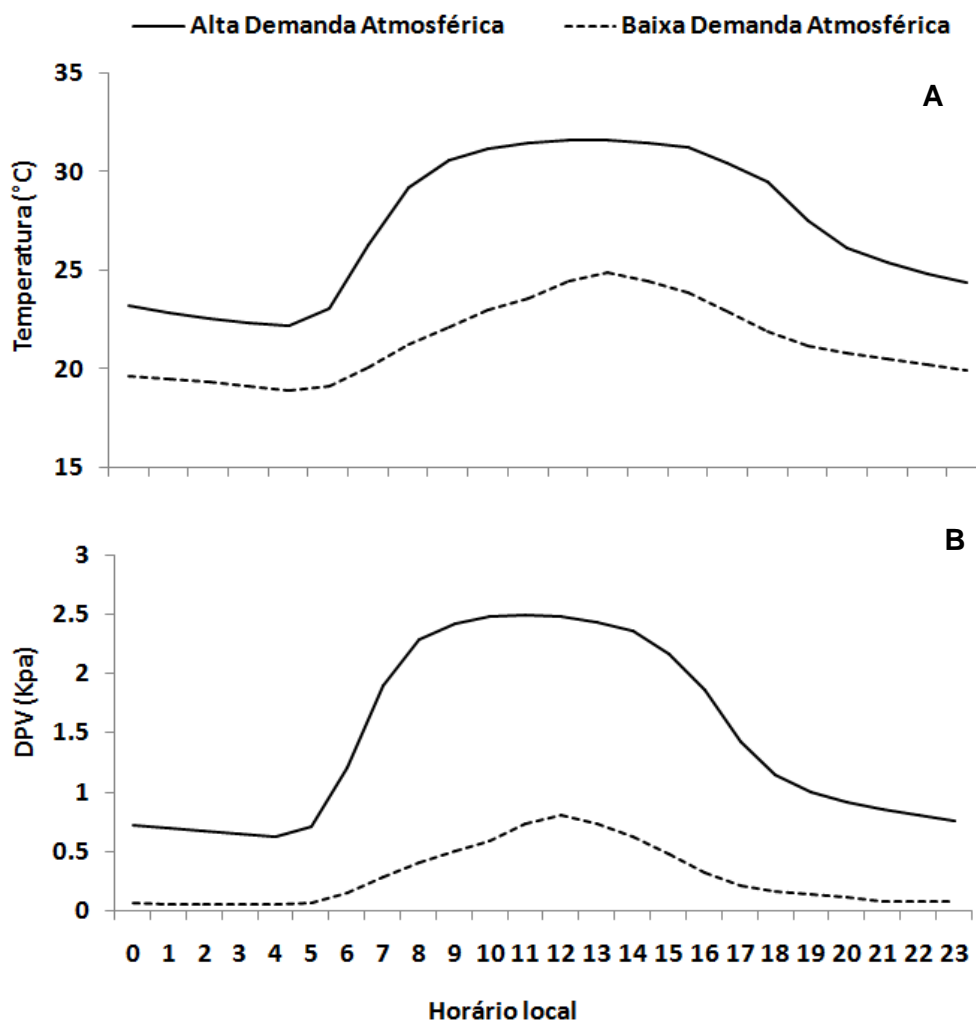
Utilizou-se um regime hídrico com 100% da capacidade de água disponível para a planta (sem déficit hídrico) e um regime hídrico com 50% da capacidade de água disponível para a planta (com déficit hídrico).

2.2 Caracterização microclimática

Para a obtenção dos dados microclimáticos do interior das casas de vegetação, foram instaladas estações meteorológicas automáticas, compostas por sensores de temperatura e umidade relativa do ar (Marca Vaisala, modelo CS500). Os dados foram coletados a partir de um *datalogger* (Campbell Scientific Inc, CR-10x) com leituras de dados a cada 10 segundos e armazenamento a cada 5 minutos. Os dados déficit de pressão de vapor do ar (DPV) foram obtidos a partir da diferença entre os valores pressão de saturação de vapor de água (e_s) e pressão parcial de vapor (e_a), de acordo a Pereira; Angelocci; Sentelhas (2002).

O curso médio diário da temperatura do ar (Figura 10A) e do déficit de pressão de vapor no ar (Figura 10B) evidencia as diferenças contrastantes entre os microclimas.

Figura 10: Curso médio diário da temperatura média do ar (A) e do déficit de pressão de vapor (DPV) (B) em duas casas de vegetação climatizadas simulando microclimas com baixa demanda atmosférica e alta demanda atmosférica no município de Jerônimo Monteiro, ES entre os meses de setembro a novembro de 2014



Durante o período de estudo o microclima com baixa demanda atmosférica apresentou uma temperatura média de 21 °C e DPV médio 0,29 Kpa e uma amplitude térmica diária média de 6 °C. O microclima com alta demanda atmosférica apresentou uma temperatura média de 27 °C e DPV médio 1,49 Kpa com amplitude térmica diária média de 9,5 °C (Tabela 16).

Tabela 16: Média, máxima e mínima de temperatura e déficit de pressão de vapor nos microclimas simulados com baixa demanda atmosférica e alta demanda atmosférica, durante o período dos experimentos em Jerônimo Monteiro, ES entre os meses de setembro a novembro de 2014

Temperatura (°C)	Demanda Atmosférica	
	Baixa	Alta
Máxima	24,9	31,6
Média	21,2	26,9
Mínima	18,9	22,1
DPV (Kpa)		
Máximo	0,81	2,49
Médio	0,29	1,49
Mínimo	0,05	0,63

2.3 Material vegetal

As mudas clonais utilizadas foram produzidas por enxertia na modalidade borbulhia em janela em porta enxertos com 1 ano de idade cultivados via seminal. O material vegetal utilizado foi cedido pela empresa NR Seringueiras, responsável pela produção das mesmas.

As mudas com idade de 120 dias foram transplantadas para vasos de 30 litros com dimensões de 40 cm de altura, 37 cm de diâmetro superior e 32 cm de diâmetro inferior, contendo furos na parte inferior para percolar o excesso de água, estes foram preenchidos com substrato constituído por solo extraído de camadas na profundidade de aproximadamente 20 a 40 cm de um Latossolo Vermelho-Amarelo (60%), areia lavada (30%) e composto de casca bioestabilizada de pinus (10%).

Foi realizada uma análise química e granulométrica do solo, obtendo-se a classificação textural como Franco Argilo Arenoso (Tabela 15).

As mudas necessitaram de adubação, sendo que a primeira foi feita aos 15 dias após o início do experimento e as demais seguiram o mesmo período. Para cada vaso aplicou-se 3 gramas de N-P-K com formulado 19-6-10 e 0,65 mL de magnésio diluídos em 50 mL de água.

Tabela 15: Análise química e física do substrato utilizado no experimento.

Camada (cm)	Química							Física				
	pH	P	K	Na	Mg	Al	Ca	M.O	Argila	Silte	Areia	Densidade
	H ₂ O	mg dm ⁻³			cmol dm ⁻³			g kg ⁻¹		(%)		g cm ⁻³
20-40	5,9	23	68	11	1	0	1,4	9	35	2	63	0,61

2.4 Regimes hídricos

Para a determinação da lâmina de água no solo, realizou-se a curva de retenção de água no solo, segundo EMBRAPA (1997), onde se obteve a umidade gravimétrica (U), correspondendo às tensões de 0,010 MPa para capacidade de campo e 1,5 MPa para ponto de murcha permanente.

A água disponível (AD) encontrada foi de 11%, calculada a partir dos valores da umidade volumétrica na curva de retenção do substrato na capacidade de campo (CC) em 24% determinada na tensão de 0,010 MPa e para o ponto de murcha (PMP) 13% na tensão 1,5 MPa, utilizando a seguinte expressão: $AD=CC-PMP$ (CENTURION; ANDREOLI, 2000).

Após os 15 dias de aclimação, os vasos foram submetidos à saturação hídrica e previamente ficaram sem rega até a drenagem completa da água gravitacional, em seguida os mesmos foram pesados para determinação do peso na capacidade de campo, para posteriormente determinar os pesos dos vasos com seus respectivos níveis de água.

As mudas foram submetidas aos tratamentos sem déficit (100% da água disponível) e com déficit (50% da água disponível) no solo. Quando o nível de 50% foi atingido, manteve-se esse valor constante, realizando apenas a reposição da água para que o solo mantivesse com esse nível de água. A reposição de água foi controlada através de pesagens diária dos vasos, utilizando balança com precisão de 10g.

2.5 Avaliação do crescimento das plantas

Ao final dos experimentos, 67 dias, em todas as plantas, avaliou-se a área foliar e a massa seca de folhas, caule e raízes. Para a determinação da área foliar, utilizou-se um medidor de área foliar (LI-COR, LI 3100) e a massa seca foi obtida após a secagem das folhas, caule e raízes que foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada a uma temperatura de 75 °C durante 72 horas.

A partir dos dados de massa seca de folhas, haste e raízes, calcularam-se massa seca total (MST em g) - neste caso é importante destacar que não se considerou os valores de massa seca do porta enxerto devido a grande variação de tamanho entre eles para o processo de enxertia; a fração de massa foliar, FMF (g de

massa seca foliar por g de massa seca total), fração de massa radicular, FMR (g de massa seca radicular por g de massa seca total) e fração de massa seca da parte aérea, FMPA (g de massa seca de folhas + g de massa seca de caule por g de massa seca total).

Considerando os dados de área foliar total e massa foliar, calculou-se a área foliar específica, AFE (área total em cm² por g de massa foliar).

2.6 Análises fisiológicas

2.6.1 Avaliação das trocas gasosas

Aos 62 dias de experimentação, determinou-se a taxa fotossintética líquida (A), a taxa de transpiração por unidade foliar (E), a condutância estomática (g_s) e a concentração interna de CO₂ (C_i), com auxílio de um analisador de gás por infravermelho portátil (IRGA, Li-Cor, modelo LI-6400) com fonte luminosa fixa em 1500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de intensidade de radiação fotossinteticamente ativa.

As medições foram realizadas entre 9:00 e 10:30 horas, em folhas totalmente expandidas, localizadas no terço superior da copa, totalizando cinco repetições por tratamento, sendo que cada repetição era composta por uma folha.

A partir dos dados de trocas gasosas, calculou-se a eficiência do uso da água instantânea, dada pela razão entre A/E , e a eficiência intrínseca do uso da água, dada pela razão entre A/g_s .

2.6.2 Determinação dos teores dos pigmentos fotossintéticos

A extração e quantificação dos teores de Clorofila *a*, clorofila *b* e carotenóides foram obtidas aos 66 dias de experimentação, através de folhas coletadas do terço superior externo das plantas, em quatro repetições. As folhas quando retiradas das plantas foram alocadas em sacos de papel alumínio identificados conforme o tratamento, estes foram imediatamente acondicionados em caixas de isopor e posteriormente alocadas em freezer até a análise.

Os pigmentos foram extraídos de 80 mg de folha maceradas em acetona a 80% e suas concentrações foram determinados pela absorvência dos extratos em diferentes comprimentos de ondas (470 nm, 646,8 nm e 663,2 nm) em um

espectrofotômetro de luz. Com os valores obtidos foram calculados os teores de cada pigmento em g kg^{-1} , como descrito em Lichtenthaler, (1987), conforme as equações listadas abaixo. A partir dos dados obtidos, calcularam-se as razões clorofila a/clorofila b, clorofila a+b/carotenóides.

$$\text{Clorofila a} = C_a = 12,25 A_{663,2} - 2,79 A_{646,8}$$

$$\text{Clorofila b} = C_b = 21,50 A_{646,8} - 5,10 A_{663,2}$$

$$\text{Clorofilas totais} = C_{(a+b)} = 7,15 A_{663,2} + 18,71 A_{646,8}$$

$$\text{Carotenóides}_{(\text{xantofilas}+\text{carotenos})} = (1000 A_{470} - 1,82 C_a - 85,02 C_b)/198$$

A= absorvência no comprimento de onda indicado

2.7 Delineamento experimental e Análise estatística dos dados

Os dados foram submetidos a análise de variância (teste F) e as médias entre os tratamentos, quando necessário, foram comparadas pelo teste Tukey ($P \leq 0,05$) usando o *software* ASSISTAT 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2002).

3 RESULTADOS

3.1 Resumo da análise de variância

3.1.2 Clone RRIM 600

Por meio da análise de variância do efeito dos fatores estudados e da sua interação (Tabela 17), verifica-se que de todas as variáveis analisadas (18) algumas delas (*FMPA*, *A/gs*, *Chl b*, *Car*, *Chl a/b*, *Chl a+b/Car*) não apresentaram interação significativa do efeito dos fatores regime hídrico e microclima.

As variáveis relacionadas ao crescimento diferiram grandemente entre os regimes hídricos, sendo as maiores proporções de variação explicadas em 92% para *MST*, 82% para *FMF* e 78% para *AF*, contudo o fator microclima explica em menor proporção essas mesmas variáveis, porém com alta significância ($p < 0,01$).

Do conjunto trocas gasosas, nota-se que o fator regime hídrico também explica em maior proporção todas as variáveis, entretanto somente *A*, *E* e *Ci* apresenta grande diferenciação ocasionada pelo efeito do microclima.

Nota-se que as variáveis correspondentes aos pigmentos somente *Chl a*, *Chl b*, *Chl a+b* e a razão *Chl a+b/Car* são diretamente influenciadas pelo fator regime hídrico, todavia o efeito do microclima só é observado quando há interação entre os fatores, como observado para *Chl a* e *Chl a+b*.

3.1.3 Clone FX 3864

Das variáveis estudadas para o clone FX 3864 (Tabela 18), poucas não apresentaram efeito significativo da interação dos fatores regime hídrico e microclima, as quais foram *AFE*, *A/E*, *Chl b*, *Car* e *Chl a/b*.

Do conjunto crescimento, observa-se que os fatores regime hídrico e microclima atuaram significativamente para diferenciação das variáveis, exceto para *AFE*. Por outro lado, observa-se que das variáveis correspondentes às trocas gasosas, o fator regime hídrico explica com maior significância com relação ao microclima. Entretanto, os pigmentos não apresentaram efeito do microclima, porém o fator regime hídrico atua significativamente na *Chl a*, *Chl a+b*, *Chl a/b* e *Chl a+b/Car*.

Tabela 17: Efeito dos fatores: Regimes Hídricos ($n=2$), Microclimas ($n=2$) e da interação entre os fatores, em variáveis de crescimento, trocas gasosas e de pigmentos de mudas do clone RRIM 600 de acordo a análise de variância (ANOVA).

Variáveis	Fatores		Interação RH x M	R^2	CV (%)	
	Regime Hídrico (RH)	Microclima (M)				
Crescimento	<i>MST</i>	92,4**	0,77**	5,47**	98,6	4,3
	<i>AF</i>	78,3**	13,5**	1,36*	93,1	13,0
	<i>AFE</i>	34,5**	21,3**	12,2*	68,0	19,4
	<i>FMF</i>	82,2**	1,0 ^{ns}	3,3*	86,5	13,4
	<i>FMR</i>	6,1 ^{ns}	8,7 ^{ns}	25,3*	40,1	10,6
	<i>FMPA</i>	77,5**	16,1**	0,04 ^{ns}	93,7	7,5
Trocas Gasosas	<i>A</i>	94,4**	2,4**	1,4**	98,2	6,6
	<i>gs</i>	87,4**	0,1 ^{ns}	2,7*	90,1	21,4
	<i>E</i>	86,2**	9,2**	1,3*	96,7	7,3
	<i>Ci</i>	41,8**	25,8**	5,5*	73,1	6,3
	<i>A/E</i>	79,6**	0,2 ^{ns}	4,5*	84,3	8,3
	<i>A/gs</i>	23,5*	0,3 ^{ns}	0,0 ^{ns}	23,7	26,5
Pigmentos	<i>Chl a</i>	71,3**	4,5 ^{ns}	7,5*	83,3	5,9
	<i>Chl b</i>	34,8*	6,17 ^{ns}	3,17 ^{ns}	44,1	17,7
	<i>Chl a+b</i>	83,1**	0,3 ^{ns}	1,4*	84,9	5,5
	<i>Car</i>	12,0 ^{ns}	2,0 ^{ns}	6,8 ^{ns}	20,8	18,8
	<i>Chl a/b</i>	2,0 ^{ns}	14,0 ^{ns}	14,7 ^{ns}	30,7	24,6
	<i>Chl a+b/car</i>	54,2**	11,5 ^{ns}	3,5 ^{ns}	69,2	17,9

As proporções de variância são explicadas pela relação da Soma do quadrado da variável/Soma do quadrado total e o nível de significância avaliado pelo teste F (* $p<0,05$, ** $p<0,01$, ^{ns} $p<0,05$) para cada fator e a interação. A variabilidade dos dados em relação à média é representada pelo coeficiente de variação CV, e a proporção da variância total é explicada pelo R^2 .

Tabela 18: Efeito dos fatores: Regimes Hídricos ($n=2$), Microclimas ($n=2$) e da interação entre os fatores, em variáveis de crescimento, trocas gasosas e de pigmentos de mudas do clone FX 3864 de acordo a análise de variância (ANOVA).

Variáveis	Fatores		Interação RH x M	R^2	CV (%)	
	Regime Hídrico (RH)	Microclima (M)				
Crescimento	MST	78,1**	0,71ns	15,6**	94,4	9,1
	AF	84,2**	5,9**	6,7**	96,8	9,9
	AFE	14,5 ^{ns}	15,9 ^{ns}	0,0 ^{ns}	30,4	21,6
	FMF	7,2*	21,9**	49,9**	79,0	18,0
	FMR	77,5**	16,1**	0,13*	93,7	2,9
	FMPA	37,2**	51,5**	0,14*	88,8	10,5
Trocas Gasosas	A	95,4**	1,1*	0,8*	97,3	7,9
	gs	66,8**	0,7 ^{ns}	12,1**	79,6	23,1
	E	70,8**	4,3 ^{ns}	7,1*	82,2	17,3
	Ci	15,7*	20,3**	34,1**	70,1	3,7
	A/E	43,0**	3,8 ^{ns}	3,7 ^{ns}	50,5	16,6
	A/gs	6,2 ^{ns}	0,5 ^{ns}	30,0*	36,7	20,3
Pigmentos	Chl a	82,4**	0,5 ^{ns}	7,25*	90,1	5,7
	Chl b	25,5 ^{ns}	1,2 ^{ns}	0,6 ^{ns}	27,3	13,8
	Chl a+b	77,5**	1,6 ^{ns}	6,2*	85,3	5,9
	Car	2,2 ^{ns}	0,1 ^{ns}	17,2 ^{ns}	19,5	17,9
	Chl a/b	28,2*	1,8 ^{ns}	6,6 ^{ns}	36,6	13,4
	Chl a+b/car	43,3**	1,3 ^{ns}	19,7*	64,3	15,6

As proporções de variância são explicadas pela relação da Soma do quadrado da variável/Soma do quadrado total e o nível de significância avaliado pelo teste F (* $p<0,05$, ** $p<0,01$, ^{ns} $p<0,05$) para cada fator e a interação. A variabilidade dos dados em relação à média é representada pelo coeficiente de variação CV, e a proporção da variância total é explicada pelo R^2 .

3.2 Crescimento

3.2.1 Clone RRIM 600

A redução em 50% na água disponível para as plantas condicionou significativamente menores valores de *MST*, e *AF* e reduziu o acúmulo da *FMF* e direcionando maior acúmulo de biomassa para *FMR*, além de aumentar *AFE*, independente da condição microclimática (Tabela 19).

No entanto, analisando o efeito do fator microclima dentro de cada regime hídrico (Tabela 19), verificou-se que as plantas sem déficit hídrico apresentam maior *MST*, *FMPA* e *AF* quando mantidas sob alta demanda atmosférica. Às plantas com déficit hídrico, tiveram o acúmulo de biomassa reduzido no microclima com alta demanda atmosférica, diminuindo a *MST* e *FMF*. Entretanto, mesmo com a redução de 50% da água disponível no solo, as plantas aumentaram a *AFE* (Tabela 19).

Tabela 19: Valores médios ($n = 5$) da Massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPa), massa seca da raiz (MSR), relação raiz e parte aérea (MSR/MSPa) e área foliar (AF) do clone RRIM 600 submetido a dois regimes hídricos e diferentes microclimas, em Jerônimo Monteiro, ES.

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	Sem déficit	Com déficit	Sem déficit	Com déficit
MST (g)	48,70 Ba*	29,13 Ab	57,47 Aa	25,14 Bb
AF (cm²)	391,14 Ba	261,42 Ab	536,40 Aa	236,74 Ab
AFE (cm² g⁻¹)	44,74 Bb	53,03 Ba	48,64 Ab	81,41 Aa
FMF (g g⁻¹)	0,21Aa	0,16 Ab	0,19 Aa	0,11Bb
FMR (g g⁻¹)	0,68 Ab	0,72 Aa	0,63 Ab	0,75 Aa
FMPA (g g⁻¹)	0,32 Ba	0,28 Aa	0,37Aa	0,25 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre um mesmo regime hídrico, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre os regimes hídricos dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

3.2.2 Clone FX 3864

O efeito do déficit hídrico, independente da condição microclimática, reduziu a *MST*, *AF*, *FMF* e *FMPA*. No entanto, os valores da *AFE* nas plantas com déficit não foram significativos (Tabela 20).

A baixa demanda atmosférica proporcionou às plantas, em ambos regimes hídrico, aumento significativo na *MST*, elevando a alocação de *MSF*. Contudo, independente do regime hídrico, as plantas que foram mantidas sob alta demanda atmosférica apresentaram maiores valores *FMPA* em relação às mantidas sob baixa demanda (Tabela 20).

Tabela 20: Valores médios ($n = 5$) da Massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPa), massa seca da raiz (MSR), relação raiz e parte aérea (MSR/MSPa) e área foliar (AF) do clone FX 3864 submetido a dois regimes hídricos e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	Sem déficit	Com déficit	Sem déficit	Com déficit
MST (g)	40,2 Aa*	32,9 Ab	34,1 Ba	24,4 Bb
AF (cm²)	271,2 Aa	150,44 Ab	268,48 Aa	144,99 Ab
AFE (cm² g⁻¹)	37,58 Aa	44,23 Aa	30,8 Aa	37,15 Aa
FMF (g g⁻¹)	0,26Aa	0,16Ab	0,18Ba	0,07Bb
FMR (g g⁻¹)	0,72Aa	0,73Aa	0,61Bb	0,81Aa
FMPA (g g⁻¹)	0,28Ba	0,17Bb	0,39 Aa	0,19Ab

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre um mesmo regime hídrico, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre os regimes hídricos dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

3.3 Trocas gasosas

3.3.1 Clone RRIM 600

Avaliando o efeito dos regimes hídricos dentro das condições de cada microclima, observou-se que os tratamentos com déficit hídrico apresentaram redução de quase 50% nas taxas A , g_s , E , em ambos microclimas. A C_i de CO_2 apresentou valores maiores nas plantas sob déficit hídrico em relação as sem déficit, porém só foi significativo sob a baixa demanda atmosférica (Tabela 21).

Verificou-se que não houve diferenças significativas entre os microclimas, independente do regime hídrico, na g_s , A/E , A/g_s e C_i para este clone (Tabela 21). Porém, o microclima com alta demanda atmosférica proporcionou aumento em A e E nas plantas sem déficit e uma redução nas plantas com déficit.

Tabela 21: Valores médios ($n=5$) da Taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca da água (A/g_s) e concentração interna de CO_2 (C_i) do clone RRIM 600 submetidos a diferentes regimes hídricos e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	Sem déficit	Com déficit	Sem déficit	Com déficit
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	11,52Ba*	6,60Ab	12,75Aa	4,19Bb
g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,21Aa	0,09Ab	0,25Aa	0,06Ab
E ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	3,37Ba	1,32Ab	3,74Aa	1,14Bb
A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	3,42Ab	5,00Aa	3,40Ab	3,75Aa
A/g_s ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	54,85 Aa	73,33Aa	51,83Aa	69,83Aa
C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$)	292,44Ab	325,42Aa	298,14Aa	317,31Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre um mesmo regime hídrico, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre os regimes hídricos dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

3.3.2 Clone FX 3864

Independente do microclima, as plantas com déficit hídrico diminuíram significativamente as taxas de A , g_s e E . Enquanto, as demais variáveis, apenas a C_i das plantas com déficit foi maior sob baixa demanda atmosférica (Tabela 22).

As plantas sem déficit hídrico apresentaram aumento em A , g_s e E quando mantidas em alta demanda atmosférica, enquanto as com déficit hídrico foram semelhantes entre os microclimas.

Os valores da A/g_s foram semelhantes para os dois regimes hídricos, havendo diferenças apenas na A/E para as plantas com déficit, apresentando maior valor no microclima com alta demanda atmosférica. A C_i das plantas sem déficit não apresentou alterações estatísticas entre os microclimas, porém as com déficit, sob alta demanda a C_i foi maior.

Tabela 22: Valores médios ($n=5$) da Taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca da água (A/g_s) e concentração interna de CO_2 (C_i) do clone Fx 3864 submetidos a diferentes regimes hídricos e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	Sem déficit	Com déficit	Sem déficit	Com déficit
A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	11,11Ba*	4,55Ab	12,60Aa	4,67Ab
g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	0,21Ba	0,13Ab	0,28Aa	0,09Ab
E ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)	2,96Ba	1,85Ab	3,88Aa	1,74Ab
A/E ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	3,82Aa	2,69Aa	3,30Aa	2,65Aa
A/g_s ($\mu\text{mol mmol}^{-1}$)	55,11Aa	37,8Ba	44,86Aa	51,35Aa
C_i ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$)	295,07Ab	332,17Aa	280,10Aa	292,99Ba

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre um mesmo regime hídrico, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre os regimes hídricos dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

3.4 Pigmentos Fotossintéticos

3.4.1 Clone RRIM 600

As comparações feitas entre os teores dos pigmentos fotossintéticos do clone RRIM 600 estão apresentados na tabela 15. Notou-se que os teores de *Chl a* e *Chl a+b* foram significativamente reduzidos nas plantas com déficit hídrico, quando avaliou-se o seu efeito em cada condição microclimática. E também observou-se que, em condição de déficit hídrico, as plantas sob alta demanda atmosférica apresentaram menores teores de *Chl b*. Entretanto, não houve diferenças significativas entre os microclimas em relação aos teores dos pigmentos fotossintéticos em ambos os regimes hídricos.

Tabela 23: Valores médios ($n=4$) dos pigmentos clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), clorofilas totais (Chl a+b) e carotenóides (Car), razão entre clorofila a e b (Chl a/b) e razão entre clorofilas totais e carotenóides (Chl a+b/Car) do clone RRIM 600 submetidos a diferentes regimes hídricos e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	Sem déficit	Com déficit	Sem déficit	Com déficit
Chl a (g Kg⁻¹ MF)	11,38 Aa*	8,48 Ab	11,22 Aa	9,74 Ab
Chl b (g Kg⁻¹ MF)	4,54 Aa	3,86 Aa	4,42 Aa	3,16 Ab
Chl a+b (g Kg⁻¹ MF)	15,92Aa	12,34Ab	15,65Aa	12,91Ab
Car (g Kg⁻¹ MF)	3,29 Aa	3,19 Aa	3,11 Aa	2,36 Aa
Chl a/b	2,57Aa	2,24 Aa	2,56 Aa	3,28 Aa
Chl a+b/car	5,28 Aa	3,76 Aa	6,72 Aa	4,16 Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre um mesmo regime hídrico, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre os regimes hídricos dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$).

3.4.2 Clone FX 3864

Através da análise dos teores dos pigmentos fotossintéticos do clone FX 3864 listados na tabela 16, verificou-se que não houve diferenças significativas entre as plantas sem déficit e com déficit, quando comparamos os microclimas.

Porém, notou-se que as plantas com déficit apresentaram, independente do microclima, menores teores de *Chl a* e redução nas *Chl a+b*. E neste mesmo tratamento, a razão *Ch a+b/Car* foi significativamente menor, contudo somente no sob baixa demanda atmosférica.

Tabela 24: Valores médios ($n=4$) dos pigmentos clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b), clorofilas totais (Chl a+b) e carotenóides (Car), razão entre clorofila a e b (Chl a/b) e razão entre clorofilas totais e carotenóides (Chl a+b/Car) do clone FX 3864 submetido a diferentes regimes hídricos e diferentes microclimas

	Baixa Demanda Atmosférica		Alta Demanda Atmosférica	
	Sem déficit	Com déficit	Sem déficit	Com déficit
Chl a (g Kg⁻¹ MF)	12,68 Aa*	8,69 Ab	11,52 Aa	9,36 Ab
Chl b (g Kg⁻¹ MF)	3,98 Aa	3,49 Aa	4,15 Aa	3,56 Aa
Chl a+b (g Kg⁻¹ MF)	17,17Aa	12,69Ab	15,67Aa	13,18Ab
Car (g Kg⁻¹ MF)	2,66 Aa	3,23 Aa	3,04 Aa	2,78 Aa
Chl a/b	3,18 Aa	2,53 Aa	2,85 Aa	2,63 Aa
Chl a+b/car	6,45 Aa	3,92 Ab	5,16 Aa	4,67Aa

*Para as mesmas variáveis, entre os microclimas, médias seguidas por uma mesma letra maiúscula não são significativamente diferentes entre um mesmo regime hídrico, e médias seguidas por uma mesma letra minúscula não são significativamente diferentes entre os regimes hídricos dentro de cada microclima. As médias foram comparadas pelo teste Tukey ($P<0,05$)..

4 DISCUSSÃO

4.1 Crescimento

A redução de 50% da água disponível no solo, independente da condição microclimática, reduziu a área foliar e o acúmulo da biomassa total dos clones de seringueira, modificando seu particionamento de carbono, uma vez que reduziu a alocação de fotoassimilados para a parte aérea da planta e direcionando-os para o desenvolvimento das raízes. Todavia, a partir dos valores observados da variável massa seca total, nota-se que o impacto da redução da disponibilidade hídrica no solo foi menor para o clone FX 3864.

A redução no crescimento para o clone FX 3864 foi em torno de 18% em baixa demanda e 28% em alta demanda atmosférica, já o clone RRIM 600 o crescimento foi reduzindo em torno de 40% em baixa demanda e 56% em alta demanda atmosférica. Desta forma, o clone RRIM 600 apresenta uma maior sensibilidade ao déficit hídrico, independente do microclima.

Alguns estudos reforçam os resultados encontrados para os clones de seringueira, evidenciando efeito do déficit hídrico principalmente na redução foliar e partição de assimilados para folhas (CONCEIÇÃO et al., 1985; CONFORTO, 2007). A redução na área foliar em plantas sob déficit hídrico pode se traduzir uma estratégia de sobrevivência, com o intuito de diminuir a área disponível à transpiração (CORREIA; NOGUEIRA, 2004).

Baixas taxas no crescimento, maior razão de alocação raízes: parte aérea, menor aquisição de nutrientes e a renovação de tecidos são normalmente características esperadas de plantas submetidas ao déficit hídrico (LAMBERS; POTER, 1992; ACHTEN et al., 2010). O desenvolvimento radicular elevado sugere tolerância ao estresse, conforme verificado por FERTENE e FELEKE (2001). Essas modificações na partição de assimilados podem estar associadas à produção do ácido abscísico (ABA), que induz o crescimento da raiz, estimulando a emergência de raízes laterais para melhor absorção de água, suprimindo o crescimento foliar (NETTING, 2000).

O crescimento do clone RRIM 600 é potencializado quando há disponibilidade hídrica no solo mesmo sob alta demanda atmosférica, uma vez que apresentaram maior acúmulo em biomassa total, alocando mais na parte aérea da planta nestas condições. Neste sentido o que reforça esse comportamento do clone em temperaturas mais elevadas, é justamente a adaptabilidade desses genótipos a

climas mais secos e quentes, como observado por Vijayakumar et al. (1998) onde afirmaram que esse clone apresenta crescimento compensatório em períodos chuvosos, entretanto em temperaturas elevadas quando são bem irrigados, esse crescimento também é observado. Todavia, o clone FX 3864 apresentou-se mais intolerante ao microclima com alta demanda atmosférica, reduzindo seu crescimento. Diante desses resultados, observa-se que os clones possuem adaptabilidades distintas, sendo o clone RRIM 600 sensível a temperaturas amenas, no caso em torno de 21 °C, entretanto o clone FX 3864 apto a essa condição.

Entretanto, o efeito negativo do déficit hídrico no solo foi atenuado quando os clones foram submetidos a alta demanda atmosférica, apresentando redução no crescimento. O potencial hídrico da planta é altamente reduzido devido ao maior fechamento estomático a fim de evitar a perda de água por transpiração, entretanto esse mecanismo se torna mais intenso sob temperaturas mais elevadas (LARCHER, 2000). Assim, o influxo de carbono é reduzido e conseqüentemente há redução no crescimento da planta, isso ocorre devido o aumento da atividade oxigenase da enzima ribulose-bifosfato-carboxilase-oxigenase (Rubisco), e conseqüente estímulo da fotorrespiração (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Com relação ao aumento na área foliar específica dos clones submetidos ao déficit hídrico, não está condizente ao descrito na literatura. Uma vez que, folhas que se desenvolvem sob condições de suprimento hídrico deficiente são geralmente menores, fortemente subdivididas e apresentam menor área foliar específica (LAECHER, 2000; BACELAR et al. 2006). Desta forma, o aumento da área foliar específica dos clones está ligada proporcionalmente a diminuição da massa foliar e não devido a redução na área foliar.

Segundo Martins et al. (1993), as características da copa da seringueira são importantes no equilíbrio hídrico da árvore, uma vez que as superfícies de transpiração são determinadas pela área foliar. O clone RRIM 600 apresentou efeito direto com o aumento da temperatura no alongamento foliar, aumentando a área foliar específica e a total, principalmente das plantas sem déficit hídrico, e conseqüentemente observou-se que a taxas transpiratórias desse clone sob alta demanda atmosférica também foram maiores.

Deste modo, diante do exposto, o melhor entendimento da aquisição de carbono para conversão em biomassa pela planta e das respostas fisiológicas às mudanças nas variáveis ambientais, notadamente a demanda evaporativa da atmosfera, é fundamental para prever o crescimento florestal e para a seleção

mais precisa de espécies para plantios em áreas com condições adversas (NGUGI et al., 2004).

4.2 Respostas Fisiológicas

4.2.1 Trocas gasosas

O déficit hídrico em ambos os clones reduziu suas taxas de fotossíntese, assim como também condutância estomática e transpiração, tendendo a aumentar a concentração interna de CO₂. Comportamentos semelhantes para clones de seringueira foram observados em estudos que avaliam variação das trocas gasosas com redução da disponibilidade hídrica no solo (KRISHNA et al., 1991; NATARAJA; JACOB, 1999; CAVALCANTE; CONFORTTO, 2006). Evidenciando assim, a grande susceptibilidade da espécie ao déficit hídrico no solo.

O fechamento dos estômatos é a primeira linha de defesa da planta para enfrentar a deficiência hídrica do solo, pois este mecanismo restringe a perda de água por meio da transpiração. A redução na condutância e na transpiração contribuiu para aperfeiçoar a eficiência do uso da água nas plantas, como observado para o clone RRIM 600. Resultado semelhante ao encontrado por Rocha Neto et al. (1983) e Coutinho e Conforto (2001), que observaram maior eficiência no uso da água de clones de seringueira quando mantidos sob períodos secos. Todavia, ao mesmo tempo em que esse processo ocorre, também há queda na assimilação de CO₂, por meio do processo fotossintético, isso devido a redução do influxo de carbono (MAGALHÃES FILHO et al., 2008).

O aumento na *C_i* de CO₂, verificado em efeito do estresse hídrico, não é uma resposta consensual, pois são relatados aumentos, diminuições e, até mesmo, manutenção de valores constantes, em diferentes plantas (KRISHNA et al., 1991; CALBO; MORAES, 1997). Entretanto, os valores de *C_i* para os dois clones tenderam a aumentar nas plantas com déficit hídrico, e isso pode estar relacionado à queda da atividade das enzimas envolvidas no processo de fixação do CO₂, devido ao dessecamento da maquinaria fotossintética, além de queda na taxa de regeneração da Rubisco (TEZARA et al., 2002).

As taxas de fotossíntese de ambos os clones sem déficit foram aumentadas quando mantidos sob alta demanda atmosférica, aumentando também taxas de transpiração e condutância estomática, entretanto a eficiência no uso da água não apresentou alterações significativas. De acordo a Krishna et al. (1991), a seringueira

possui alta taxa assimilatória de CO₂, mesmo sob temperaturas elevadas, isso devido a sua grande transpiração cuticular. Cavalcante e Conforto (2002) observaram que mesmo em períodos quentes, clones de seringueira apresentaram taxas fotossintéticas maiores quando mantidos irrigados. Já Nataraja e Jacob (1999), avaliando diferenças entre clones verificaram uma variação de 10,8 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ a 14,7 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, ficando evidente que não há muitas variações na fotossíntese de clones de seringueira, quando estes são bem irrigados mesmo em um ambiente com temperatura elevada.

Quanto às plantas com déficit hídrico, no geral, os clones tenderam a amenizar os efeitos do déficit hídrico sobre as trocas gasosas, mas só o RRIM 600 aumentou significativamente a fotossíntese quando mantido sob baixa demanda atmosférica. Isso ocorre devido ao aumento da disponibilidade hídrica do ar, uma vez que este não apresenta déficit hídrico atmosférico, possibilitando a planta abrir parcialmente seus estômatos possibilitando maior influxo de carbono. Entretanto em condições de DPV alto, a redução na capacidade de assimilação de CO₂ se tornou ainda mais intensa. Quanto maior o DPV, maior a tendência da planta perder água, isso ocorre porque, no ar o gradiente de difusão que move a perda de água é aproximadamente 50 vezes maior do que o gradiente que promove a absorção de CO₂ (TAIZ; ZEIGER, 2013). Assim, o DPV é uma variável que impulsiona a transpiração e altos valores ao longo do dia, causam fechamento estomático e redução no crescimento da planta (MACFARLANE; WHITE; ADAMS, 2004).

4. 2.2 Pigmentos fotossintéticos

Os dois clones apresentaram redução significativa dos teores de *Chl a* nas plantas com déficit hídrico, afetando os teores de clorofilas totais. Esse comportamento foi observado em ambas condições microclimáticas. O decréscimo acentuado dos pigmentos fotossintéticos é comumente observado em plantas sob déficit hídrico (DIN et al., 2011; ASHARAF; HARRIS, 2013), sendo um bom indicador de estresse oxidativo. A diminuição dos pigmentos pode ser resultado da degradação da clorofila ou devido à deficiência na síntese de clorofila em conjunto com as alterações na estrutura das membranas dos tilacóides (ANJUN et al., 2011). Assim, sugere que a causa da redução nos teores de clorofilas foi devido a danos nas membranas do tilacóide e não a degradação da clorofila, pois não foi observado

amarelamento nas folhas de ambos os clones de seringueira, uma vez que as folhas quando ficam amareladas é indicativo de degradação.

Esse dano na membrana do tilacóide fica evidente devido a redução na *Chl a*, pois esta é responsável pela realização da fotoquímica (STREIT et al., 2005), pois está ligada ao complexo de antena, coletando luz e transferindo a energia para o complexo dos centros de reação (TAIZ; ZEIGER, 2013). Este fato contribui para capacidade fotossintética, em virtude da redução da eficiência de absorção de luz no fotossistema I e II (ASHARAF; HARRIS, 2013).

Com essa diminuição nas clorofilas era esperado que os teores de carotenóides fossem maiores, na tentativa de minimizar os danos à membrana dos tilacóides, entretanto não foi observada nenhuma diferença significativa entre os tratamentos para esses clones.

5 CONCLUSÕES

A redução de 50% da água disponível no solo para os clones RRIM 600 e FX 3864, foi suficiente para reduzir o crescimento, taxa de assimilação líquida de CO₂, área foliar e clorofilas totais. Demonstrando a grande suscetibilidade dos clones ao déficit hídrico. Entretanto, o clone FX 3864 mostrou-se mais tolerante à redução na disponibilidade hídrica em relação ao clone RRIM 600.

Os danos do déficit hídrico nos clones são intensificados quando foram mantidos sob alta demanda evaporativa da atmosfera.

Com água no solo, o clone RRIM 600 se mostrou sensível a baixa demanda atmosférica, apresentando maior crescimento sob alta demanda atmosférica e, o clone FX 3864 mostrou-se sensível a essas mesmas condições, uma vez que reduziu seu crescimento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHTEN W. M. J.; MAES M. H.; REUBENS B.; MATHIJS, E.; SINGH, V. P.; VERCHOT, L.; MUYS B. Biomass production and allocation in *Jatropha curcas* L. seedlings under different levels of drought stress. **Biomass Bioenergy**, v. 34, n. 5, p.1–10. 2010.
- ASHARAF, M.; HARRIS, P. J. C. Photosynthesis under stressful environments: An overview. **Photosynthetica**, v. 51, p. 163-190, 2013.
- ANJUN, S.A.; XIE, X; WANG, L.; SALEEM, F.; MAN, C.; LEIL, W. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. – **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, p. 2026-2032, 2011.
- BACELAR, E. A.; SANTOS, D. L.; MOUTINHO-PEREIRA, J. M.; GONÇALVES, B. C.; FERREIRA, H. F.; CORREIA, C. M.; Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes: changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. **Plant Science**, v. 170, p. 596–605, 2006.
- BRUNINI, O.; CARDOSO, M. Efeito do déficit hídrico no solo sobre o comportamento estomático e potencial da água em mudas de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 7, p. 1053-1060, 1998.
- CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. de. Efeitos da deficiência de água em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). **Revista Brasileira de Botânica**, v. 23, n. 3, p. 225-230, 2000
- CASCARDO, J. C. M.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M. Disponibilidade de água e doses de gesso agrícola nas relações hídricas de seringueira. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 5, n. 1, p. 31-34, 1993
- CAVALCANTE, J. R.; CONFORTO, E. C. Desempenho de cinco clones jovens de seringueira na região do Planalto Ocidental paulista. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 3, p. 237-245, 2002.
- CAVALCANTE, J. R.; CONFORTO, E. C. Fotossíntese e relações hídricas de duas cultivares jovens de seringueira. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 29, n. 4, p. 701-708, 2006
- CENTURION, J. F.; ANDREOLI, I. Regime Hídrico de alguns solos de Jaboticabal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 24, p.701, 2000.
- CONCEIÇÃO, H. E. O.; OLIVA, M. A.; LOPES, N. F.; ROCHA NETO, O. G. Resistência à seca em seringueira. I. Balanço hídrico e produção primária em seis clones submetidos a déficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 9, p. 1041-1050, 1985.
- CONFORTO, E. de C. Respostas fisiológicas de cinco porta-enxertos de seringueira ao déficit hídrico natural. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 4, p. 481-485, 2007.
- COUTINHO, A. C. F.; CONFORTO, E. C. Desenvolvimento vegetativo, estrutura do limbo foliolar e trocas gasosas em plântulas de cinco clones de seringueira (*Hevea brasiliensis* Müell. Arg.). **Naturalia**, São Paulo, v. 26, p. 159-174, 2001.

- CORREIA, G. K.; NOGUEIRA, C. M. J. R. Avaliação do crescimento do amendoim (*Arachis hypogaea* L.) submetido a déficit hídrico. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, 16 p. 2004.
- DIN, J.; KHAN, S. U.; ALI, I.; GURMANI, A. R. Physiological and agronomic response of canola varieties to drought stress. **Journal Animal Plant Science**, v. 21. p. 78-82, 2011.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2ed. Rio de Janeiro, 1997.212p.
- FETENE, M.; FELEKE, Y. Growth and photosynthesis of seedlings of four tree species from a dry Tropical afro-montane forest. **Journal Tropical Ecology**, v. 17, p. 269-283, 2001.
- GONÇALVES, P. S.; CARDOSO, M.; ORTOLANI, A. A. Origem, variabilidade e domesticação da *Hevea*: uma revisão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 135-156, 1990.
- INTERNATIONAL RUBBER STUDY GROUP. Producing and consumption of natural rubber. **Rubber Industry Report**, Singapore, Março 2014. Disponível em: <<http://www.rubberstudy.com>. Acesso em: 13 mar. 2015.
- IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2>>. Acesso em: 22 de mar. de 2015.
- KRISHNA, T. M.; BHASKAR, C. V. S.; RAO, P. S.; CHANDRASHEKAR, T. R.; SETHURAJ, M. R.; VIJAYAKUMAR, K. R. Effect of irrigation on physiological performance of immature plants of *Hevea brasiliensis* in north Konkan. **Indian Journal of Natural Rubber Research, Kottayam**, v. 4, n. 1, p. 36-45, 1991.
- LAMBERS, H.; POORTER, H. Inherent variation in growth rate between higher plants: a search for physiological causes and ecological consequences. **Advances in Ecological Research**, v. 23, p. 187-261, 1992.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos. Rima, 533p. 2000.
- LATANSIO-AIDAR, S. R.; CONFORTO, E. C. Trocas gasosas, desenvolvimento vegetativo, fenologia e potencial de água foliar de um seringal urbano (*Hevea brasiliensis* (Müell Arg.)), clone RRIM 600 no noroeste paulista (SP/Brasil), **Revista Biociências**, Unitau. v. 14, n. 2, p. 152-165, 2008.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods of Enzymology**, v.148, p. 350-382, 1987.
- MACFARLANE, C.; WHITE, D. A.; ADAMS, M. A. The apparent feed-forward response to vapour pressure deficit of stomata in droughted, field-grown *Eucalyptus globulus* Labill. **Plant, Cell and Environment**, v. 27, n. 10, p. 1268-1280, 2004.
- MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R do.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranjeira valência sobre dois tipos de porta-enxerto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 75-82, 2008.

MARTINS, A. L. C.; CASTRO, P. R.; CORRENTE, J. E.; BERNARDES, M. S. Índice de área foliar, transpiração e turgescência relativa do tronco de cultivares de seringueira. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 68, n. 1, p. 43-55, 1993.

MIGUEL, A. A. **Comportamento fotossintético e caracterização morfoanatômica de folhas de diferentes clones de seringueira (*Hevea spp*)**, em Lavras – MG, 2005. 155 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MORETI, D.; GONÇALVES, P. S.; GORGULHO, E. P.; MARTINS, A. L. M.; BORTOLETTO, N. Estimativas de parâmetros genéticos e ganhos esperados com a seleção de caracteres juvenis em progênies de seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 7, p. 1099-1109, 1994.

NATARAJA, K. N.; JACOB, J. Clonal differences in photosynthesis in *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Photosynthetica**, Prague, v. 36, n. 1/2, p. 89-98, 1999.

NETTING, A. G. pH, abscisic acid and the integration of metabolism in plants under stressed and non-stressed conditions: cellular responses to stress and their implication for plant water relations. **Journal Experimental Botany**, v. 51, n. 343, p. 147-158. 2000.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: ed. Agropecuária, 2002. p. 247-267.

ROCHA NETO, O. G.; CANO, M. A. O.; TIEBAUT, J. T. L. Eficiência no uso da água em plântulas de seringueira submetidas a déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 4, p. 363-369, 1983.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W. D.; HECKTHEUER, L. H. H. The chlorophylls. **Ciência Rural**, v. 35, n. 3, 748-755. 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: ARTMED, 2013. 918p.

TEZARA, W.; MITCHELL, V.; DRISCOLL, S. P.; LAWLOR, D. W. Effects of water deficit and its interaction with CO₂ supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 375, p. 1781-1791, 2000.

VIJAYAKUMAR, K. R.; DEY, S. K.; CHANDRASEKHAR, T. R.; DEVAKUMAR, A. S.; MOHANKRISHNA, T.; SANJEEVA, R. A. O. P.; SETHURAJ, M. R. Irrigation requirement of rubber trees (*Hevea brasiliensis*) in the subhumid tropics. **Agricultural Water Management**, v. 35, n. 3, p. 245–259, 1998.