

Universidade de São Paulo  
FFCLRP - Departamento de Biologia  
Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada

Impacto de elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> e da disponibilidade hídrica do solo sobre a fisiologia e o crescimento inicial em *Cecropia pachystachya* Trec. e *Esenbeckia leiocarpa* Engl., uma simulação climática futura.

José Renato Legracie Júnior

Dissertação apresentada a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área: Biologia Comparada.

Ribeirão Preto - SP

2008

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

Universidade de São Paulo  
FFCLRP - Departamento de Biologia  
Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada

Impacto de elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> e da disponibilidade hídrica do solo sobre a fisiologia e o crescimento inicial em *Cecropia pachystachya* Trec. e *Esenbeckia leiocarpa* Engl., uma simulação climática futura.

José Renato Legracie Júnior

Orientador: Carlos Alberto Martinez Y Huaman

Dissertação apresentada a Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da USP, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências, Área: Biologia Comparada.

Ribeirão Preto - SP

2008

**Dedico este trabalho à  
minha amada família.**

## Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a minha família: meu refúgio e apoio.

Muito obrigado à minha querida mãe, Neusa, ao meu pai, às minhas irmãs Fabiana, Renata e Máisa e à Vó Alzira. Não seria justo deixar de agradecer também ao Tio Ni e a

Tia Cris e a minha prima Lívia

Ao Prof. Carlos Alberto Martinez Y Huaman pela oportunidade, confiança e paciência.

A toda equipe do Laboratório de Fisiologia Vegetal, Vivi, Jana, Hilda, Andressa, Dani e

Lincoln: muito obrigado!! Agradeço pela camaradagem e amizade acima de tudo e também pela grande troca de experiências (teóricas, acadêmicas, práticas, cômicas, psicológicas... enfim!!) durante todo esse período de convivência. Sapão, não sei ao

certo o que faremos, mas tenho muita fé de que há algo de bom para nós!!

Aos professores do departamento de Botânica: Milton Groppo, Rodrigo Santinelo e

Elenice Varanda pela atenção quando precisei.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos todos. Em especial a todo o pessoal que vive a República Kremutcho! Seriam demais todos os nomes (quase não cabe mais

na camiseta!!). Sintam-se todos devidamente agradecidos!!!

Ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada e a FFCLRP pelas

oportunidades.

À CAPES pela bolsa concedida e à Fapesp pelo financiamento do projeto de pesquisa

À Deus.

## SUMÁRIO

<b>1. RESUMO.</b> .....	<b>3</b>
<b>2. INTRODUÇÃO.</b> .....	<b>4</b>
<b>3. HIPÓTESE.</b> .....	<b>9</b>
<b>4. OBJETIVOS.</b> .....	<b>10</b>
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS.</b> .....	<b>11</b>
<b>5.1. Material Vegetal.</b> .....	<b>11</b>
<b>5.2. Condições de crescimento e tratamentos.</b> .....	<b>12</b>
<b>5.3. Sistema para cultivo de plantas em atmosferas enriquecidas com CO<sub>2</sub>.</b> .....	<b>13</b>
<b>5.4. Avaliações fisiológicas.</b> .....	<b>14</b>
5.4.1. Trocas gasosas. ....	14
5.4.2. Monitoramento da fluorescência. ....	17
5.4.3. Determinação da concentração de pigmentos fotossintéticos. ....	18
<b>5.5. Avaliações Morfológicas.</b> .....	<b>20</b>
5.5.1. Análise de crescimento das plantas. ....	20
<b>5.6. Desenho experimental e análise estatística.</b> .....	<b>21</b>
<b>6. RESULTADOS.</b> .....	<b>21</b>
<b>6.1. Avaliações fisiológicas.</b> .....	<b>21</b>
6.1.1. Trocas gasosas. ....	21
6.1.2. Determinação da fluorescência da clorofila. ....	52
6.1.3. Concentração dos Pigmentos Fotossintéticos.....	56
<b>6.2. Avaliações Morfológicas.</b> .....	<b>59</b>
<b>7. DISCUSSÃO.</b> .....	<b>79</b>
<b>7.1. Avaliações Fisiológicas.</b> .....	<b>79</b>
<b>7.2. Avaliações Morfológicas.</b> .....	<b>87</b>
<b>8. CONCLUSÕES.</b> .....	<b>88</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b> .....	<b>90</b>

## Lista de Abreviaturas e Símbolos

- A** - Fotossíntese líquida por unidade de área ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- A<sub>máx</sub>** - Fotossíntese líquida máxima ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- C<sub>a</sub>** - Concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).
- C<sub>a380</sub>** - Concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> de 380 ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).
- C<sub>a560</sub>** - Concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> de 560 ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).
- C<sub>a740</sub>** - Concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> de 740 ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).
- C<sub>c</sub>** - Concentração de CO<sub>2</sub> no sítio de carboxilação ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).
- C<sub>i</sub>** - Concentração de CO<sub>2</sub> na câmara subestomática ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).
- CC<sub>100</sub>** - 100% da capacidade de campo do solo.
- CC<sub>50</sub>** - 50% da capacidade de campo do solo.
- Car** - Carotenóides ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ ).
- Chl a** - Clorofila a ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ ).
- Chl b** - Clorofila b ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ ).
- Chl a+b** - Clorofila a+b ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ ).
- Chl a/Chl b** - Razão clorofila a/clorofila b.
- Car/Chl** - Razão carotenóides/clorofila total.
- CTA (OTC)** - Câmara de topo aberto.
- DAS** - Diâmetro a altura do solo (cm).
- E** - Taxa de transpiração ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- EiUA** - Eficiência intrínseca do uso da água (**A/g<sub>s</sub>**) ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).
- EIT** - Eficiência instantânea da transpiração (**A/E**) ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ ).
- FFFA** - Fluxo de Fótons Fotossinteticamente Ativos ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- F<sub>m</sub>** - Fluorescência máxima.
- F<sub>o</sub>** - Fluorescência inicial.
- F<sub>v</sub>** - Fluorescência variável (**F<sub>m</sub> - F<sub>o</sub>**).
- F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>** - Eficiência quântica máxima do fotossistema II.
- Fr** - Taxa fotorrespiratória ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- g<sub>s</sub>** - Condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- MFE** - Massa foliar específica ( $\text{g m}^{-2}$ ).
- P(Ce)** - Valor do parâmetro na concentração elevada de CO<sub>2</sub>.
- P(Ca)** - Valor do parâmetro na concentração de CO<sub>2</sub> de referência.
- RRP** Razão da resposta do parâmetro da troca gasosa.
- I<sub>c</sub>** - Irradiância compensação de luz ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- I<sub>s</sub>** - Irradiância de saturação de luz ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- PSII** - Fotossistema II.
- R/PA** - Razão raiz/parte aérea.
- Rubisco** - Ribulose - 1,5 - bifosfato carboxilase / oxigenase.
- Rd** Taxa respiratória ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ).
- UR** Umidade relativa do ar (%).
- [CO<sub>2</sub>]** - Concentração de CO<sub>2</sub>.

## 1. RESUMO.

O incremento de CO<sub>2</sub> na atmosfera pode atuar como “fertilizante”, estimulando a fotossíntese e aumentando a biomassa total das plantas. No entanto, o efeito das elevadas concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> ([CO<sub>2</sub>]) sobre as plantas é influenciado por outros fatores ambientais como a disponibilidade de água no solo. A fim de avaliar o impacto de elevadas [CO<sub>2</sub>] associado à disponibilidade de água sobre a fisiologia e o crescimento, plantas jovens de 2 espécies arbóreas tropicais de estágios sucessionais distintos foram submetidas a três tratamentos de CO<sub>2</sub> (380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup>) e dois níveis de disponibilidade de água no solo (100% e 50% da capacidade de campo do solo) em câmaras de topo aberto. As duas espécies estudadas, *Cecropia pachystachya* (pioneira) e *Esenbeckia leiocarpa* (não pioneira) apresentaram incrementos na taxa fotossintética líquida, na eficiência intrínseca do uso da água e na eficiência instantânea da transpiração por efeito das elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>. Observaram-se também diminuições na condutância estomática, na taxa de transpiração e nas taxas de fotorrespiração por efeito dos tratamentos com CO<sub>2</sub> e hídricos. Entretanto, as respostas observadas nas trocas gasosas tiveram proporções diferentes entre as espécies e entre os tratamentos, evidenciando que cada espécie vegetal reagirá de maneira singular às mudanças climáticas vindouras. De modo geral, os efeitos do CO<sub>2</sub> sobre o crescimento e a produção de biomassa foram afetados pela menor disponibilidade de água do solo em ambas as espécies. Baseando-se em nossos resultados é possível ponderar que os impactos futuros de elevadas [CO<sub>2</sub>], sobre as espécies florestais estudadas dependerão fortemente de outros fatores do ambiente, como a disponibilidade de água no solo.

## **2. INTRODUÇÃO.**

Ecossistemas terrestres respondem a fatores bióticos e abióticos que variam constantemente. Variações sazonais e diárias na radiação, temperatura e umidade são evidentemente características de um ecossistema, e definem a distribuição de espécies e biomas. A esse complexo cenário de influências se sobrepõe o aumento nos gases de efeito estufa com as conseqüentes mudanças climáticas decorrentes desse aumento (NORBY, 2004).

Nas últimas décadas tem sido crescente a preocupação mundial quanto às mudanças no clima provocado pelo aumento na concentração de gases de efeito estufa. O efeito estufa é um fenômeno natural provocado por gases como o CO<sub>2</sub>, vapor de água, metano e outros, que resulta no aquecimento da atmosfera do nosso planeta, mantendo condições amenas para a vida no planeta. No entanto, a intensificação do efeito estufa provocada pelo aumento desses gases, como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), produzidos na queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e por queimadas, indicam para os próximos anos, a possibilidade de impactos climáticos significativos. Estes gases são transparentes à luz solar que aquece a Terra, mas absorvem parte das ondas de calor (radiação infravermelha) emitidas pela superfície terrestre para o espaço externo. O equilíbrio entre a energia que chega do Sol e a que sai da Terra fica assim alterado, provocando o aumento da temperatura (SBPC, 2000).

Além do aumento da temperatura do globo terrestre em conseqüência dos gases de efeito estufa, há predições quanto a possíveis episódios de graves alterações nos padrões de precipitação (KATZ; BROW, 1992; IPCC, 2007). Entretanto, o aumento na concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico pode trazer também alguns benefícios pontuais, como o crescimento acelerado das plantas e a melhora na produtividade da agricultura (OTTMAN, 2001).

Apesar da entrada em vigência do Protocolo de Kyoto (UNFCCC, 1997), que estabelece limites compulsórios para os países desenvolvidos em relação à emissão de gases que causam o efeito estufa, as previsões indicam que o aumento na concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> continuará por um longo tempo, dado que as alternativas de substituição, em curto ou mediano prazo, dos combustíveis fósseis como principal matriz energética, são ainda insuficientes (IPCC, 2004).

Segundo o protocolo de Kyoto, os países desenvolvidos precisam diminuir sua emissão de gases de efeito estufa em 5,2 % dos níveis de 1990. Essa meta deve ser cumprida entre 2008 e 2012. Além disso, esses países devem implementar ou aprimorar a pesquisa de tecnologias de seqüestro de dióxido de carbono por meio de “sumidouros” com capacidade para remover o dióxido de carbono da atmosfera. Importantes sumidouros para fixar o dióxido de carbono através da fotossíntese são oceanos e ecossistemas terrestres como florestas e sistemas agrícolas (SEDJO, 1998).

A fixação de carbono por meio de plantas é uma importante alternativa para reduzir o efeito estufa adicional, já que se estima que os ecossistemas terrestres removam, anualmente, em torno de dois bilhões de toneladas de carbono na forma de CO<sub>2</sub>. A remoção líquida de carbono ocorre quando a fotossíntese das plantas excede aos processos de consumo e respiração, resultando em um incremento líquido da biomassa (FALKOWSKI *et al*, 2000). A fixação de carbono pelas plantas, somada às outras opções energéticas renováveis, como a energia de biomassa, solar e eólica, entre outras, podem contribuir para amenizar o efeito estufa. Portanto, há um grande potencial das florestas exercerem um significativo impacto sobre o balanço global de carbono ao agirem como sumidouros para o CO<sub>2</sub> (UNCTAD, 2005).

No entanto, o papel das florestas como seqüestradoras de carbono ainda não estão bem esclarecidos (KARNOSKY, 2003). Ainda existem muitas incertezas sobre o

impacto de elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> sobre o crescimento, produtividade de espécies florestais e sobre o funcionamento dos ecossistemas florestais (CLARK, 2003). Apesar de que as florestas tropicais contêm quase a metade da biomassa de carbono do planeta (AINSWORTH; LONG, 2005) são muito poucos os estudos realizados sobre o impacto de elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> em espécies arbóreas tropicais (HUGHEN *et al.*, 2004; WINTER *et al.*, 2001; WURTH *et al.*, 1998).

A atual concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, em torno de 380 μmol mol<sup>-1</sup>, é um fator limitante para a fotossíntese, o crescimento e a produtividade de muitas espécies. Na folha, a taxa fotossintética é o resultado direto da atividade da enzima ribulose-1-5 bifosfato carboxilase-oxigenase (**Rubisco**), que por sua vez, é influenciada por vários fatores ambientais, incluindo CO<sub>2</sub>, temperatura e luz. A atual concentração de dióxido de carbono no ambiente é insuficiente para saturar a rubisco em plantas C<sub>3</sub>. Conseqüentemente, num curto período em que se aumenta a disponibilidade desse substrato, verifica-se um aumento na taxa fotossintética, devido ao aumento da atividade carboxilase bem com a diminuição da atividade oxigenase da rubisco, processo que promove perda de CO<sub>2</sub> através da fotorrespiração (BOWES, 1993). A predominância da atividade carboxilase ou oxigenase depende da relação CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> (DRAKE *et al.*, 1998).

O incremento de CO<sub>2</sub> na atmosfera pode atuar como “fertilizante”, estimulando a fotossíntese (LONG *et al.*, 2004), aumentando a biomassa total das plantas, biomassa da massa da raiz e área total da folha (ROGERS; RUNION; KRUPA 2004; CURTIS; WANG 1998). Também foram observados efeitos sobre a condutância estomática, a eficiência no uso da água (GUNDERSON; WULLSCHLEGER 1994; SAXE; ELLSWORTH; HEATH, 1998), além de efeitos sobre a estrutura da planta, a fenologia

e sobre a concentração de nutrientes da planta (NORBY *et al.*, 1999; WOODWARD, 2002).

Em determinadas plantas  $C_3$ , observou-se que após o aumento inicial da fotossíntese por altas concentrações de  $CO_2$ , ocorre uma gradual diminuição do estímulo da capacidade fotossintética podendo chegar a valores iguais e até inferiores àqueles obtidos nas plantas-controle (SAGE, 1989, WOODWARD, 2002). As bases fisiológicas desse fenômeno denominado “aclimatação fotossintética” ainda não estão bem esclarecidas, embora haja mecanismos propostos como o desbalanço na relação fonte-dreno, o acúmulo de carboidratos (açúcares) que regulam a expressão de genes, via promotores sensíveis (SHEEN *et al.*, 1999, AINSWORTH *et al.*, 2004) e decréscimos na concentração de nitrogênio e Rubisco nas folhas (NOWAK *et al.*, 2004). A aclimatação fotossintética tem sido mecanística e qualitativamente atribuída a decréscimos na velocidade máxima aparente da carboxilação e ao menor investimento em **Rubisco** (ROGERS; HUMPHRIES, 2000).

Os efeitos benéficos das elevadas concentrações de  $CO_2$  no crescimento das plantas está diretamente relacionada ao seu estado hídrico. Tais efeitos podem ser diferentes em plantas crescendo em condições ótimas em relação à disponibilidade de água quando comparadas com plantas crescendo em condições de deficiência hídrica (IDSO, 1998). A sensibilidade diferencial a falta de água delinea a distribuição das plantas em florestas tropicais em escalas regionais e locais. A diferenciação de nichos, com respeito à disponibilidade da água do solo, é determinante na distribuição das árvores tropicais. Variações na disponibilidade de água do solo causadas por mudança climáticas e pela fragmentação das florestas devem provavelmente alterar distribuições de espécies, a composição da comunidade e a diversidade tropicais (ENGELBRECHT, 2007). Portanto, é importante considerar tanto o incremento atmosférico de  $CO_2$  quanto

à disponibilidade de água do solo para avaliar de fato os possíveis efeitos nas mudanças climáticas (KIMBALL et al., 1995).

A água pode limitar a produtividade das plantas, e isto irá depender da quantidade disponível deste recurso e a eficiência do seu uso pelo organismo. Uma planta capaz de obter mais água, ou que tem maior eficiência no seu uso, resistirá melhor à seca. As plantas podem responder de várias maneiras para se defender contra o déficit hídrico, por exemplo: inibição da expansão foliar, maior crescimento das raízes em profundidade em busca de solo úmido, fechamento estomático, etc. (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A principal mudança adaptativa temporária que previne maior perda de água pelas plantas é o fechamento dos estômatos das folhas, porém, com isso, a afluência de CO<sub>2</sub> ao mesmo tempo também diminui, resultando na redução da taxa fotossintética (LAWLOR; UPRETY, 1993), que está associada com alterações no metabolismo do Carbono e do Nitrogênio. O efeito negativo deste tipo de estresse sobre as folhas a nível molecular pode ser em parte por consequência de danos oxidativos em moléculas importantes como resultado do desequilíbrio entre produção das espécies reativas do oxigênio e defesas antioxidantes (FOYER *et al*, 1994).

A resposta da condutância estomática ( $g_s$ ) a elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> sob o estresse hídrico é de particular interesse, uma vez que as temperaturas mais altas previstas para seguir o aumento atmosférico na [CO<sub>2</sub>] serão fatores prováveis para aumentar o potencial de evapotranspiração das plantas, e assim a frequência do estresse hídrico nas plantas. No entanto, tais alterações na condutância estomática em resposta aos elevados níveis de CO<sub>2</sub> variam claramente entre espécies (HUNGATE *et al.*, 2002). Os diferentes tipos de estresse (térmico, hídrico, entre outros) afetam a resposta da

condutância estomática à elevada concentração de CO<sub>2</sub> de diferentes modos podendo amplificá-la ou diminuí-la (MEDLYN *et al.*, 2001).

O incremento da eficiência do uso de água pelas plantas tem grande significado ecológico porque implica em mudanças no balanço hídrico das comunidades vegetais. (FIELD *et al.*, 1995). As conseqüências para o ecossistema da queda da condutância estomática em elevada concentração de CO<sub>2</sub> irá depender do grau do controle estomático sobre a evapotranspiração, bem como de retro-alimentações incluindo aclimação fisiológica (MEDLYN *et al.*, 2001) evaporação do solo (WILSON *et al.*, 1999) e aumento na temperatura do dossel e do déficit de pressão de vapor operando em diferentes escalas espaciais e temporais (DRAKE *et al.*, 1997).

Em virtude da urgente necessidade de se conhecer como espécies arbóreas tropicais respondem ao incremento do CO<sub>2</sub> atmosférico associado à disponibilidade hídrica do solo, neste trabalho foram determinados os efeitos de três concentrações de dióxido de carbono e duas condições hídricas sobre as trocas gasosas e crescimento inicial de duas espécies de plantas arbóreas jovens de floresta mesófila estacional semidecidual, uma espécie pioneira *Cecropia pachystachya* Trec (Embaúba) e uma espécie não pioneira *Esenbeckia leiocarpa* Engl (Guarantã), crescidas em câmaras de topo aberto.

### **3. HIPÓTESE.**

Plantas arbóreas jovens das classes sucessionais pioneiras e não pioneiras respondem diferentemente a elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>, sendo a assimilação do carbono, o crescimento e o acúmulo de biomassa maior em plantas pioneiras em comparação as plantas não pioneiras. No entanto, comparando os efeitos de

concentrações crescentes de CO<sub>2</sub> combinadas a estados hídricos diferentes, as respostas fotossintéticas e de crescimento, não são necessariamente lineares em função do nível de CO<sub>2</sub> ou de água aplicados.

#### **4. OBJETIVOS.**

##### **4.1. Objetivo geral.**

Avaliar o impacto biológico de três concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> e de dois tratamentos hídricos do solo sobre a fisiologia e o crescimento inicial de duas espécies de plantas arbóreas jovens de floresta mesófila estacional semidecídual, sendo uma espécie pioneira, *Cecropia pachystachya* Trec (Embaúba), e uma espécie não pioneira, *Esenbeckia leiocarpa* Engl (Guarantã), crescidas em câmaras de topo aberto e cultivadas em solo de floresta.

##### **4.2. Objetivos Específicos.**

1. Determinar os efeitos de elevadas concentrações de dióxido de carbono e de duas condições hídricas sobre as trocas gasosas [Taxa de fotossíntese líquida (**A**), Taxa respiratória líquida (**R<sub>d</sub>**), Taxa de transpiração (**E**), Condutância estomática (**g<sub>s</sub>**), Eficiência instantânea da transpiração (**Ei<sub>T</sub>**), Eficiência intrínseca do uso da água (**Ei<sub>UA</sub>**), Taxa de fotorrespiração (**F<sub>r</sub>**) e Fluorescência da clorofila (Razão **F<sub>v</sub>/F<sub>m</sub>**), nas espécies em estudo.

2. Determinar os efeitos de elevadas concentrações de dióxido de carbono e de duas condições hídricas sobre a concentração de pigmentos fotossintéticos.

3. Determinar os efeitos do CO<sub>2</sub> e dos tratamentos hídricos sobre o crescimento e partição de biomassa das espécies.

## **5. MATERIAL E MÉTODOS.**

### **5.1. Material Vegetal.**

As espécies estudadas foram selecionadas em virtude da sua representatividade em florestas mesófilas de ecossistemas tropicais no Brasil. Outros fatores determinantes na seleção das espécies foi sua classificação sucessional, sendo uma espécie pioneira *Cecropia pachystachya* Trec (Embaúba); e uma espécie não pioneira *Esenbeckia leiocarpa* Engl (Guarantã) (LORENZI, 2000); bem como a presença destas espécies na lista de espécies recomendadas para reflorestamento do Estado de São Paulo de acordo a resolução SMA-21, de 21-11-2001, artigo 4 da secretaria de meio ambiente (BARBOSA, 2002) e também por serem utilizadas no projeto de recomposição vegetal do *Campus* da Universidade de São Paulo em Ribeirão Preto, Floresta da USP. As mudas de *Cecropia pachystachya* foram obtidas no viveiro de plantas da Prefeitura do *Campus* da Universidade de São Paulo em Ribeirão Preto e as de *Esenbeckia leiocarpa* foram obtidas no viveiro Verde-Tambaú (Tambaú - SP).

*Cecropia pachystachya* Trec é uma espécie pertencente à família Urticaceae, popularmente conhecida como embaúba, planta perenifólia, heliófita, pioneira e seletiva higrófila, característica de solos úmidos em beira de matas e em suas clareiras. Ocorre principalmente no Ceará, Bahia, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul até Santa Catarina, em várias formações vegetais (LORENZI, 2000).

*Esenbeckia leiocarpa* Engl, popularmente conhecida como guarantã, é uma espécie pertencente à família Rutaceae, planta semidecídua, esciófita, característica de floresta latifoliada primária. Pode ser encontrada do sul da Bahia até São Paulo na mata pluvial atlântica e, em Minas Gerais, São Paulo, Goiás e Mato Grosso do Sul, na floresta latifoliada semidecídua (LORENZI, 2000).

## 5.2. Condições de crescimento e tratamentos.

As mudas, com aproximadamente 6 meses de idade, foram cultivadas individualmente em vasos de 16 L com 25 kg de terra. O solo utilizado foi coletado na área da Floresta da USP a uma profundidade de cerca de 20 cm. Para o plantio, o solo foi adubado com 1g de adubo N:P:K (4-14-8) para cada quilograma de solo, de acordo com a recomendação de adubação para reflorestamentos nativos proposto por Raij *et al.*(1997). As plantas jovens das espécies indicadas foram expostas a três tratamentos de CO<sub>2</sub> e dois tratamentos hídricos.

Houve dois experimentos distintos, sendo um para cada espécie. O experimento para a espécie *Esenbeckia leiocarpa* iniciou-se em 31/03/2008 e findou-se em 25/05/2008, estendendo-se por 56 dias. Ao todo foram plantadas 18 mudas dessa espécie, sendo três (n = 3) plantas para cada combinação de tratamentos ([CO<sub>2</sub>] e estado hídrico do solo) Já o experimento com a espécie *Cecropia pachystachya* durou 58 dias, entre 10/07/2008 e 05/09/2008. Para essa espécie foram plantadas 36 mudas, onde haviam seis (n = 6) plantas para cada combinação de tratamentos ([CO<sub>2</sub>] e estado hídrico do solo).

Para os tratamentos com CO<sub>2</sub>, um grupo de plantas foi colocado dentro de câmaras de topo aberto (Figura 1), com concentração atmosférica de CO<sub>2</sub> (C<sub>a</sub>)

ambiental, constituindo o tratamento **C<sub>a</sub>380** (aproximadamente  $380 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ ). Outros dois grupos de plantas foram expostos a duas concentrações de  $\text{CO}_2$  elevadas em cerca de 50% e 100%, constituindo os tratamentos **C<sub>a</sub>560** (aproximadamente  $560 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ ) e **C<sub>a</sub>740** (aproximadamente  $760 \pm 10 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ ), respectivamente.

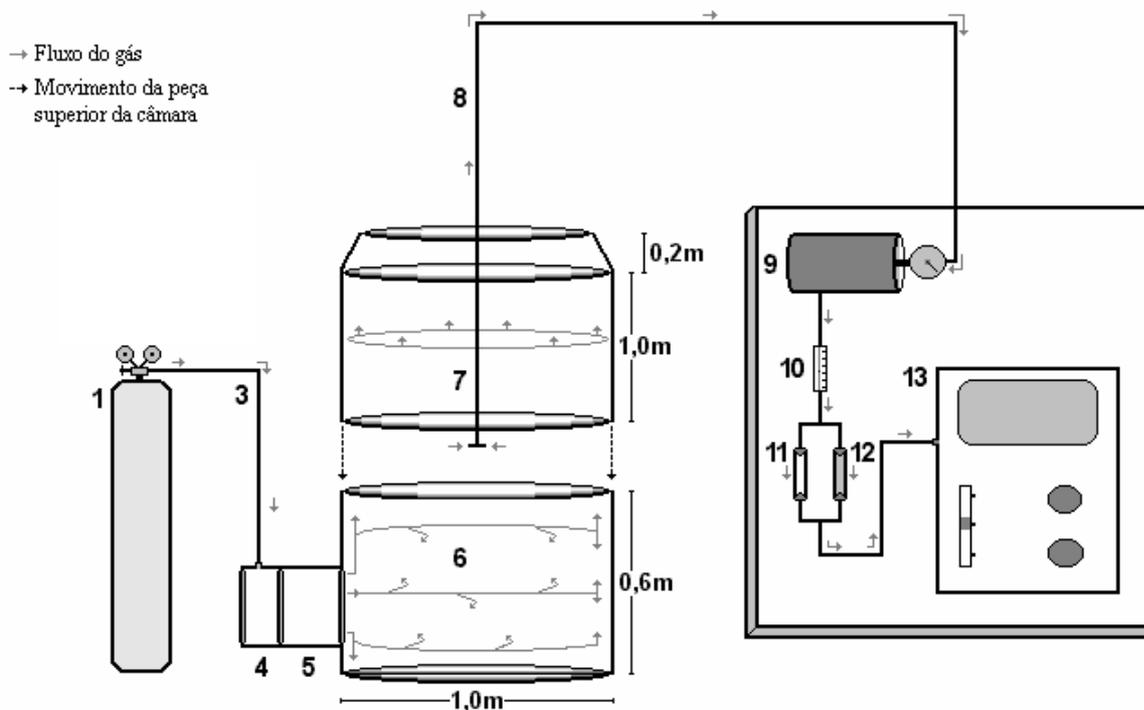
Para o tratamento hídrico, as plantas foram separadas em dois grupos que foram expostos igualmente às diferentes concentrações de  $\text{CO}_2$ . Um grupo teve a umidade do solo permanentemente mantida próxima a 100% da capacidade de campo ( $0.385 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (**CC<sub>100</sub>**), enquanto outro grupo foi mantido com suprimento de água em 50% da capacidade de campo ( $0.190 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) (**CC<sub>50</sub>**). O controle de umidade do solo foi realizado diariamente, no período da manhã, e eventualmente também no período vespertino nos dias mais quentes, utilizando um medidor de umidade do solo modelo HH<sub>2</sub> com sensor ThetaProbe tipo ML2x (Delta-T Devices, UK).

### **5.3. Sistema para cultivo de plantas em atmosferas enriquecidas com $\text{CO}_2$ .**

O sistema para o cultivo de plantas sob atmosferas enriquecidas com  $\text{CO}_2$  foi composto de nove câmaras de topo aberto (OTCs) cilíndricas com 1,60 m de altura e 1,0 m de diâmetro. As câmaras possuem 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. Cada câmara possui mecanismo de injeção forçada e de mistura de ar com  $\text{CO}_2$ , regulação de  $\text{CO}_2$  através de reguladores de fluxo, e um sistema de amostragem por meio de bombas de ar. A medição da concentração  $\text{CO}_2$  das câmaras era realizada diariamente por meio de um analisador de  $\text{CO}_2$  modelo Testo 535 (Testo Instruments,

Alemanha) operando no modo absoluto, conforme o método descrito por Olivo (2000)

(Figura 1).



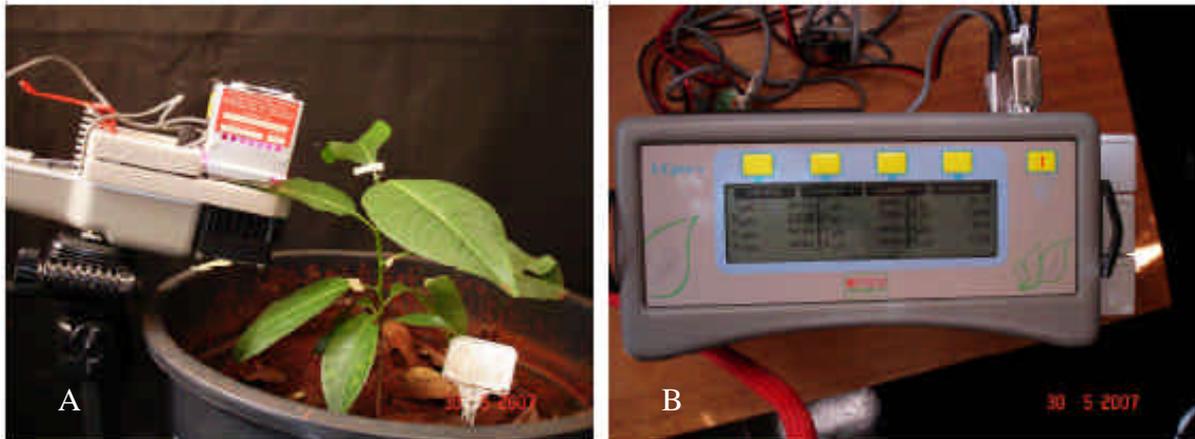
**Figura 1:** Esquema geral do sistema de câmaras de topo aberto para exposição de plantas a elevados níveis de CO<sub>2</sub>. 1- cilindro de CO<sub>2</sub>; 2- Regulador de CO<sub>2</sub>; 3- mangueira pneumática; 4- exaustor funcionando como ventilador; 5- câmara de homogeneização; 6- peça inferior da câmara; 7- peça superior da câmara; 8- mangueira de amostragem de gás; 9- bomba de ar; 10- medidor de fluxo de ar; 11- dessecante (drierite); 12- cal sodada; e 13 – IRGA modelo Testo 536.

## 5.4. Avaliações fisiológicas.

### 5.4.1. Trocas gasosas.

Com um analisador de gases no infravermelho modelo LCPro+ (ADC, UK) (Figura 2) foi avaliada, em folhas completamente expandidas e mais próximas do ápice da planta, a taxa de fotossíntese líquida expressa em área ( $A$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), a taxa de respiração das folhas no escuro ( $R_d$ ,  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), a condutância estomática ( $g_s$ ,  $\text{mol m}^{-2}$

$s^{-1}$ ) e a taxa transpiratória ( $E$ ,  $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$ ). As medições foram realizadas em três ( $n = 3$ ) e quatro ( $n = 4$ ) plantas para cada combinação de tratamentos ( $[CO_2]$ / estado hídrico do solo), respectivamente para as espécies *E. leiocarpa* e *C. pachystachya*, sendo utilizada uma folha por planta.



**Figura 2.** Fotografias do aparelho analisador de gases do infravermelho (IRGA), modelo LCPro+, constituído pela câmara foliar (A) e o console de controle e processamento de dados (B).

Os dados relativos às trocas gasosas foram obtidos pelo a partir das curvas de resposta da fotossíntese à radiação, que foram construídas variando-se o Fluxo de Fótons Fotossinteticamente Ativos (**FFFA**) entre zero e  $1300\ \mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$ , totalizando dez pontos de radiação, com concentração de  $CO_2$  constante e sendo a mesma em que a respectiva planta cresceu. Para o ajuste da curva usou-se a equação descrita por Prado e Moraes (1997):

$$A = A_{\text{máx}} (1 - e^{-k(\text{FFFA} - I_e)})$$

Onde:

$A$  = fotossíntese líquida;

$A_{\text{máx}}$  = fotossíntese líquida máxima;

**e** = base do logaritmo natural;

**k** = constante;

**FFFA** = fluxo de fótons fotossinteticamente ativos

**Ic** = Irradiância de compensação

As curvas foram ajustadas no programa Origin 6.1 (OriginLab Corporation, USA). Com os dados das trocas gasosas foram estimadas a eficiência intrínseca do uso da água (**E<sub>iUA</sub>**,  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ) através da razão **A/g<sub>s</sub>** e a eficiência instantânea da transpiração (**E<sub>IT</sub>**,  $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ ) através da razão **A/E** (NOBEL, 2001).

A taxa fotorrespiratória (**Fr**) foi estimada segundo Sharkey (1988):

$$\mathbf{Fr = Vo / 2} \quad \mathbf{(Equação 1)}$$

Onde:

**Fr** = taxa de fotorrespiração ( $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ );

**Vo** = taxa de oxigenação ( $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ ).

A taxa de oxigenação foi calculada com a equação 2:

$$\mathbf{Vo = (A + Rd) / (1/T - 0,5)} \quad \mathbf{(Equação 2)}$$

Onde:

**A** = taxa de fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ );

**Rd** = taxa respiratória ( $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-1}$ );

**T** = razão **Vo/Vc** (taxa de oxigenação / taxa de carboxilação).

A razão  $V_o/V_c$ , (**T**) foi calculada com a equação 3:

$$\mathbf{T = 2 G^* / Cc} \quad \text{(Equação 3)}$$

Onde:

$G^*$  = irradiância de compensação de  $CO_2$  ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ );

$Cc$  =  $[CO_2]$  no sítio de carboxilação ( $0,6 \times Ca$ ) ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ ).

O ponto de compensação de  $CO_2$  ( $G^{*'}$ ) foi calculado de acordo com a equação 4 proposta por Brooks e Faquhar (1985) e corrigido pela pressão (equação 5):

$$\mathbf{G^{*' } = 42,7 + 1,68 (Tf - 25) + 0,0012 (Tf - 25)^2} \quad \text{(Equação 4)}$$

$$\mathbf{G^* = G^{*' } \times P.} \quad \text{(Equação 5)}$$

Onde:

$G^{*'}$  = irradiância de compensação de  $CO_2$  não corrigido ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ );

$Tf$  = temperatura da folha ( $^{\circ}C$ );

$P$  = pressão atmosférica (bar).

#### **5.4.2. Monitoramento da fluorescência.**

A avaliação da fluorescência da clorofila (razão  $Fv/Fm$ ) foi realizada utilizando-se um fluorômetro portátil não modulado modelo OS-3P (ADC BioScientific, UK). Foram realizados cursos diurnos das 6:00 horas às 18:00 horas, com intervalos de uma hora.

Antes da determinação dos parâmetros de fluorescência, a área de folha a ser medida permaneceu no escuro por 10 minutos. Logo se aplicou um pulso saturante de luz ( $1100 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ). Os cursos diurnos foram repetidos duas vezes para cada espécie.

Realizaram-se as avaliações em 3 plantas ( $n = 3$ ) para a espécie *Esenbeckia leiocarpa* e em 6 plantas ( $n = 6$ ) para a espécie *Cecropia pachystachya*. Utilizou-se quatro folhas por indivíduo. Concomitantemente a avaliação da fluorescência, monitorou-se as condições micro-meteorológicas de umidade relativa do ar e temperatura ambiente, utilizando um higrômetro, e do Fluxo de Fótons Fotossinteticamente Ativos (FFFA), com um sensor quântico conectado a um medidor de radiação modelo LI-250A (LI-COR, USA) (Figura 3).



**Figura 3.** Fotografias do fluorômetro modelo OS-30P (A), do higrômetro (B), do sensor de radiação (C) e do medidor de radiação modelo LI- 250A (D)

#### 5.4.3. Determinação da concentração de pigmentos fotossintéticos.

As mesmas folhas usadas para as análises de trocas gasosas foram utilizadas para a determinação das concentrações dos pigmentos fotossintéticos. A extração e

quantificação dos pigmentos fotossintéticos foram realizadas seguindo a metodologia proposta por Hendry e Price (1993), com algumas modificações.

Três discos foliares com um centímetro de diâmetro cada (área total = 2.36 cm<sup>2</sup>) foram retirados aleatoriamente de cada indivíduo avaliado. Utilizaram-se três indivíduos (n = 3) e seis indivíduos (n = 6) para as espécies *Esenbeckia leiocarpa* e *Cecropia pachystachya* respectivamente. As amostras foram avaliadas sob as absorvâncias de 480, 645 e 663 nm espectrofotômetro (modelo Spectronic Genesys 5).

As concentrações de clorofila *a*, *b*, total e carotenóides totais foram calculadas de acordo com as seguintes equações:

$$\text{Clorofila } a \text{ (}\mu\text{mol/g): } (((12.7 * A663) - (2.69 * A645)) * V) / MS$$

$$\text{Clorofila } b \text{ (}\mu\text{mol/g): } (((22.9 * A645) - (4.68 * A663)) * V) / MS$$

$$\text{Clorofila total (}\mu\text{mol/g): } \text{Clorofila } a + \text{clorofila } b$$

$$\text{Carotenóides totais (}\mu\text{mol g}^{-2}\text{): } ((A480 + (0.114 * A663) - (0.638 * A645)) * V) / (112.5 * MS')$$

Onde:

**A** = Absorvância

**V** = Volume do extrato (ml)

**MS** = Massa Seca (mg)

**MS'** = Massa Seca (g)

Todas as concentrações foram convertidas e expressas em  $\mu\text{mol g}^{-1}$ .

## 5.5. Avaliações Morfológicas.

### 5.5.1. Análise de crescimento das plantas.

O crescimento das plantas em diferentes níveis de CO<sub>2</sub> e estados hídricos do solo foi analisado através de parâmetros biométricos e de massa seca. As medições realizadas nas plantas foram: altura (com auxílio de fita métrica) e diâmetro do caule ao nível do solo (com auxílio de um paquímetro) e a contagem de todas as folhas de cada planta. O comprimento do caule (altura) foi determinado medindo-se a distância entre a base do caule ao nível do solo e a base da gema apical. As medições foram realizadas imediatamente antes do início e logo depois do término dos experimentos.

Para a determinação da massa seca, as plantas foram dissecadas em folhas, pecíolos, caule e raiz. As diferentes partes das plantas foram acondicionadas separadamente em sacos de papel e colocadas para secar em estufa a 80 °C por três dias (até massa constante) e pesadas

A área foliar total foi estimada pela somatória das áreas de todas as folhas de cada planta. A área de cada folha foi estimada através da análise de fotos de todas as folhas utilizando-se o programa Image Tool 3.0 (UTHSCSA). Para o cálculo da massa foliar específica (MFE gm<sup>-2</sup>), discos foliares de área conhecidas foram secos e pesados. A massa foliar específica foi calculada conforme metodologia de Beadle (1993), com a seguinte fórmula:

$$\mathbf{MFE = MS / AF}$$

Onde:

**MS**= massa seca do disco foliar (g)

**AF**= área foliar do disco (m<sup>2</sup>)

Para todas as avaliações de crescimento utilizaram-se três ( $n = 3$ ) e seis indivíduos ( $n = 6$ ) para as espécies *Esenbeckia leiocarpa* e *Cecropia pachystachya* respectivamente.

## **5.6. Desenho experimental e análise estatística.**

O desenho experimental será de blocos casualizados com parcelas subdivididas em esquema fatorial com dois níveis de fatores ( $3 \times 2$ ), combinando três níveis de  $\text{CO}_2$  ( $\text{C}_a380$ ,  $\text{C}_a560$  e  $\text{C}_a760 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ ) e dois estados hídricos do solo, 100% ( $\text{CC}_{100}$ ) e 50% ( $\text{CC}_{50}$ ) da capacidade de campo, onde foram estudados os efeitos dos fatores e de suas interações. Os resultados foram submetidos a análises de variância (ANOVA) e testes de Tukey utilizando o Programa SigmaStat versão 3.1. (Systat Software Inc., USA).

## **6. RESULTADOS.**

### **6.1. Avaliações fisiológicas.**

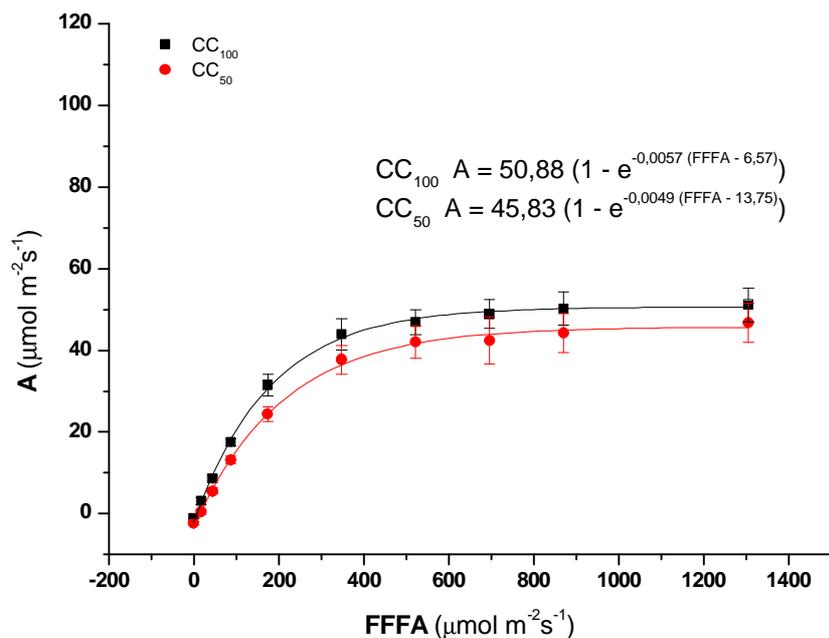
#### **6.1.1. Trocas gasosas.**

##### **6.1.1.1. *Cecropia pachystachya* (Pioneira).**

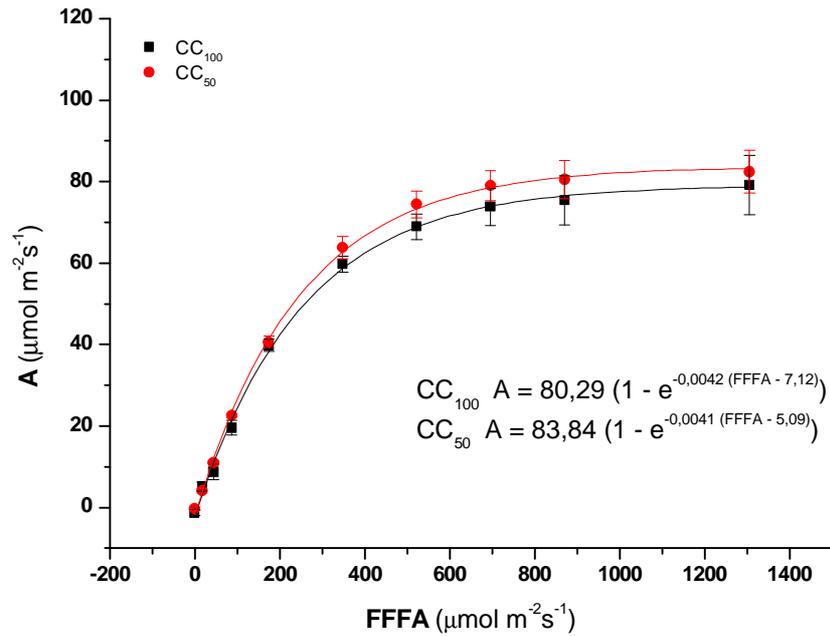
A resposta fotossintética das plantas ao aumento do fluxo fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) variou entre os tratamentos com  $\text{CO}_2$  e hídricos. As curvas para a espécie pioneira *Cecropia pachystachya* crescida em cada um dos

tratamentos com CO<sub>2</sub>, C<sub>a</sub>380, C<sub>a</sub>560 e C<sub>a</sub>740, em 100% da capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>), estão apresentadas nas figuras 4, 5 e 6, respectivamente.

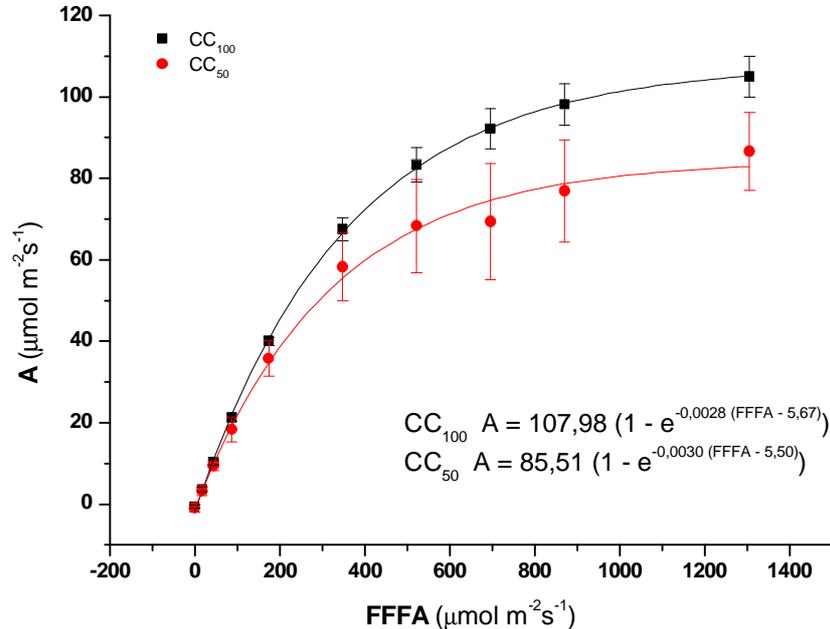
Nota-se nas curvas, independentemente do tratamento com CO<sub>2</sub> e hídrico, um incremento na taxa fotossintética máxima ( $A_{m\acute{a}x}$ ) correlacionado com o acréscimo no FFFA. Nos tratamentos C<sub>a</sub>380 e C<sub>a</sub>740 as plantas que tiveram o solo mantido sob CC<sub>100</sub> alcançaram valores de  $A_{m\acute{a}x}$  respectivamente cerca de 11% e 26% maiores que as mantidas sob CC<sub>50</sub>. Já em C<sub>a</sub>560, as plantas sob CC<sub>50</sub> obtiveram valores de  $A_{m\acute{a}x}$  aproximadamente 4% mais elevados em relação às plantas sob CC<sub>100</sub>.



**Figura 4.** Curva de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) em plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas sob 380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 4).

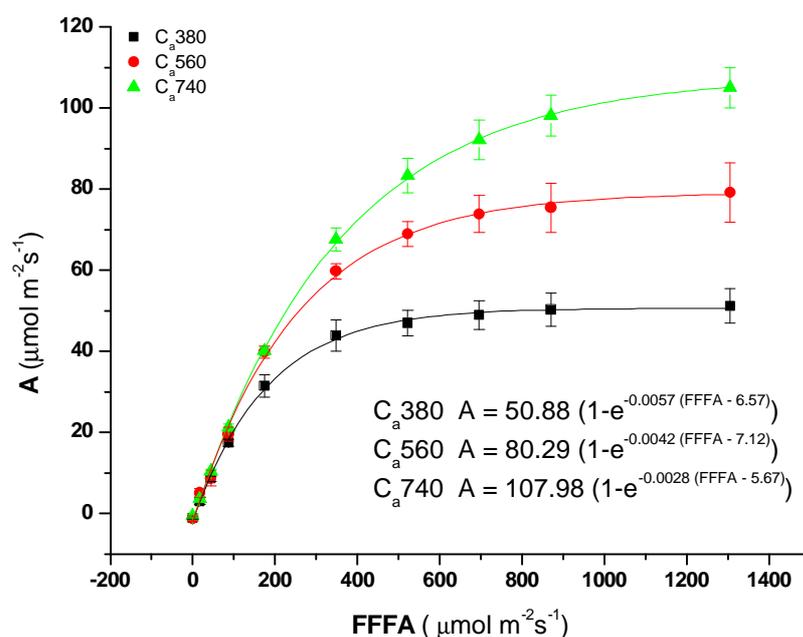


**Figura 5.** Curva de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $FFFA$ ) em plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas sob  $560 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo ( $CC_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo ( $CC_{50}$ ) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante ( $25^\circ\text{C}$ ). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 4$ ).

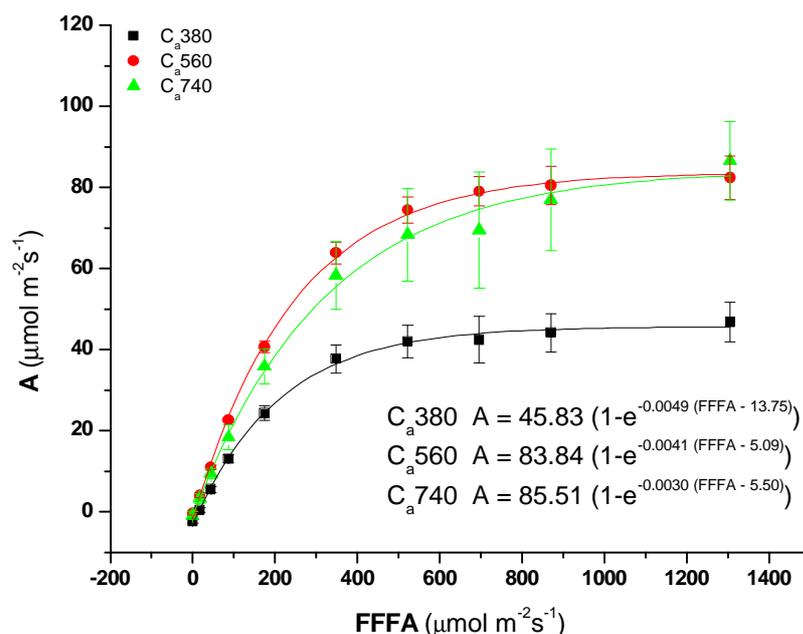


**Figura 6.** Curva de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $FFFA$ ) em plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas sob  $740 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo ( $CC_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo ( $CC_{50}$ ) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante ( $25^\circ\text{C}$ ). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 4$ ).

As comparações das curvas fotossintéticas em resposta a radiação luminosa nas plantas crescidas nas três concentrações de CO<sub>2</sub> avaliadas sob CC<sub>100</sub> e CC<sub>50</sub> podem ser vistas nas figuras 7 e 8 respectivamente. Sob qualquer tratamento hídrico aplicado, as plantas crescidas em elevadas [CO<sub>2</sub>] apresentaram aumentos na fotossíntese máxima quando comparadas ao tratamento C<sub>a</sub>380. Respectivamente em C<sub>a</sub>560 e C<sub>a</sub>740, os incrementos foram próximos a 58% e 112% nas plantas sob CC<sub>100</sub> e de cerca de 64% e 68% em plantas sob CC<sub>50</sub>. Os valores de A<sub>máx</sub>, assim como as razões de resposta para esse parâmetro em elevadas [CO<sub>2</sub>] e os resultados das análises estatísticas podem ser observados nas tabelas 1 e 3.



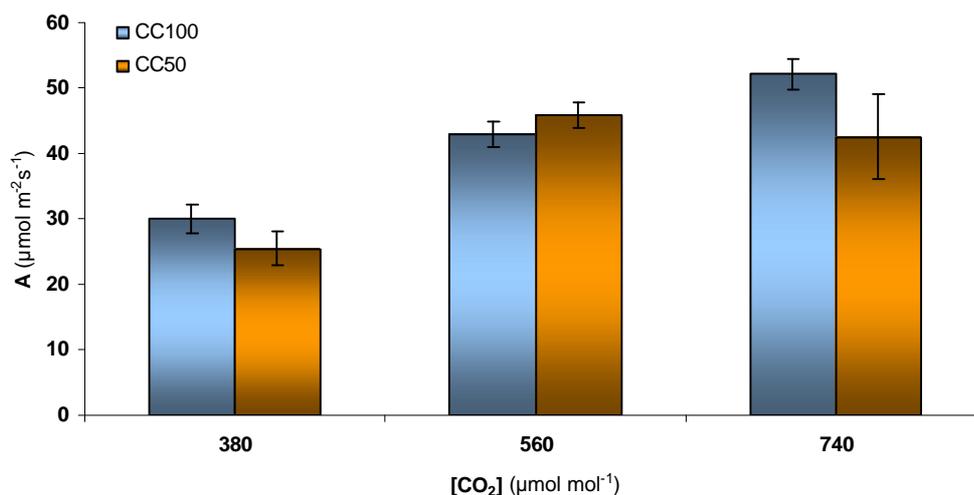
**Figura 7.** Curva de resposta da fotossíntese (A) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) em plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) do solo sob três concentrações CO<sub>2</sub>. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 4).



**Figura 8.** Curva de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $FFFA$ ) em plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas sob 50% da capacidade de campo ( $CC_{50}$ ) do solo em três concentrações  $CO_2$ . Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante ( $25^\circ C$ ). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 4$ ).

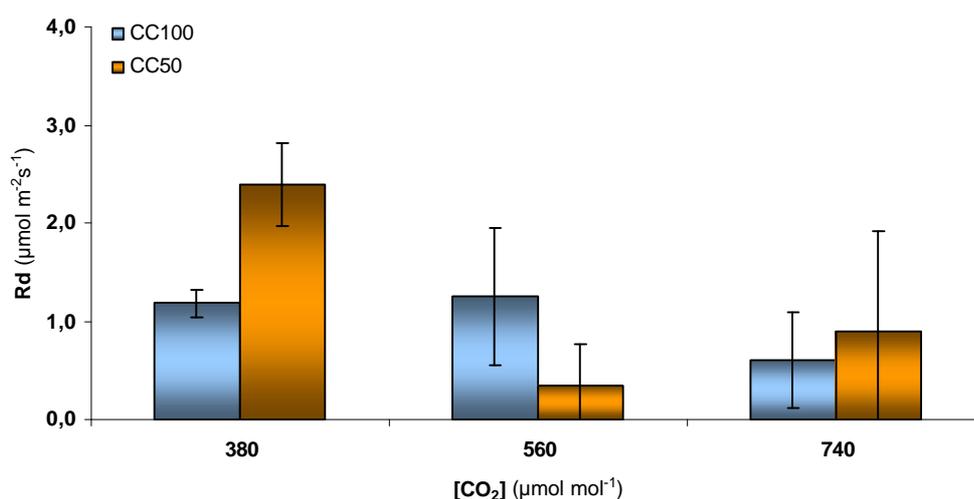
Os valores da Irradiância de Compensação ( $I_c$ ) e da Irradiância de Saturação ( $I_s$ ) variaram de acordo com os tratamentos submetidos (Tabela 1). O valor mais elevado em  $I_c$  foi encontrado em  $C_a380$  sob 50% da capacidade de campo do solo. A  $I_s$  respondeu positivamente a concentração de dióxido de carbono aplicado, elevando-se nas atmosferas enriquecidas com  $CO_2$  independentemente do tratamento hídrico, sendo que o maior valor foi observado em  $C_a740$  em  $CC_{100}$ .

As médias da taxa de fotossíntese ( $A$ ), em todos os níveis de radiação, relacionaram-se positivamente com as elevadas  $[CO_2]$  aplicada, independentemente do tratamento hídrico (Figura 9). As médias fotossintéticas mais elevadas foram observadas nas plantas que tiveram o solo mantido em 100% da capacidade de campo, com exceção do tratamento  $C_a560$ , cujo maior valor de  $A$  pertence ao tratamento  $CC_{50}$ . A fotossíntese média sofreu incremento de 42% e 73% sob capacidade de campo e 52% e 41% sob  $CC_{50}$  em  $C_a560$  e  $C_a740$  respectivamente.



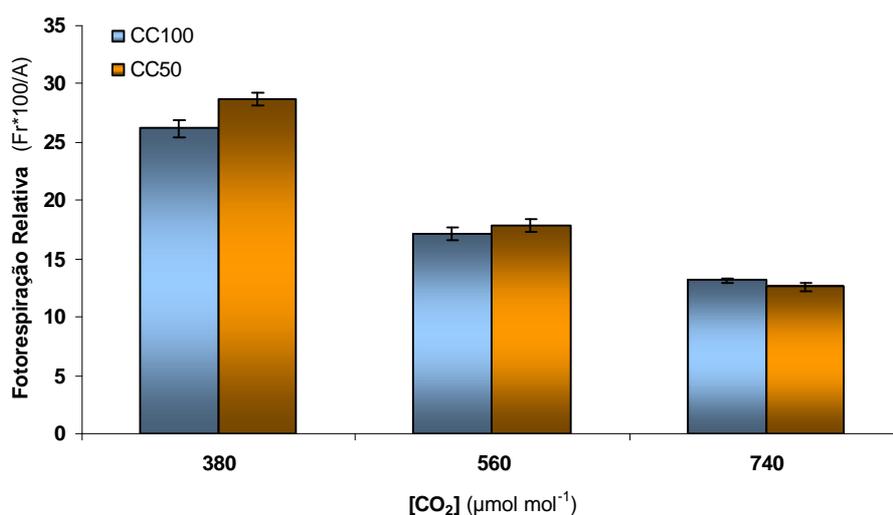
**Figura 9.** Fotossíntese média (**A**) em *Cecropia pachystachya* sob capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo sob tratamentos com 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 4).

As taxas respiratórias médias (**Rd**) em *Cecropia pachystachya* variaram entre os tratamentos hídricos e de  $\text{CO}_2$  (Figura 10) Entretanto, houve diferenças significativas apenas entre **CC<sub>100</sub>** e **CC<sub>50</sub>** no tratamento de 380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  (Tabela 1).



**Figura 10.** Taxa respiratória média (**Rd**) em *Cecropia pachystachya* sob capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo em tratamentos com 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 4).

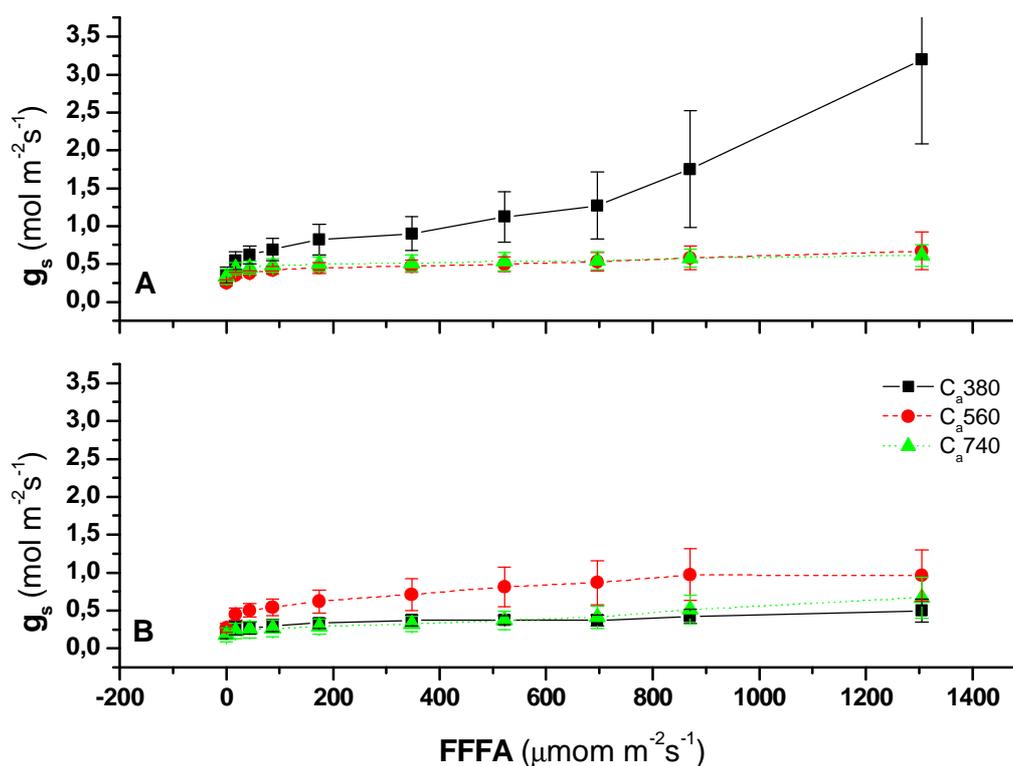
As taxas médias da fotorrespiração líquida (**Fr**) e relativa (**Fr x100/A<sub>máx</sub>**), assim como os resultados das análises estatísticas e as razões de resposta para esses parâmetros podem ser observadas respectivamente nas tabelas 1 e 3. As taxas de fotorrespiração líquidas mantiveram-se praticamente constantes em todos os tratamentos com CO<sub>2</sub> ou hídricos, não apresentando diferenças significativas. No entanto, as médias da fotorrespiração relativa variaram e apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos hídricos e com CO<sub>2</sub> (Figura 11). Os valores para esse parâmetro decresceram significativamente em 34% e 50%, respectivamente, nos tratamentos **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740** em 100% de capacidade de campo do solo. Já sob **CC<sub>50</sub>**, houve diminuições de 32% e 52% em **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740**, respectivamente.



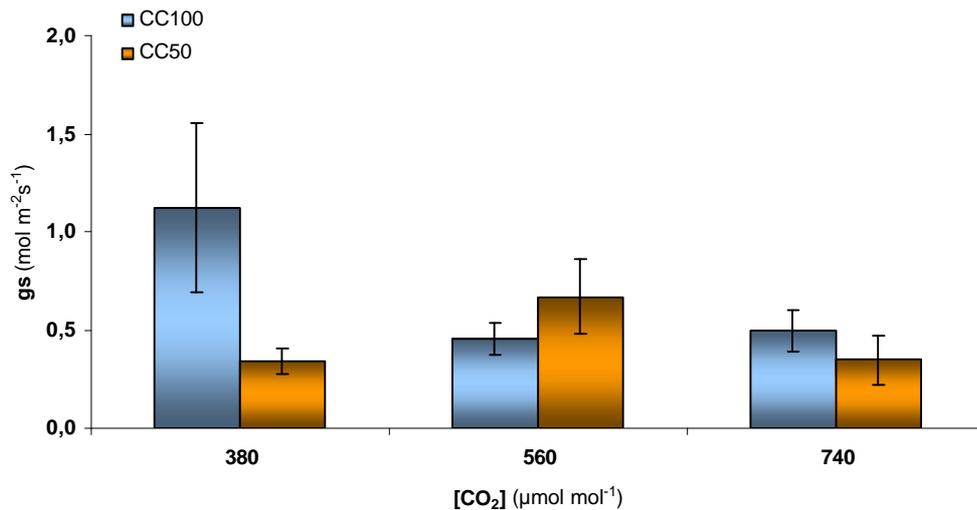
**Figura 11.** Fotorrespiração relativa (**Fr x 100/A**) em *Cecropia pachystachya* sob capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo em tratamentos com 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 4).

Outros parâmetros analisados foram à condutância estomática (**gs**) e a relação deste parâmetro com a fotossíntese, a eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**). Analisando a figura 12, nota-se que a condutância estomática apresenta tendências a apresentar valores mais elevados em resposta a elevadas radiações em todos os tratamentos, demonstrando uma relação direta entre o **FFFA** e a abertura estomática. Os

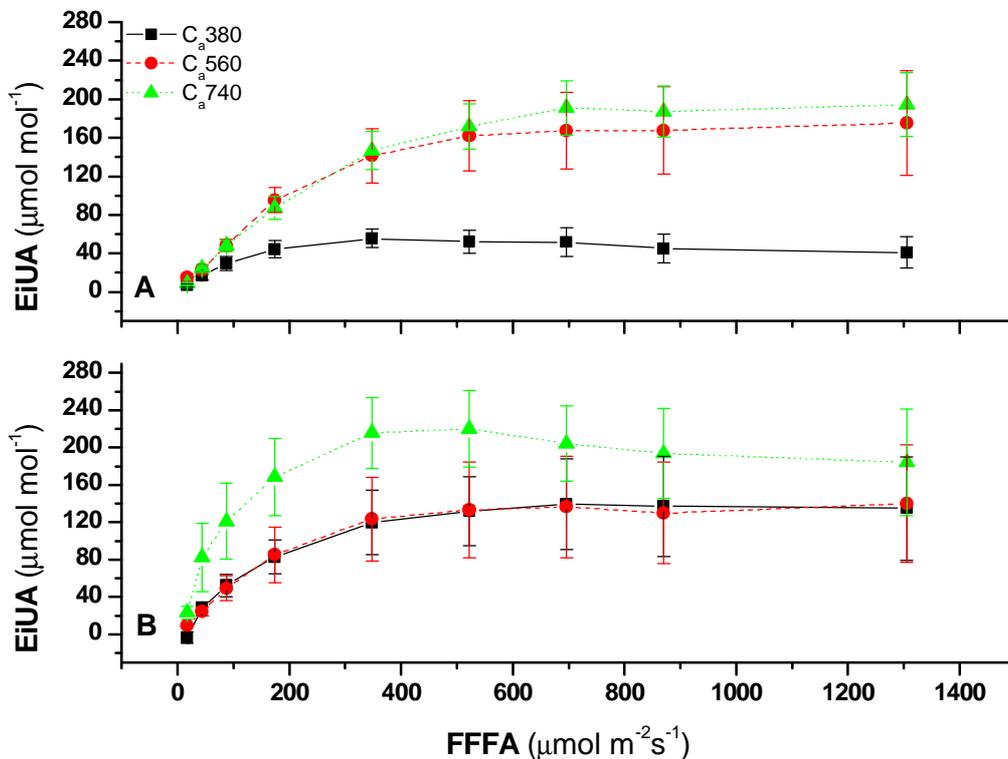
maiores valores de  $g_s$ , em todas as faixas de radiação, foram encontrados em  $C_a380$  e em  $C_a560$  nos tratamentos  $CC_{100}$  e  $CC_{50}$  respectivamente. A condutância estomática média ( $g_s$ ) (Figura 13), para todos os valores de **FFFA**, sofreu reduções de 59% e 56% respectivamente nos tratamentos  $C_a560$  e  $C_a740$  sob capacidade de campo do solo. Já sob  $CC_{50}$ , as reduções foram de aproximadamente 40% e 70% em plantas crescidas em 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Em todas as  $[\text{CO}_2]$ , as plantas mantidas sob 50% da capacidade de campo do solo tiveram médias menores que as do tratamento  $CC_{100}$ , com exceção do tratamento  $C_a560$  que teve esse padrão invertido. As médias, as razões de resposta e os resultados das análises estatísticas para a condutância estomática podem ser observados nas tabelas 2 e 3.



**Figura 12.** Condutância estomática ( $g_s$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) em plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  e sob capacidade de campo (A) e 50% da capacidade de campo (B) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 4).



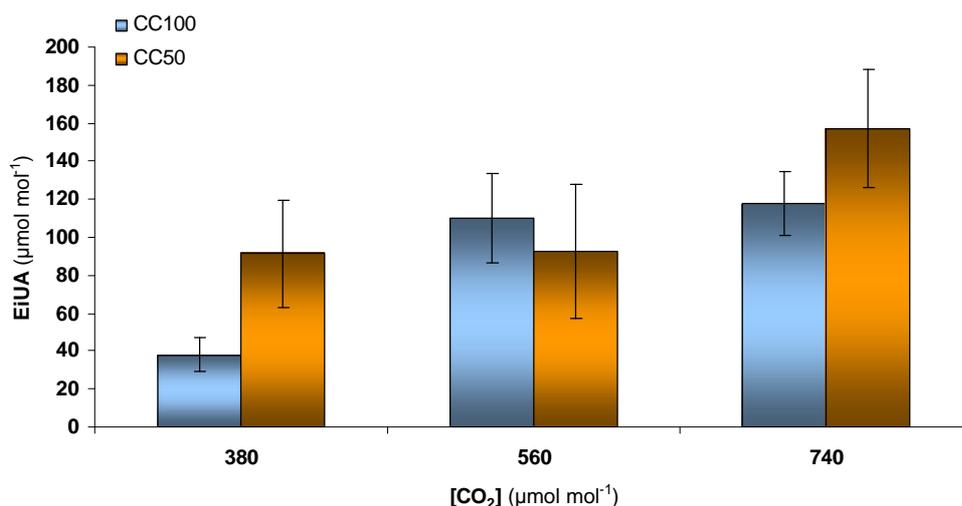
**Figura 13.** Condutância estomática média (gs) em *Cecropia pachystachya* sob capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo sob tratamentos de 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 4).



**Figura 14.** Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) em plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> e sob capacidade de campo (A) e 50% da capacidade de campo (B) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 4).

A Eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**) também mostrou relacionar-se positivamente com o **FFFA**, sendo que os maiores valores desse parâmetro foram observados sob altas luminosidades. Em todos os tratamentos, os valores da **EiUA** mostraram-se maiores que o tratamento de referência, **C<sub>a</sub>380** sob capacidade de campo do solo. O tratamento **C<sub>a</sub>740** apresentou os valores mais elevados na **EiUA** em elevada radiação. (Figura 14).

Como a **EiUA** é uma relação inversa de **gs**, os valores para esse parâmetro refletem o oposto do padrão para os valores médios de **gs** (Figura 15). Assim, a média da eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**), no tratamento referencial (**C<sub>a</sub>380** sob capacidade de campo) é a menor em ambos tratamentos hídricos. Em todos os tratamentos com CO<sub>2</sub>, a **EiUA** média foi maior sob 50% da capacidade de campo do solo, com exceção do tratamento **C<sub>a</sub>560**, onde o maior valor pertence ao tratamento **CC<sub>100</sub>**. Nas plantas que tiveram o solo mantido em capacidade de campo, os incrementos na **EiUA**, nos tratamentos 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ , foram de cerca de 190% e 210% respectivamente. Já sob **CC<sub>50</sub>**, os incrementos observados nos tratamentos **C<sub>a</sub>380**, **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740** foram aproximadamente de 140%, 142% e 313% respectivamente. Nas tabelas 2 e 3 estão os valores médios **EiUA**, a razão de resposta e os resultados das análises estatísticas todos os tratamentos hídricos e com CO<sub>2</sub>.

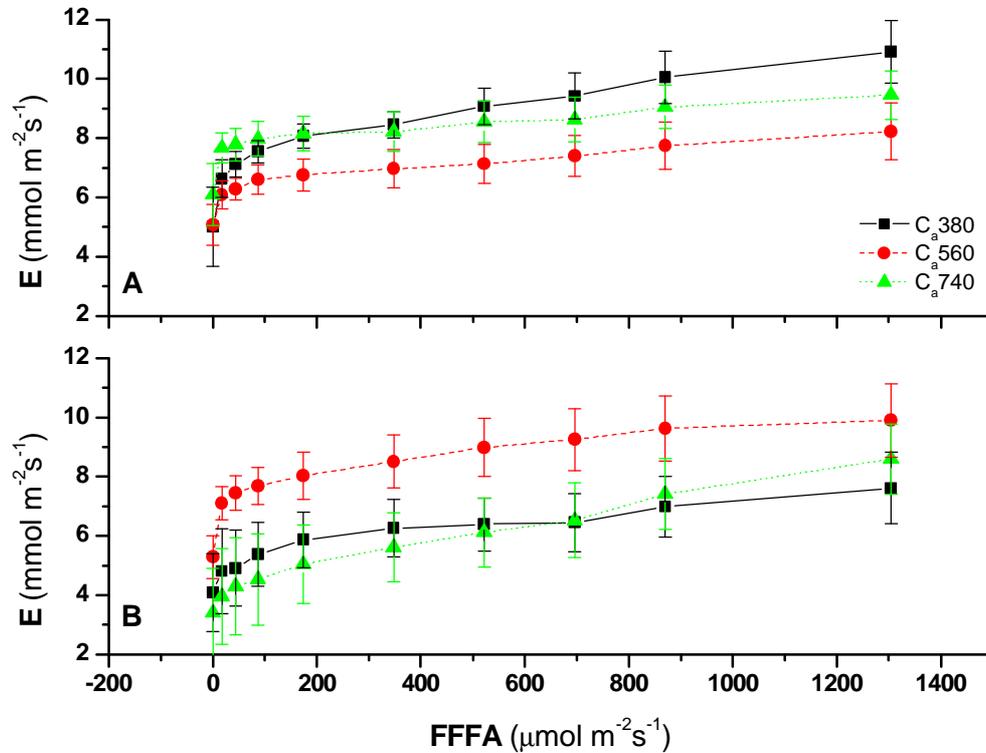


**Figura 15.** Eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**) média em *Cecropia pachystachya* sob capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo sob tratamentos de 380,560 e 740 µmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 4).

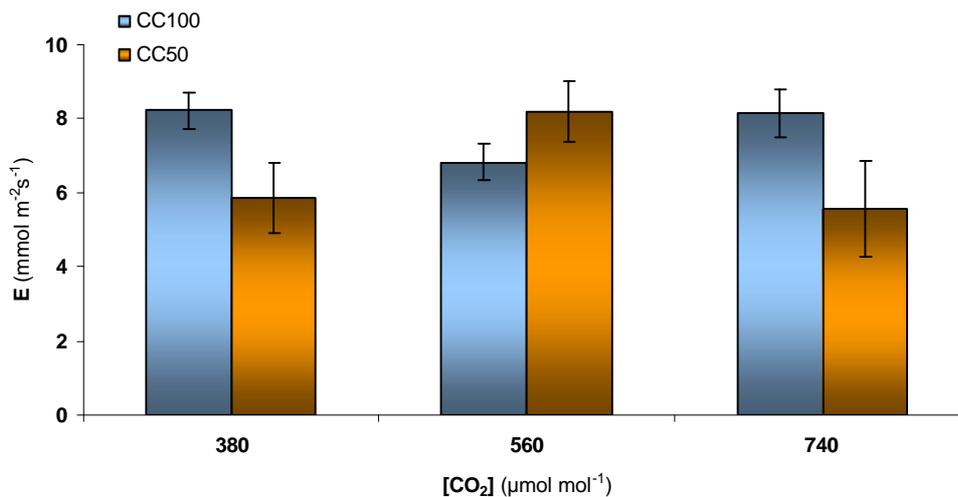
As taxas de transpiração (**E**) também se relacionaram positivamente com a radiação, independentemente do tratamento aplicado (Figura 16). Nas plantas que tiveram o solo mantido a capacidade de campo, as pertencentes ao tratamento referencial (**C<sub>a380</sub>**) foram as que apresentaram as maiores taxas transpiratórias nos níveis elevados de radiação. Já nas plantas submetidas a 50% da capacidade de campo, o tratamento **C<sub>a560</sub>** foi o que apresentou as maiores taxas transpiratórias em todos os níveis de radiação.

As médias da transpiração (**E**), para todas as intensidades de luz, também variaram de acordo com os tratamentos. Todos os tratamentos com CO<sub>2</sub> mostraram valores médios menores de **E** sob **CC<sub>50</sub>**, com exceção do tratamento **Ca560**. Em capacidade de campo do solo, os tratamentos **C<sub>a560</sub>** e **C<sub>a740</sub>** sofreram diminuições de 17% e >1%, respectivamente. Logo, no tratamento **CC<sub>50</sub>**, as reduções médias na transpiração foram de aproximadamente 28%, 32% e menor que 1% nos tratamentos com 380, 740 e 560 µmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, respectivamente (Figura 17). A razão de

resposta, as médias e os resultados das análises estatísticas para **E** estão apresentadas nas tabelas 4 e 5.

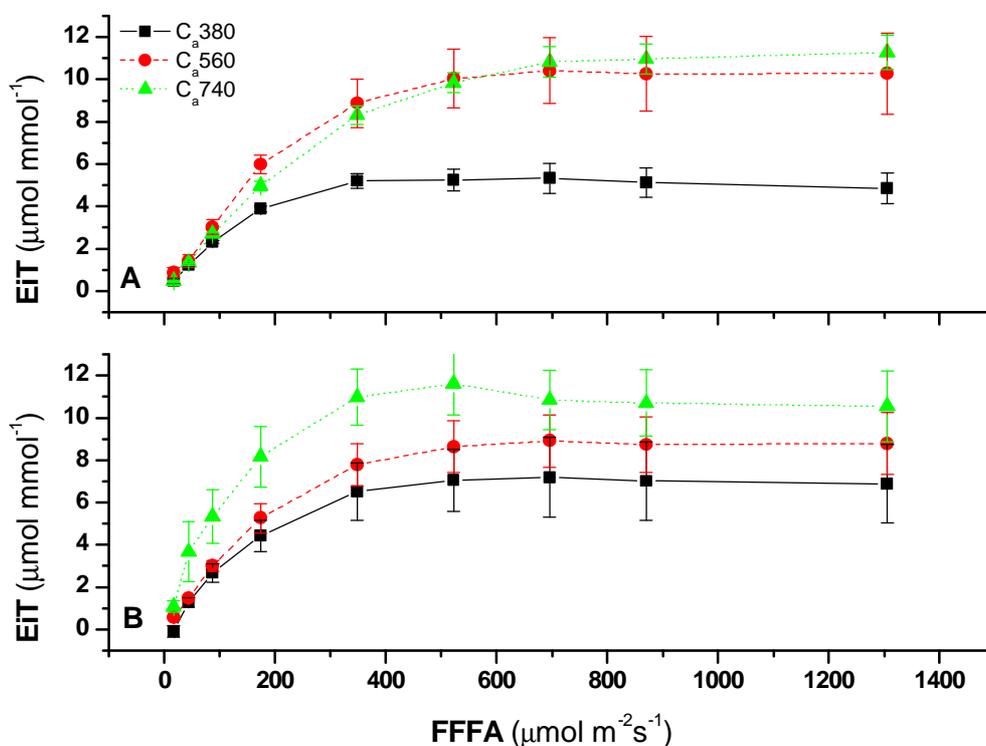


**Figura 16.** Transpiração (**E**) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) em plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> e sob capacidade de campo (A) e 50% da capacidade de campo (B) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 4).



**Figura 17.** Transpiração (**E**) média em *Cecropia pachystachya* sob capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo sob tratamentos de 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 4).

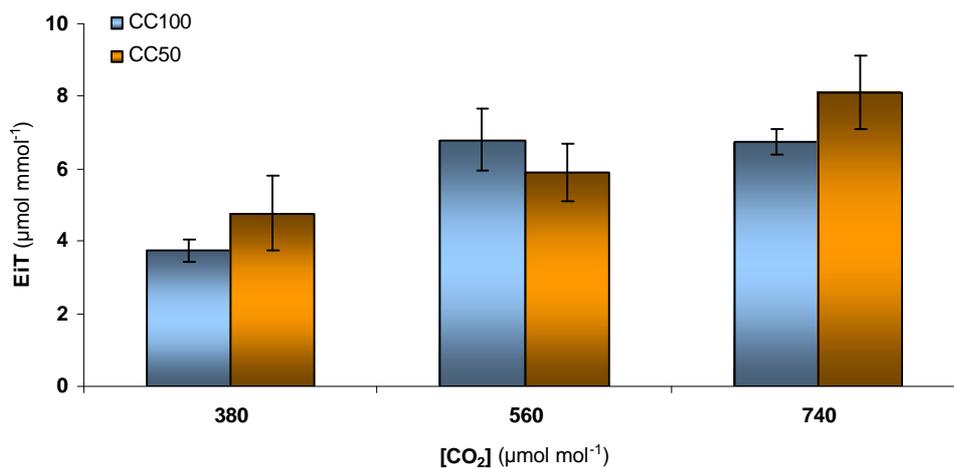
A relação da taxa de fotossíntese (**A**) pela quantidade de água transpirada (**E**), a eficiência instantânea da transpiração (**EiT**), também foi avaliadas em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (**FFFA**). Nota-se na figura 18 que em ambos os tratamentos hídricos, as plantas mantidas em atmosferas enriquecidas com CO<sub>2</sub> apresentaram incrementos na **EiT**. Sobre elevada luminosidade, o tratamento C<sub>a</sub>740 teve a melhor eficiência instantânea da transpiração, independentemente do tratamento hídrico. Em contrapartida, o tratamento com 380 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> foi o menos eficiente no uso da água, tanto em CC<sub>100</sub> quanto sob CC<sub>50</sub>.



**Figura 18.** Eficiência instantânea da transpiração (**EiT**) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (**FFFA**) em plantas de *Cecropia pachystachya* cultivadas sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> e sob capacidade de campo (A) e 50% da capacidade de campo (B) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 4).

Considerando os valores médios da Eficiência instantânea da transpiração em todas as luminosidades, que estão apresentados na figura 19, nota-se que, em relação ao grupo referencial, todos os outros tratamentos tiveram incrementos na **EiT**. Nos

tratamentos com CO<sub>2</sub>, os grupos mantidos sob CC<sub>50</sub> encerraram maiores médias na **EiT** em relação ao grupo CC<sub>100</sub>, exceto em Ca560. Na plantas mantidas em CC<sub>100</sub>, os incrementos na **EiT** foram de respectivamente 80% e 82% em Ca740 e Ca560. No entanto, as plantas CC<sub>50</sub> em 380 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> mostraram um incremento de 27% na **EiT** e as crescidas em sob 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> apresentaram elevações de 58% e 117%, respectivamente. Os valores médios, as razões de resposta e os resultados das análises estatísticas podem ser vistos nas tabelas 2 e 3.



**Figura 19.** Eficiência instantânea da transpiração (**EiT**) média em *Cecropia pachystachya* sob capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo sob tratamentos de 380,560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 4)

**Tabela 1:** Efeitos de três concentrações de dióxido de carbono [ $\text{CO}_2$ ] sobre a fotossíntese média (**A**), fotossíntese máxima (**A<sub>máx</sub>**), taxa de fotorrespiração (**Fr**), fotorrespiração relativa (**Fr\*100/A<sub>máx</sub>**), irradiância de compensação (**Ic**) e irradiância de saturação (**Is**), em plantas de *Cecropia pachystachya* crescidas em 100% da capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo.

Umidade do Solo	[ $\text{CO}_2$ ] ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	Parâmetros de Trocas Gasosas					
		<b>A</b> ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	<b>A<sub>máx</sub></b> ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	<b>Fr</b> ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	<b>Fr*100/A<sub>máx</sub></b> (%)	<b>Ic</b> ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	<b>Is</b> ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
<b>CC<sub>100</sub></b>	<b>380</b>	30,1 ± 2,1	50,8 ± 4,1	13,4 ± 1,3	26,2 ± 0,7	6,6 ± 0,4	426,5 ± 47,1
	<b>560</b>	42,9 ± 2,0	80,2 ± 7,1	13,6 ± 1,5	17,1 ± 0,5	7,1 ± 2,4	596,7 ± 91,6
	<b>740</b>	52,0 ± 2,4	107,9 ± 5,9	13,7 ± 0,5	13,1 ± 0,1	5,7 ± 1,0	822,6 ± 33,6
<b>CC<sub>50</sub></b>	<b>380</b>	25,4 ± 2,5	45,8 ± 5,2	13,3 ± 1,3	28,6 ± 0,5	13,8 ± 2,1	494,0 ± 34,9
	<b>560</b>	45,8 ± 1,9	83,8 ± 5,0	14,7 ± 1,1	17,8 ± 0,5	5,1 ± 1,6	574,7 ± 31,3
	<b>740</b>	42,5 ± 6,4	85,5 ± 11,5	10,9 ± 1,5	12,5 ± 0,3	9,8 ± 0,4	805,0 ± 93,2
<b>ANOVA</b>	[ $\text{CO}_2$ ]	*	*	ns	*	ns	*
	$\text{H}_2\text{O}$	ns	ns	ns	*	*	ns
	([ $\text{CO}_2$ ] x $\text{H}_2\text{O}$ )	ns	ns	ns	*	*	ns

Análise realizada com n = 4. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([ $\text{CO}_2$ ]) e umidade do solo ( $\text{H}_2\text{O}$ )) e interação ([ $\text{CO}_2$ ] x  $\text{H}_2\text{O}$ ), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

**Tabela 2:** Efeitos de três concentrações de dióxido de carbono [ $\text{CO}_2$ ] sobre a condutância estomática (**g<sub>s</sub>**), Eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**), taxa de transpiração (**E**) e Eficiência instantânea da transpiração (**EiT**) em plantas de *Cecropia pachystachya* crescidas em 100% da capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo.

Umidade do Solo	[ $\text{CO}_2$ ] ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	Parâmetro			
		<b>g<sub>s</sub></b> ( $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	<b>EiUA</b> ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	<b>E</b> ( $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	<b>EiT</b> ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ )
<b>CC<sub>100</sub></b>	<b>380</b>	1,1 ± 0,4	38,0 ± 8,8	8,2 ± 0,5	3,7 ± 0,3
	<b>560</b>	0,5 ± 0,1	110,4 ± 23,5	6,8 ± 0,5	6,8 ± 0,9
	<b>740</b>	0,5 ± 0,1	117,6 ± 16,6	8,2 ± 0,6	6,7 ± 0,4
<b>CC<sub>50</sub></b>	<b>380</b>	0,3 ± 0,1	91,3 ± 28,0	5,9 ± 1,0	4,8 ± 1,1
	<b>560</b>	0,7 ± 0,1	92,3 ± 35,1	8,2 ± 0,8	5,9 ± 0,8
	<b>740</b>	0,4 ± 0,1	157,0 ± 31,4	5,6 ± 1,3	8,1 ± 1,0
<b>ANOVA</b>	[ $\text{CO}_2$ ]	ns	*	ns	*
	$\text{H}_2\text{O}$	ns	ns	ns	ns
	([ $\text{CO}_2$ ] x $\text{H}_2\text{O}$ )	ns	ns	ns	ns

Análise realizada com n = 4. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([ $\text{CO}_2$ ]) e umidade do solo ( $\text{H}_2\text{O}$ )) e interação ([ $\text{CO}_2$ ] x  $\text{H}_2\text{O}$ ), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

**Tabela 3.** Razão da resposta dos parâmetros (**RRP**) das trocas gasosas sob elevadas [CO<sub>2</sub>] em relação ao tratamento de referência em *Cecropia pachystachya*. Parâmetros das trocas gasosas: Taxa fotossintética máxima (**A<sub>máx</sub>**), taxa respiratória (**R<sub>d</sub>**), condutância estomática (**gs**), taxa transpiratória (**E**), eficiência instantânea da transpiração (**EiT**), eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**) taxa fotorrespiratória (**Fr**), taxa fotorrespiratória relativa (**Fr\*100/A<sub>máx</sub>**).

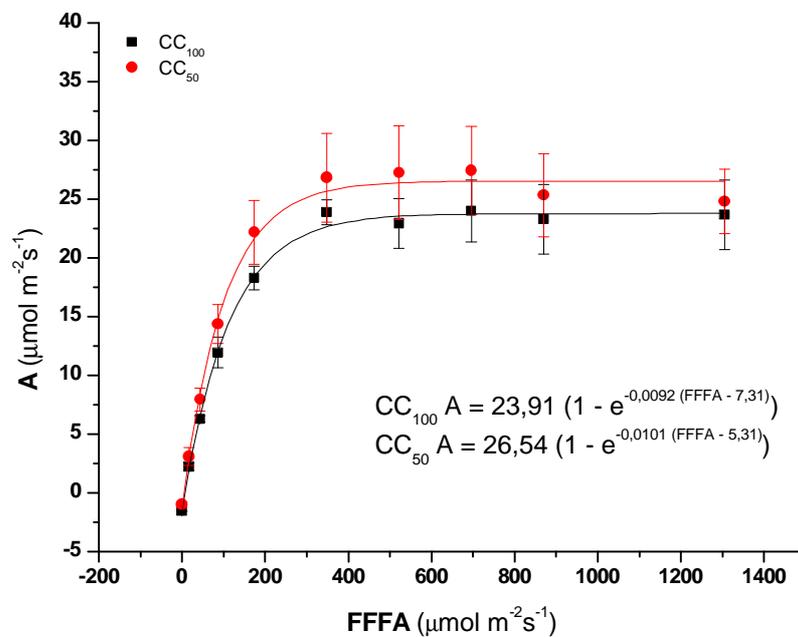
Parâmetro	Razão de Resposta dos Parâmetros de Trocas Gasosas			
	C <sub>a</sub> 560		C <sub>a</sub> 740	
	CC <sub>100</sub>	CC <sub>50</sub>	CC <sub>100</sub>	CC <sub>50</sub>
<b>A<sub>máx</sub></b> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	1,58	1,65	2,12	1,68
<b>R<sub>d</sub></b> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	1,63	0,62	0,87	1,60
<b>gs</b> (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	0,41	0,59	0,44	0,31
<b>E</b> (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	0,83	0,99	0,99	0,67
<b>EiT</b> (μmol mmol <sup>-1</sup> )	1,82	1,58	1,80	2,17
<b>EiUA</b> (μmol mol <sup>-1</sup> )	2,91	2,43	3,09	4,13
<b>Fr</b> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	1,02	1,10	1,02	0,82
<b>(Fr*100) / A<sub>máx</sub></b> (%)	0,66	0,68	0,50	0,48

#### 6.1.1.2. *Esenbeckia leiocarpa* (Não Pioneira).

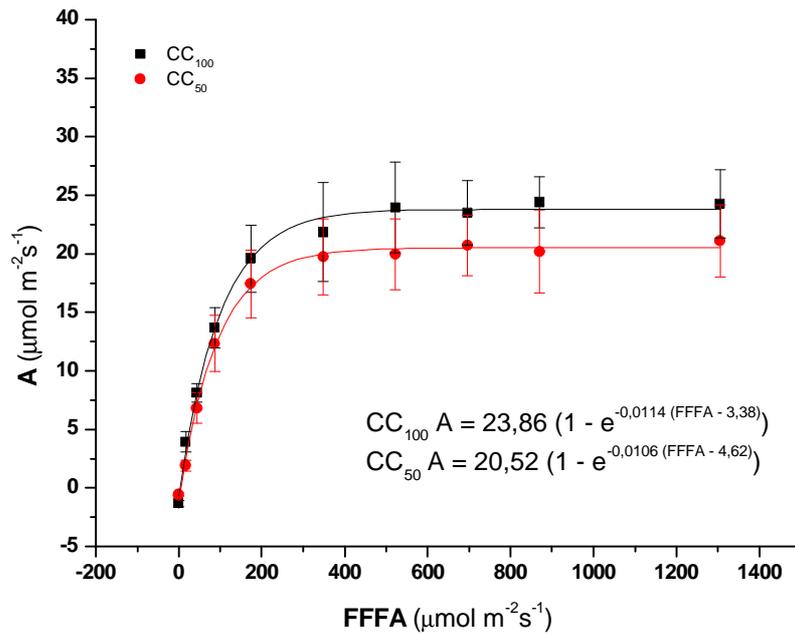
As curvas de resposta da fotossíntese (**A**) em função do fluxo fótons fotossinteticamente ativos (**FFFA**) em plantas da espécie arbórea não pioneira *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas sob concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico de 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> (**C<sub>a</sub>380**, **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740**) em capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e sob 50% da capacidade de campo do solo (**CC<sub>50</sub>**) estão apresentadas respectivamente nas figuras 20, 21 e 22.

Nota-se nas curvas que a taxa fotossintética apresenta uma relação positiva com a luz, independentemente do tratamento com CO<sub>2</sub> ou hídrico há incrementos em **A** sob

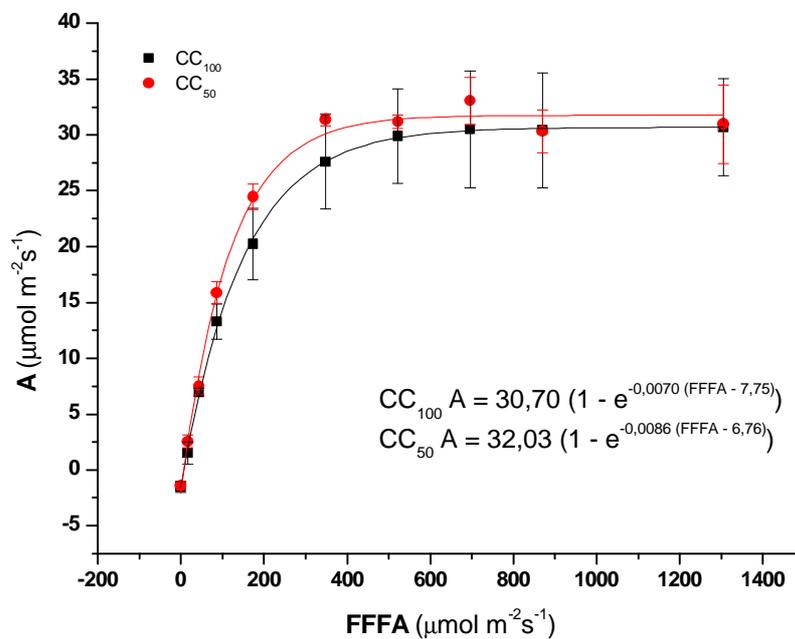
elevadas radiações luminosas. Nos tratamentos 380 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ , as plantas que tiveram o solo mantido sob capacidade de campo obtiveram valores de fotossíntese máxima ( $A_{\text{máx}}$ ) aproximadamente 11% e 4% menores do que as mantidas sob  $\text{CC}_{50}$ , respectivamente. Não obstante, no tratamento  $\text{C}_{a560}$ , o grupo de plantas mantidas sob capacidade de campo do solo apresentou valores cerca de 16% maiores para  $A_{\text{máx}}$  em relação ao grupo sob  $\text{CC}_{50}$ .



**Figura 20.** Curva de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $\text{FFFA}$ ) em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas sob 380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo ( $\text{CC}_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo ( $\text{CC}_{50}$ ) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 3$ ).

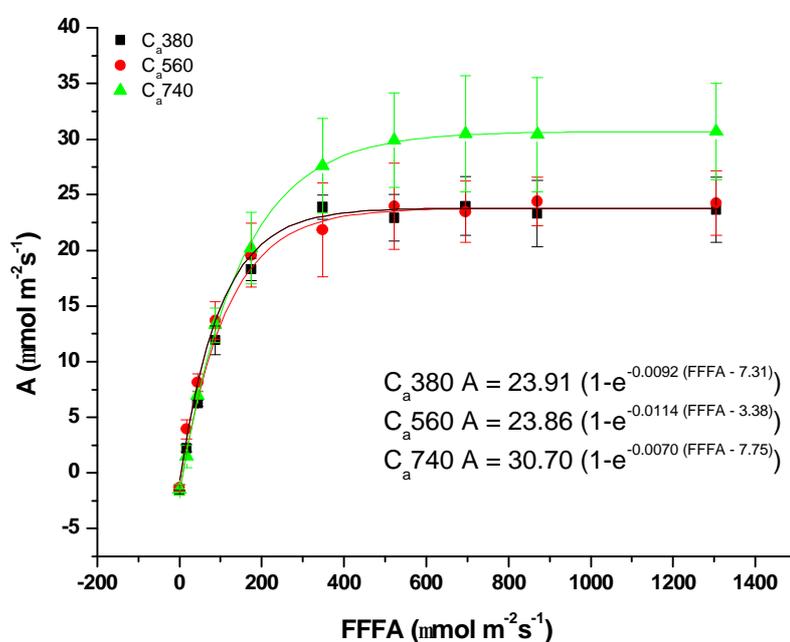


**Figura 21.** Curva de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $FFFA$ ) em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas sob  $560 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo ( $CC_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo ( $CC_{50}$ ) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante ( $25^\circ\text{C}$ ). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 3$ ).

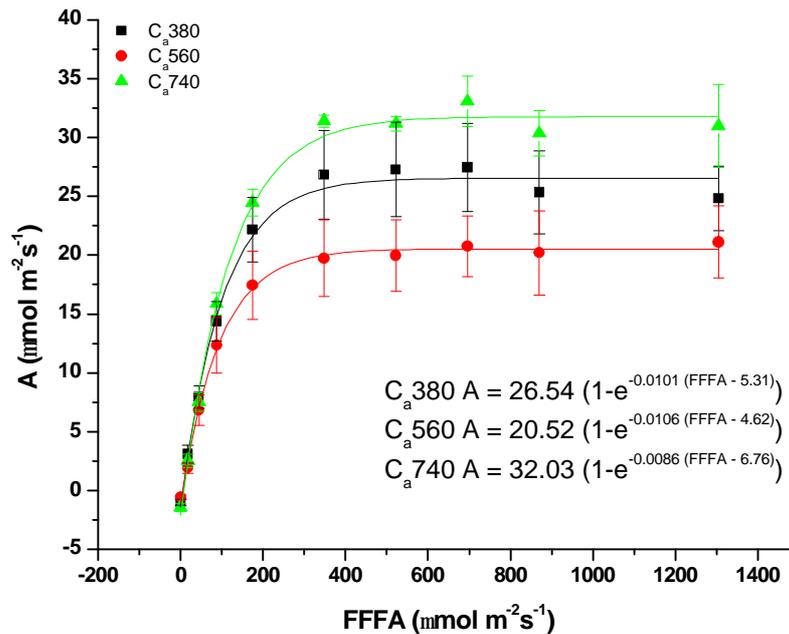


**Figura 22.** Curva de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $FFFA$ ) em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas sob  $740 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo ( $CC_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo ( $CC_{50}$ ) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante ( $25^\circ\text{C}$ ). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 3$ ).

As figuras 23 e 24 mostram as curvas fotossintéticas em função do **FFFA** em todos os tratamentos com CO<sub>2</sub>, em 100% e 50% da capacidade de campo do solo respectivamente. Independentemente do tratamento hídrico aplicado, as plantas do tratamento **C<sub>a</sub>740** foram as que apresentaram os maiores valores para **A<sub>máx</sub>**. Sob **CC<sub>100</sub>**, o tratamento **C<sub>a</sub>560** apresentou uma variação menor que 1% e o tratamento com 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> obteve um acréscimo de cerca de 28% na fotossíntese máxima em relação ao tratamento referencial (380 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sob **CC<sub>100</sub>**) Entretanto, nas plantas mantidas sob 50% da capacidade de campo, houve incrementos de aproximadamente 11% e 34% nos tratamentos **C<sub>a</sub>380** e **C<sub>a</sub>740**, respectivamente. Já em plantas mantidas em atmosfera com 560 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sob **CC<sub>50</sub>**, a **A<sub>máx</sub>** reduziu-se em cerca de 14% em relação ao grupo controle. Os valores médios de **A<sub>máx</sub>**, a razão de resposta em elevadas [CO<sub>2</sub>] e os resultados das análises estatísticas para esse parâmetro podem ser observados nas tabelas 4 e 6.



**Figura 23.** Curva de resposta da fotossíntese (*A*) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (**FFFA**) em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas em capacidade de campo do solo (**CC<sub>100</sub>**) em três concentrações CO<sub>2</sub>. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 3).

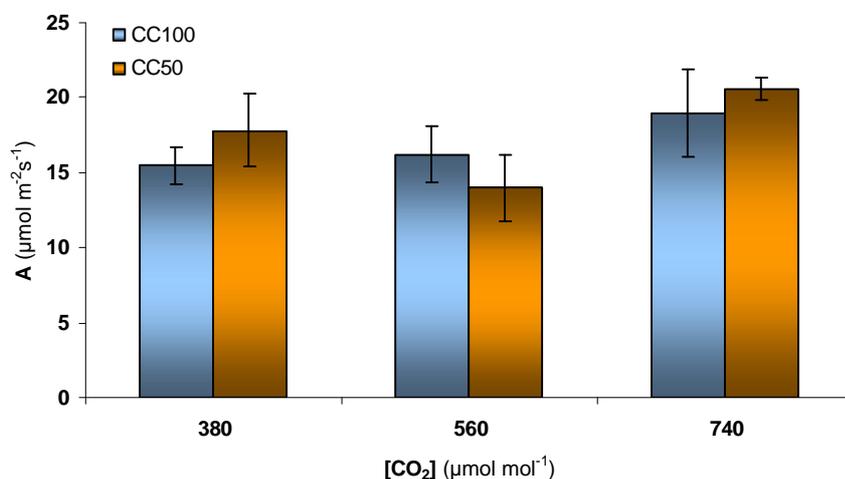


**Figura 24.** Curva de resposta da fotossíntese ( $A$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos ( $FFFA$ ) em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas sob 50% da capacidade de campo ( $CC_{50}$ ) do solo em três concentrações  $CO_2$ . Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante ( $25^\circ C$ ). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 3$ ).

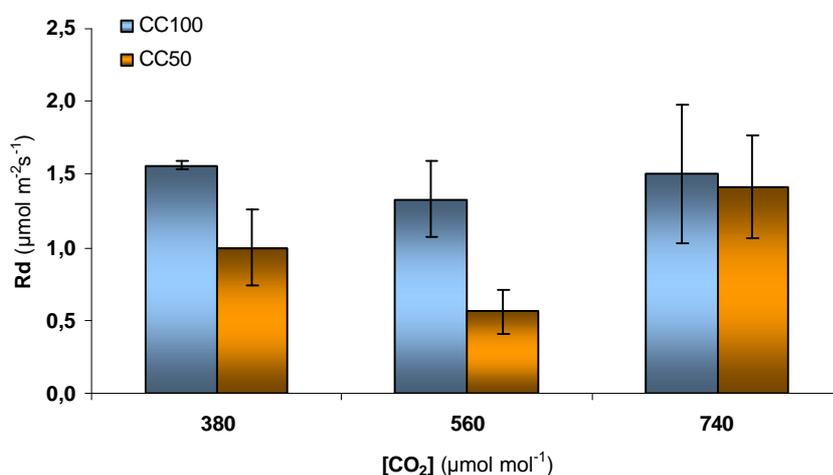
Os valores da Irradiância de Compensação ( $I_c$ ) e da Irradiância de Saturação ( $I_s$ ) (Tabela 4) não variaram significativamente entre os tratamentos com  $CO_2$  ou hídricos. Os valores mais elevados tanto em  $I_c$  quanto em  $I_s$  foram encontrados no tratamento com  $740 \mu mol mol^{-1}$  de  $CO_2$  mantido sob capacidade de campo do solo.

As médias da taxa fotossintética ( $A$ ) em todos os níveis de radiação (Figura 25) sofreram incrementos relacionados ao aumento na concentração de  $CO_2$  atmosférico nas plantas que tiveram o solo mantido em 100% da capacidade de campo. Tais incrementos foram de respectivamente 5% e 22% nos tratamentos com 560 e  $740 \mu mol mol^{-1}$  de  $CO_2$ . Contudo, em plantas mantidas sob  $CC_{50}$ , o tratamento  $C_{a560}$  apresentou redução de cerca de 10% na média fotossintética de todos os níveis de radiação. Já as plantas mantidas sob os tratamentos  $C_{a380}$  e  $C_{a740}$ , também sob  $CC_{50}$ , apresentaram elevações em  $A$  de aproximadamente 15% e 33% respectivamente. Embora tenha havido variações percentuais na média da fotossíntese, não houve diferenças significantes entre

os tratamentos. Os valores da fotossíntese média, a razão de resposta e os resultados das análises estatísticas para esse parâmetro em cada tratamento podem ser observados tabelas 4 e 6.



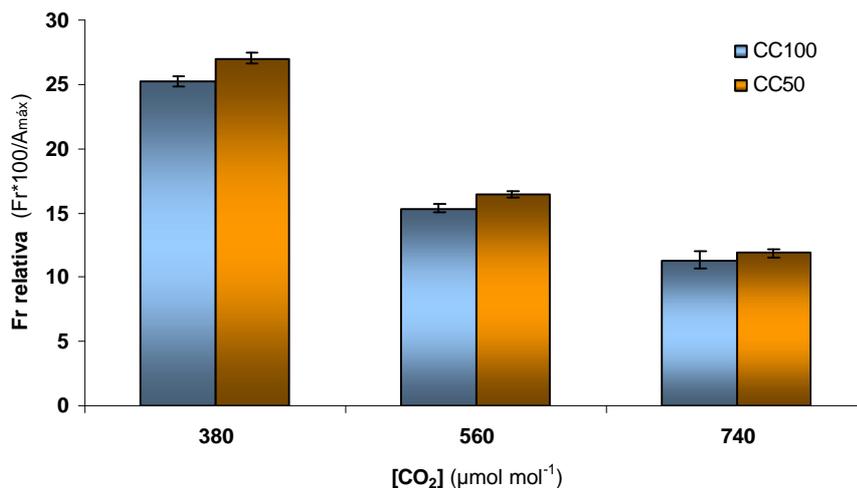
**Figura 25.** Fotossíntese média (A) em *Esenbeckia leiocarpa* sob capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo sob tratamentos de 380,560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 3).



**Figura 26.** Taxa respiratória média (Rd) em *Esenbeckia leiocarpa* sob capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo sob tratamentos de 380,560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 3).

As taxas respiratórias médias (**Rd**) em *Esenbeckia leiocarpa* permaneceram mais elevadas no grupo mantido em **CC<sub>100</sub>** em todas as concentrações de CO<sub>2</sub> (Figura 26). Entretanto, não foram notadas diferenças significativas entre os tratamentos hídricos ou com CO<sub>2</sub>.

As médias da fotorrespiração líquida (**Fr**) e da fotorrespiração relativa (**Fr\*100/A<sub>máx</sub>**), a razão de resposta e os resultados dos testes estatísticos para esses parâmetros podem ser avaliados nas tabelas 4 e 6. As médias da fotorrespiração relativa relacionaram-se negativamente com as elevadas concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> e, independentemente da concentração de dióxido de carbono usada, as plantas mantidas sob **CC<sub>50</sub>** apresentaram valores médios cerca de 6% mais elevados em relação ao grupo de plantas mantido sob capacidade de campo do solo (Figura 27). Sob **CC<sub>100</sub>**, houve reduções próximas a 39% e 55% na fotorrespiração relativa nos tratamentos com 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de CO<sub>2</sub> respectivamente. Logo nas plantas mantidas sob 50% da capacidade de campo do solo, as respectivas reduções nos tratamentos **C<sub>a560</sub>** e **C<sub>a740</sub>** foram de aproximadamente 35% e 53%. As variações encontradas nos tratamentos com CO<sub>2</sub> e hídricos mostraram-se significantes.

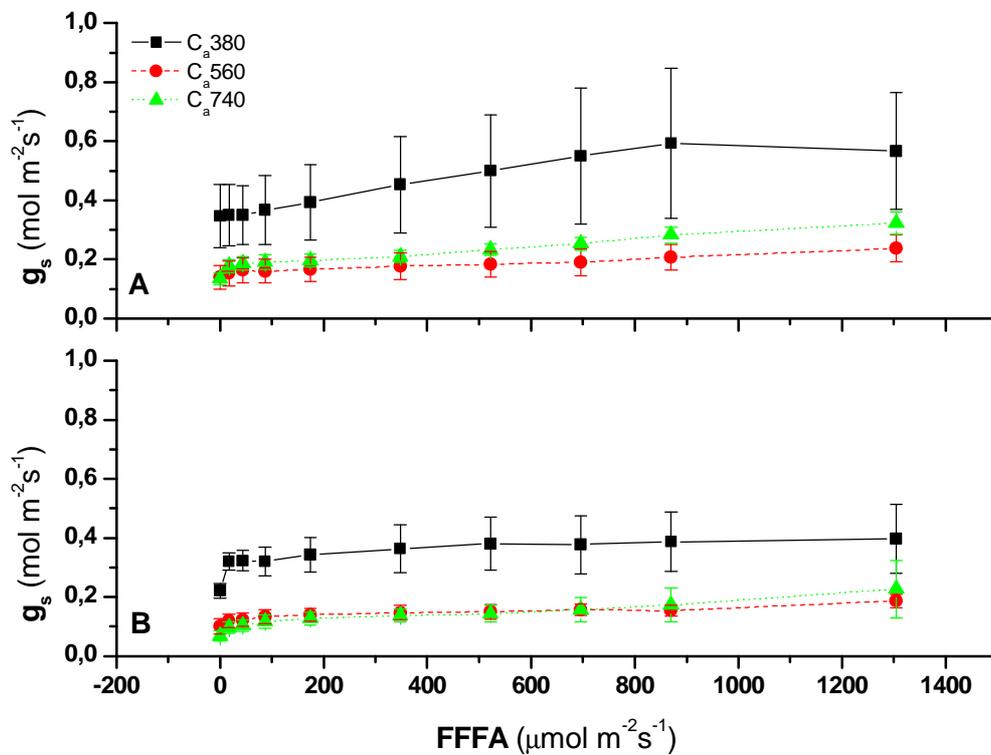


**Figura 27.** Fotorrespiração relativa ( $Fr*100/A_{máx}$ ) em *Esenbeckia leiocarpa* sob capacidade de campo ( $CC_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo ( $CC_{50}$ ) do solo sob tratamentos de 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante ( $25^\circ\text{C}$ ). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 3$ ).

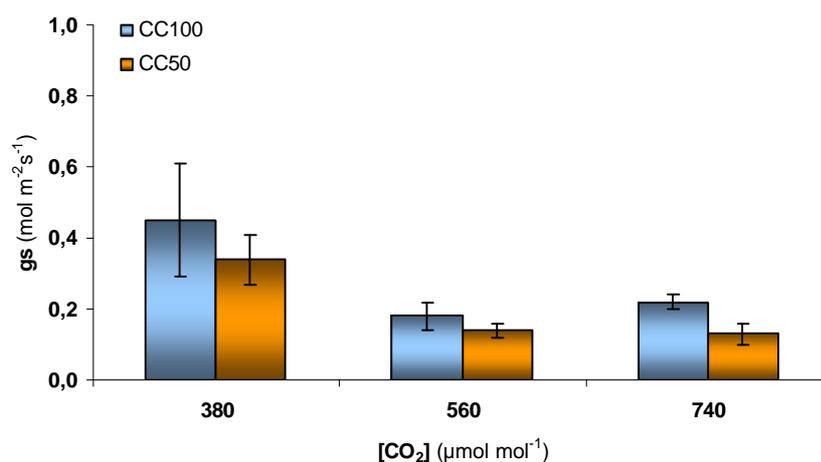
A condutância estomática ( $g_s$ ) expõe tendências a apresentar valores mais elevados em resposta a elevadas luminosidades em qualquer tratamento, evidenciando uma relação direta entre o **FFFA** e a abertura estomática. De maneira geral, a condutância estomática mostrou-se relativamente mais baixa em planta que cresceram sob 50% da capacidade de campo do solo independentemente da concentração de  $\text{CO}_2$  aplicada e, nos dois tratamentos hídricos, os maiores valores de  $g_s$  em todas as radiações encontram-se em  $C_a380$ , revelando uma relação negativa desse parâmetro com as elevadas  $[\text{CO}_2]$  (Figura 28).

A média da condutância estomática ( $g_s$ ) (Figura 29) em todos os valores de **FFFA**, sofreu reduções próximas a 60% e 51% respectivamente nos tratamentos  $C_a560$  e  $C_a740$  sob capacidade de campo do solo. Agora sob  $CC_{50}$ , as diminuições foram de aproximadamente 24%, 68% e 70% respectivamente nas plantas crescidas sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  quando comparadas ao tratamento controle. As médias de  $g_s$  foram cerca de 24%, 22% e 41% menores em plantas mantidas sob  $CC_{50}$  em relação as

do grupo mantido em  $CC_{100}$ , respectivamente em  $C_{a380}$ ,  $C_{a560}$  e  $C_{a740}$ . Contudo, encontraram-se diferenças significativas para  $g_s$  somente entre os tratamentos com  $CO_2$ . As médias, as razões de resposta e os resultados das análises estatísticas para  $g_s$  podem ser vistos nas tabelas 5 e 6.



**Figura 28.** Condutância estomática ( $g_s$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $CO_2$  e sob capacidade de campo (A) e 50% da capacidade de campo (B) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante ( $25^\circ\text{C}$ ). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 3$ ).

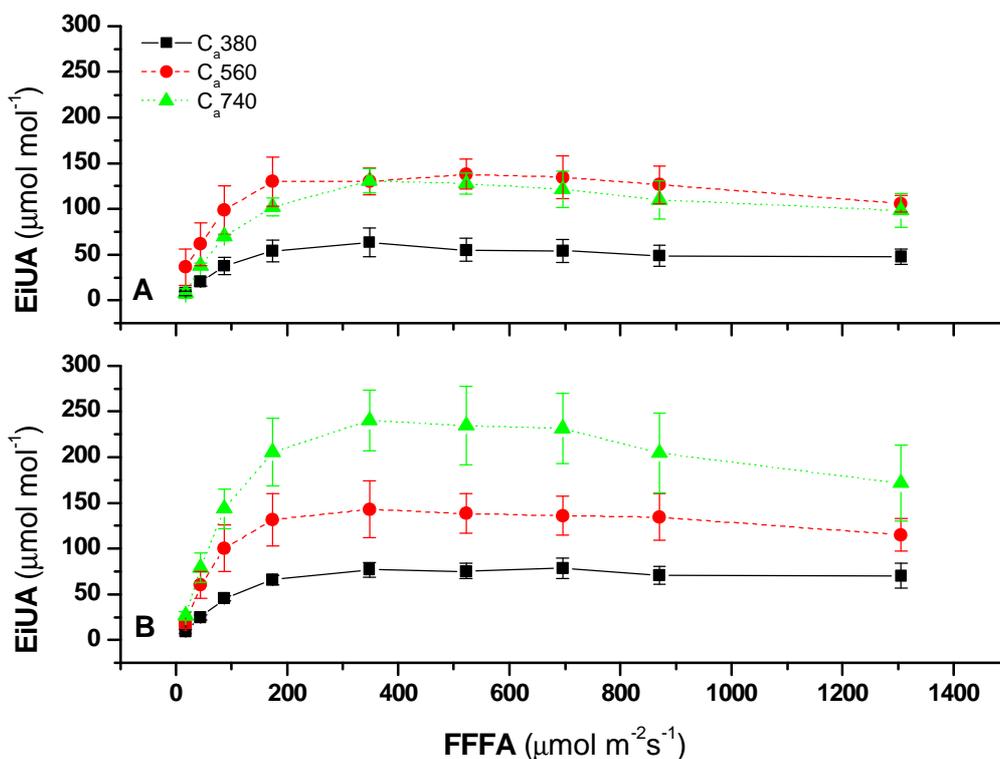


**Figura 29.** Condutância estomática (**gs**) média em *Esenbeckia leiocarpa* sob capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo sob tratamentos de 380,560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média ± erro padrão (n = 3)

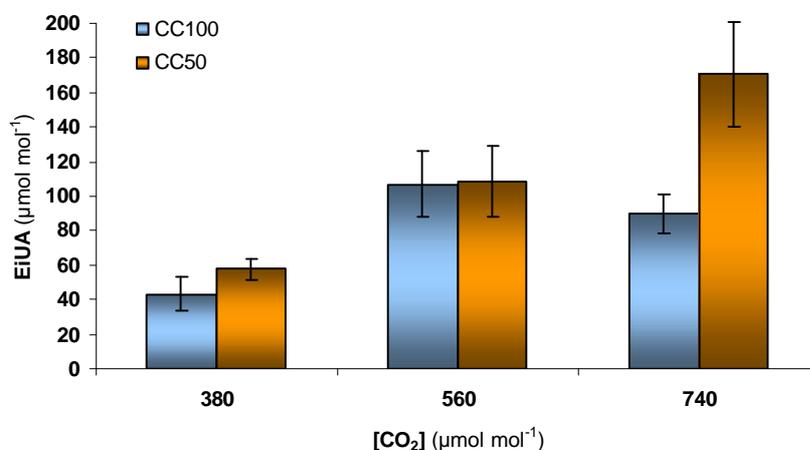
Na figura 30 é possível observar as variações do parâmetro de trocas gasosas que relaciona a taxa fotossintética (**A**) com a condutância estomática (**gs**), a eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**), em todas as faixas de luz. A **EiUA** respondeu positivamente aos tratamentos com elevadas concentrações de dióxido de carbono, sendo que, independentemente do tratamento hídrico, as menores eficiências intrínsecas no uso da água pertencem ao tratamento com CO<sub>2</sub> referencial (**Ca380**). Agora, comparando-se os tratamentos hídricos, as plantas mantidas sob **CC<sub>50</sub>** foram as que tiveram os maiores valores na **EiUA**.

Logo, considerando a média da **EiUA** em todas as faixas de luz (Figura 31), nota-se incrementos nesse parâmetro independentemente do tratamento. Em todas as concentrações de CO<sub>2</sub>, o tratamento **CC<sub>50</sub>** apresentou os maiores valores médios na **EiUA**, cerca de 33% e 90% respectivamente sob 380 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> e cerca de apenas 1% para o tratamento **Ca560**. As plantas mantidas sob **CC<sub>50</sub>** mostraram incrementos médios de aproximadamente 33%, 150% e 294% sob concentrações de

CO<sub>2</sub> de respectivamente 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$ . Já as plantas do tratamento CC<sub>100</sub> sob C<sub>a</sub>560 e C<sub>a</sub>740 suportaram elevações respectivas próximas a 147% e 107% nas médias da **EiUA**. As médias, as razões de resposta e os resultados das análises estatísticas para a **EiUA** estão nas tabelas 5 e 6.

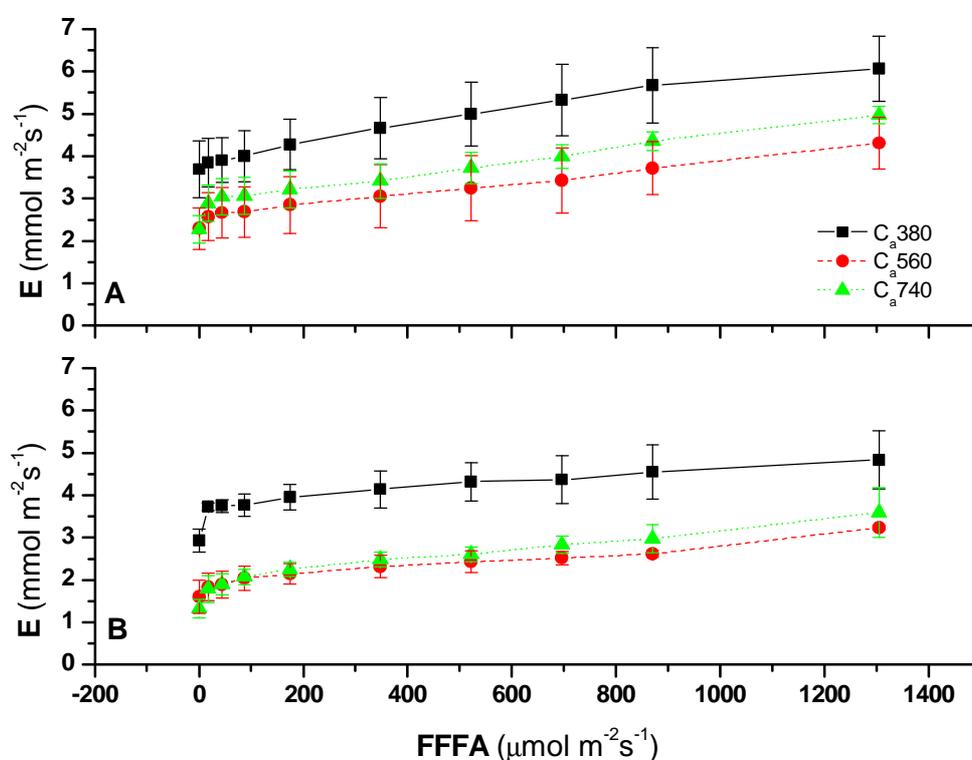


**Figura 30.** Eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (**FFFA**) em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de CO<sub>2</sub> e sob capacidade de campo (A) e 50% da capacidade de campo (B) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 3).



**Figura 31.** Eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**) média em *E. leiocarpa* sob 100% e 50% da capacidade de campo do solo sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de CO<sub>2</sub>. Medições das 8:00 às 12:00 horas sob 25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 3).

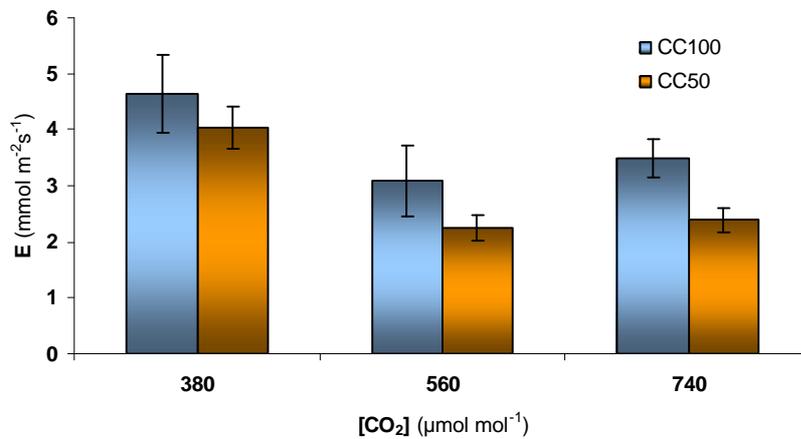
Observando a figura 32, é possível notar que as plantas mantidas sob 50% da capacidade de campo do solo apresentaram menores taxas de transpiração quando comparadas com as plantas crescidas sob tratamento  $CC_{100}$  em uma mesma concentração de  $CO_2$ . Também nota-se que, independentemente do tratamento hídrico, o tratamento  $C_a380$  foi o que apresentou os maiores valores de transpiração em todas as faixas de luz, seguido respectivamente pelos tratamentos com 740 e 560  $\mu mol mol^{-1}$  de  $CO_2$ .



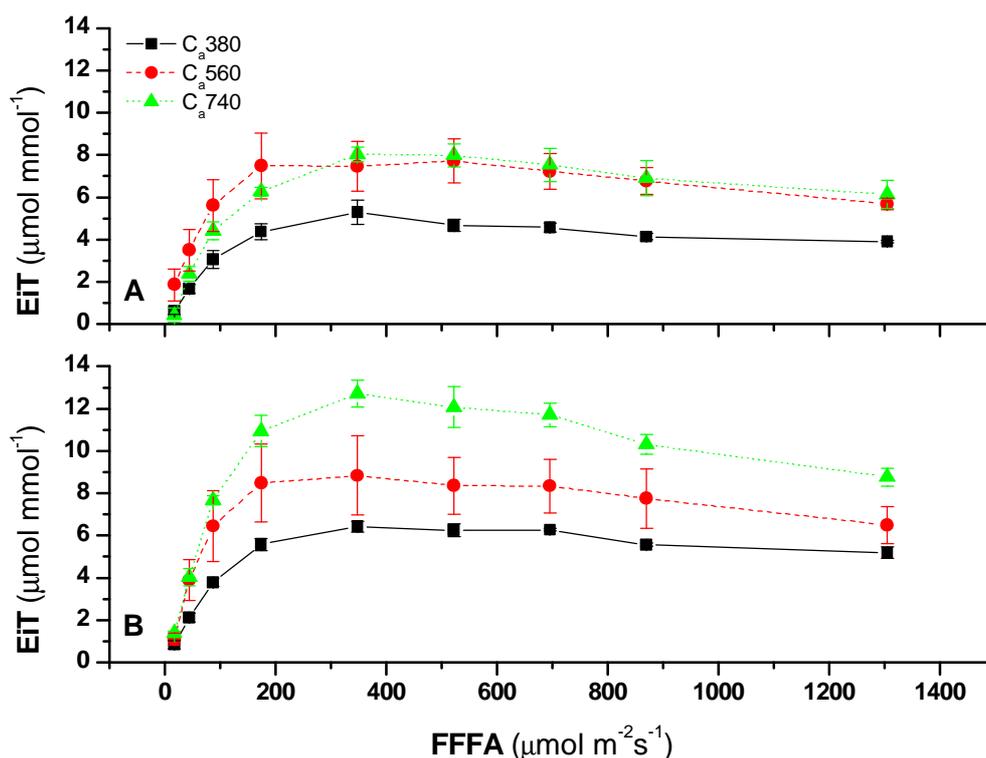
**Figura 32.** Transpiração ( $E$ ) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA) em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas sob 380, 560 e 740  $\mu mol mol^{-1}$  de  $CO_2$  e sob capacidade de campo (A) e 50% da capacidade de campo (B) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 3$ ).

Tratando-se dos valores médios da transpiração (Figura 33), todos os tratamentos sofreram diminuições em relação ao tratamento de referência ( $C_a380$  sob  $CC_{100}$ ). Tais reduções foram em torno de 25% e 34% nos tratamentos  $CC_{100}$  sob 740 e

560  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  respectivamente. Já em  $\text{C}_a380$ ,  $\text{C}_a560$  e  $\text{C}_a740$  sob  $\text{CC}_{50}$ , os respectivos abaixamentos nas médias de  $\text{E}$  estiveram próximos a 13%, 51% e 49%. Sob  $\text{CC}_{100}$ , as plantas de *E. leiocarpa* mantidas em 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  mostraram transpiração médias aproximadamente 27% e 32% maiores que as mantidas sob  $\text{CC}_{50}$ . Houve diferenças significativas entre os tratamentos hídricos e de  $\text{CO}_2$  para a  $\text{E}$ . Valores da transpiração média, razões de resposta e os resultados das análises estatísticas estão nas tabelas 5 e 6.



**Figura 33.** Transpiração ( $\text{E}$ ) média em *Esenbeckia leiocarpa* sob capacidade de campo ( $\text{CC}_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo ( $\text{CC}_{50}$ ) do solo sob tratamentos de 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 3).

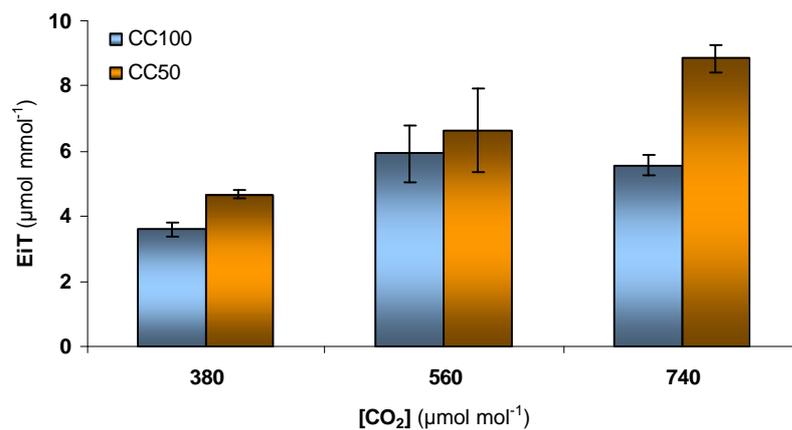


**Figura 34.** Eficiência instantânea da transpiração (**EiT**) em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (**FFFA**) em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* cultivadas sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  e sob capacidade de campo (A) e 50% da capacidade de campo (B) do solo. Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante ( $25^\circ\text{C}$ ). Média  $\pm$  erro padrão ( $n = 3$ ).

A relação da fotossíntese (A) com a quantidade de água transpirada (E), a eficiência instantânea da transpiração (**EiT**), também foi avaliada em função do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (**FFFA**) (Figura 34). A **EiT** respondeu positivamente aos tratamentos com elevadas concentrações de dióxido de carbono. Assim, as plantas sob os tratamentos **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740** tiveram eficiências instantâneas da transpiração mais elevadas que as sob  $\text{CO}_2$  referencial ( $380 \mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ ). Nota-se ainda, que para uma mesma concentração de  $\text{CO}_2$ , o grupo de plantas mantido sob 50% da capacidade de campo do solo teve **EiT** mais elevadas que as do grupo sob **CC<sub>100</sub>**.

Os incrementos na **EiT** média (Figura 35) foram de respectivamente cerca de 55% e 65% em concentrações de  $\text{CO}_2$  de 740 e 560  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  sob capacidade de campo do solo. Porém, nas plantas mantidas sob **CC<sub>50</sub>**, os aumentos na **EiT** estiveram

próximos 30%, 85% e 146% nos tratamentos **C<sub>a</sub>380**, **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740** respectivamente. Já entre os tratamentos hídricos, os aumentos na média da **EiT** sob **CC<sub>50</sub>** chegaram a 30%, 12% e 59% em relação ao tratamento **CC<sub>100</sub>** nas concentrações de 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Houve diferenças significativas entre os tratamentos hídricos e de  $\text{CO}_2$  para **EiT**. Os valores médios da **EiT**, razões de resposta e os resultados das análises estatísticas estão nas tabelas 5 e 6.



**Figura 35.** Eficiência instantânea da transpiração (**EiT**) média em *Esenbeckia leiocarpa* sob capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo sob tratamentos de 380,560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Medições realizadas das 8:00 às 12:00 horas sob temperatura constante (25°C). Média  $\pm$  erro padrão (n = 3).

**Tabela 4:** Efeitos de três concentrações de dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>] sobre a fotossíntese média (**A**), fotossíntese máxima (**A<sub>máx</sub>**), taxa de fotorrespiração (**Fr**), fotorrespiração relativa (**Fr\*100/A<sub>máx</sub>**), irradiância de compensação (**Ic**) e irradiância de saturação (**Is**), em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* crescidas em 100% da capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo.

Umidade do Solo	[CO <sub>2</sub> ] (μmol mol <sup>-1</sup> )	Parâmetros de Trocas Gasosas					
		<b>A</b> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	<b>A<sub>máx</sub></b> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	<b>Fr</b> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	<b>Fr*100/A<sub>máx</sub></b> (%)	<b>Ic</b> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	<b>Is</b> (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<b>CC<sub>100</sub></b>	<b>380</b>	15,5 ± 1,3	23,9 ± 2,6	6,0 ± 0,8	25,3 ± 0,4	7,0 ± 0,2	270,1 ± 42,6
	<b>560</b>	16,2 ± 1,9	23,9 ± 3,3	3,7 ± 0,5	15,4 ± 0,4	3,4 ± 1,4	227,9 ± 55,7
	<b>740</b>	19,0 ± 2,9	30,7 ± 4,9	3,5 ± 0,7	11,3 ± 0,7	7,8 ± 2,2	342,1 ± 30,5
<b>CC<sub>50</sub></b>	<b>380</b>	17,8 ± 2,4	26,5 ± 3,6	6,7 ± 0,8	27,1 ± 0,4	5,3 ± 1,4	233,8 ± 7,7
	<b>560</b>	14,0 ± 2,2	20,5 ± 3,0	3,5 ± 0,5	16,5 ± 0,2	4,6 ± 0,7	224,3 ± 13,8
	<b>740</b>	20,6 ± 0,7	32,0 ± 1,8	3,7 ± 0,3	11,9 ± 0,5	6,8 ± 1,9	288,6 ± 48,6
<b>ANOVA</b>	[CO <sub>2</sub> ]	ns	*	*	*	ns	ns
	H <sub>2</sub> O	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	[(CO <sub>2</sub> ) x H <sub>2</sub> O]	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Análise realizada com n = 3. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([CO<sub>2</sub>]) e umidade do solo (H<sub>2</sub>O)) e interação ([CO<sub>2</sub>) x H<sub>2</sub>O]), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

**Tabela 5:** Efeitos de três concentrações de dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>] sobre a condutância estomática (**gs**), Eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**), taxa de transpiração (**E**) e Eficiência instantânea da transpiração (**EiT**) em plantas de *Essenbeckia leiocarpa* crescidas em 100% da capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**).

Umidade do Solo	[CO <sub>2</sub> ] (μmol mol <sup>-1</sup> )	Parâmetros de Trocas Gasosas			
		<b>gs</b> (mol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	<b>EiUA</b> (μmol mol <sup>-1</sup> )	<b>E</b> (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	<b>EiT</b> (μmol mmol <sup>-1</sup> )
<b>CC<sub>100</sub></b>	<b>380</b>	0,5 ± 0,2	43,3 ± 9,7	4,6 ± 0,7	3,6 ± 0,2
	<b>560</b>	0,2 ± 0,0	106,9 ± 19,0	3,1 ± 0,6	5,9 ± 0,9
	<b>740</b>	0,2 ± 0,0	89,7 ± 11,0	3,5 ± 0,4	5,6 ± 0,3
<b>CC<sub>50</sub></b>	<b>380</b>	0,3 ± 0,0	57,5 ± 6,2	4,0 ± 0,4	4,7 ± 0,1
	<b>560</b>	0,1 ± 0,0	108,4 ± 20,9	2,3 ± 0,2	6,6 ± 1,3
	<b>740</b>	0,1 ± 0,0	170,8 ± 30,5	2,4 ± 0,2	8,8 ± 0,4
<b>ANOVA</b>	[CO <sub>2</sub> ]	*	*	*	*
	H <sub>2</sub> O	ns	ns	*	*
	[(CO <sub>2</sub> ) x H <sub>2</sub> O]	ns	ns	ns	ns

Análise realizada com n = 3. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([CO<sub>2</sub>]) e umidade do solo (H<sub>2</sub>O)) e interação ([CO<sub>2</sub>) x H<sub>2</sub>O]), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

**Tabela 6.** Razão da resposta dos parâmetros (**RRP**) das trocas gasosas sob elevadas  $[\text{CO}_2]$  em relação ao tratamento de referência em *Esenbeckia leiocarpa*. Parâmetros das trocas gasosas: Taxa fotossintética máxima ( $A_{\text{máx}}$ ), taxa respiratória (**Rd**), condutância estomática (**gs**), taxa transpiratória (**E**), eficiência instantânea da transpiração (**EiT**), eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**) taxa fotorrespiratória (**Fr**), taxa fotorrespiratória relativa (**Fr\*100/A<sub>máx</sub>**).

Parâmetro	Razão de Resposta dos Parâmetros de Trocas Gasosas			
	$C_a560$		$C_a740$	
	CC <sub>100</sub>	CC <sub>50</sub>	CC <sub>100</sub>	CC <sub>50</sub>
$A_{\text{máx}}$ ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	1.00	0.86	1.28	1.34
<b>R<sub>d</sub></b> ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	0.85	0.36	0.96	0.91
<b>gs</b> ( $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	0.40	0.32	0.49	0.30
<b>E</b> ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	0.66	0.49	0.75	0.51
<b>EiT</b> ( $\mu\text{mol mmol}^{-1}$ )	1.65	1.85	1.55	2.46
<b>EiUA</b> ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	2.47	2.50	2.07	3.94
<b>Fr</b> ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )	0.63	0.58	0.59	0.61
<b>(Fr*100) / A<sub>máx</sub></b> (%)	0.61	0.65	0.45	0.47

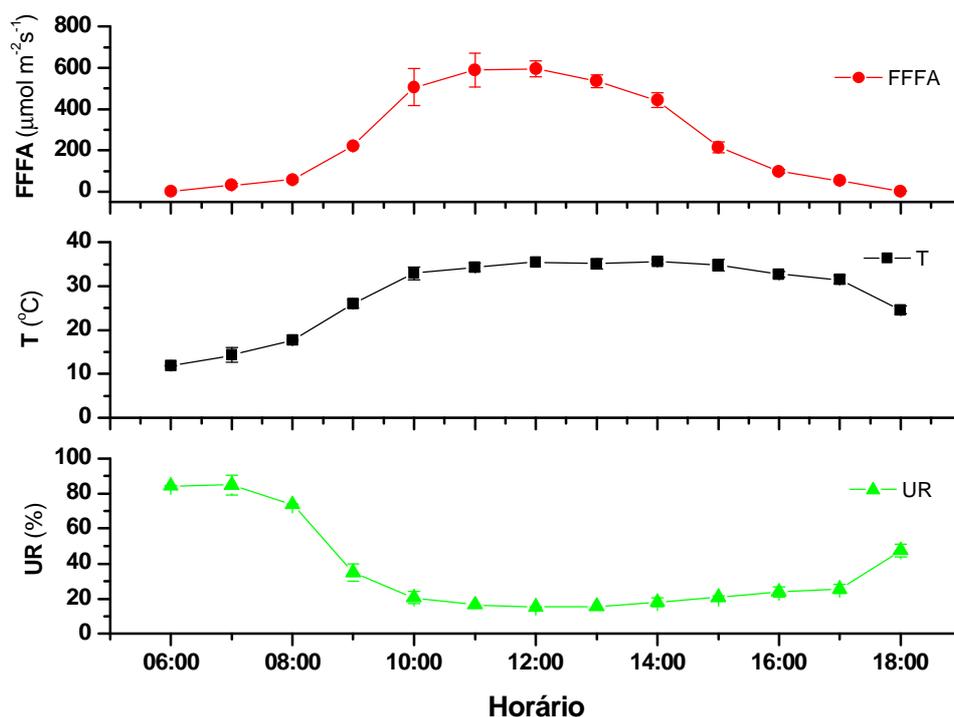
## 6.1.2. Determinação da fluorescência da clorofila.

### 6.1.2.1 Condições microclimáticas.

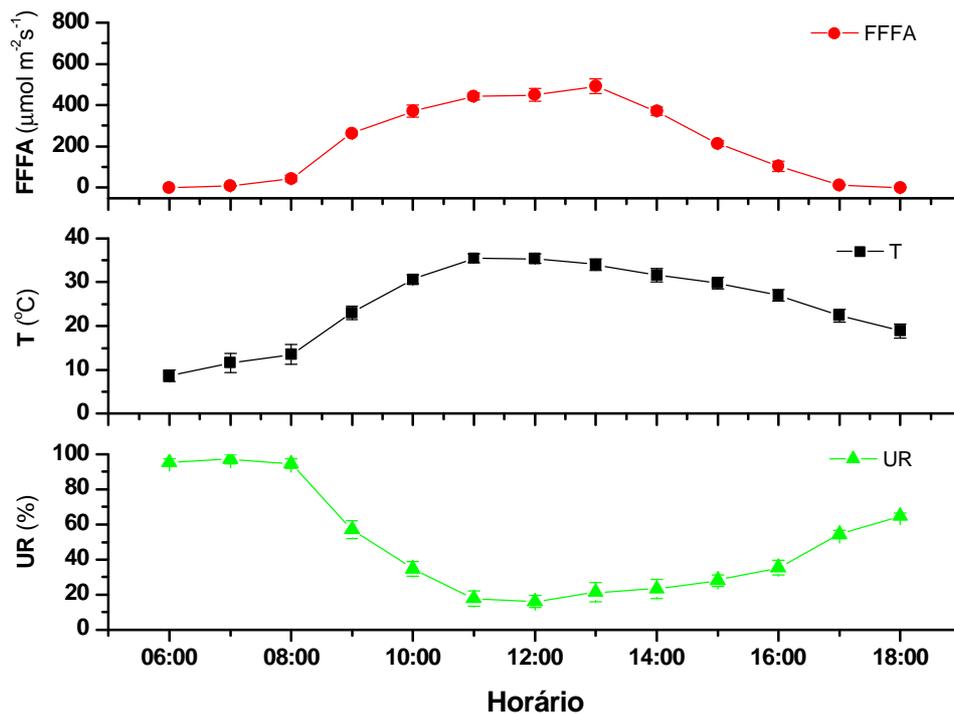
A eficiência fotoquímica máxima do Fossistema II, estimada através da relação entre a fluorescência variável (**Fv**) e a fluorescência máxima (**Fm**), a razão **Fv/Fm**, está intimamente relacionada aos fatores microclimáticos do ambiente, como o fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (**FFFA**), a temperatura (**T**) e a umidade relativa do ar (**UR**). A razão **Fv/Fm** é um índice que varia entre 0 e 1 e faixa próxima a 0,7 é o valor crítico dessa razão. Valores acima de 0,7 indicam que o fotossistema II está funcionando adequadamente, sem que haja necessidade de dissipação da energia

luminosa em forma de fluorescência. No entanto, valores de  $F_v/F_m$  abaixo de 0,7 indicam que a planta provavelmente encontra-se fotoinibida.

Nas figuras 36 e 37 podem-se notar os cursos diurnos médios das condições microclimáticas nos dias em foram realizadas as avaliações da eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II, respectivamente para as espécies *Cecropia pachystachya* e *Esenbeckia leiocarpa*. Nos dois cursos diurnos médios, os maiores valores para o FFFA e a temperatura são encontrados próximos as 12:00 horas. Esse mesmo horário relaciona-se com os menores valores na umidade relativa do ar.



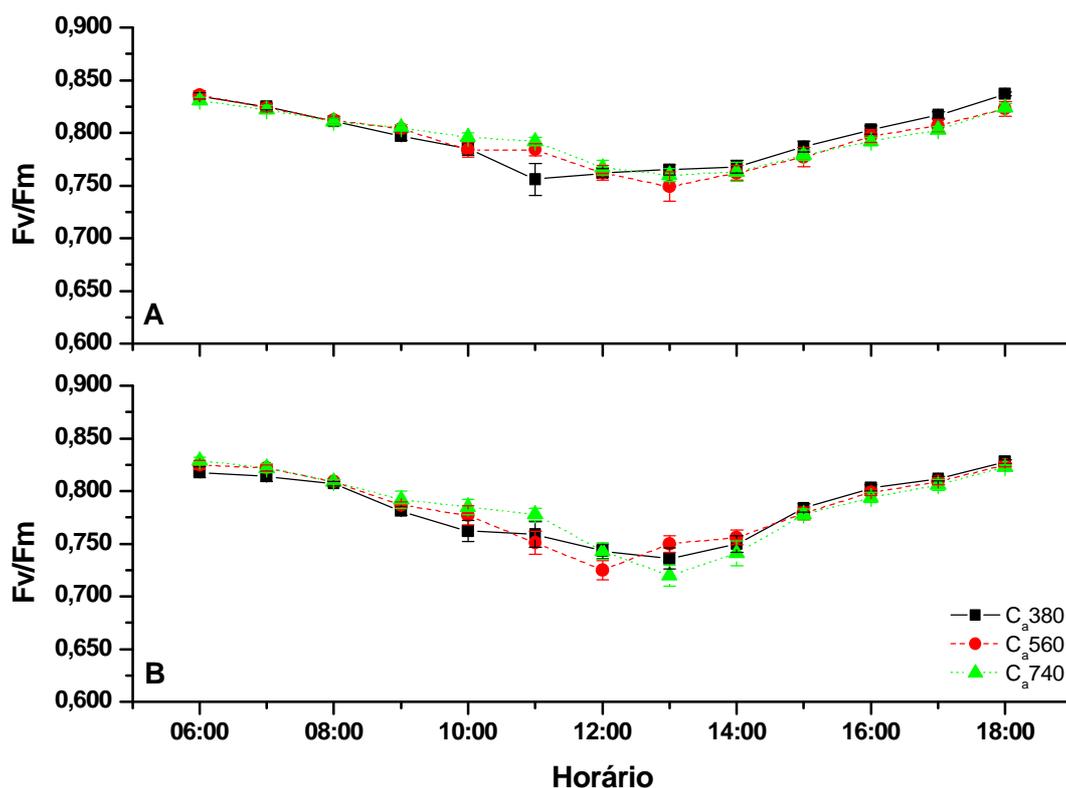
**Figura 36.** Média dos cursos diurnos do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA), temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) nos dias das avaliações da fluorescência para a espécie *Cecropia pachystachya*.



**Figura 37.** Média dos cursos diurnos do fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (FFFA), temperatura (T) e umidade relativa do ar (UR) nos dias das avaliações da fluorescência para a espécie *Esenbeckia leiocarpa*.

#### 6.1.2.2. Razão $F_v/F_m$ em *Cecropia pachystachya*.

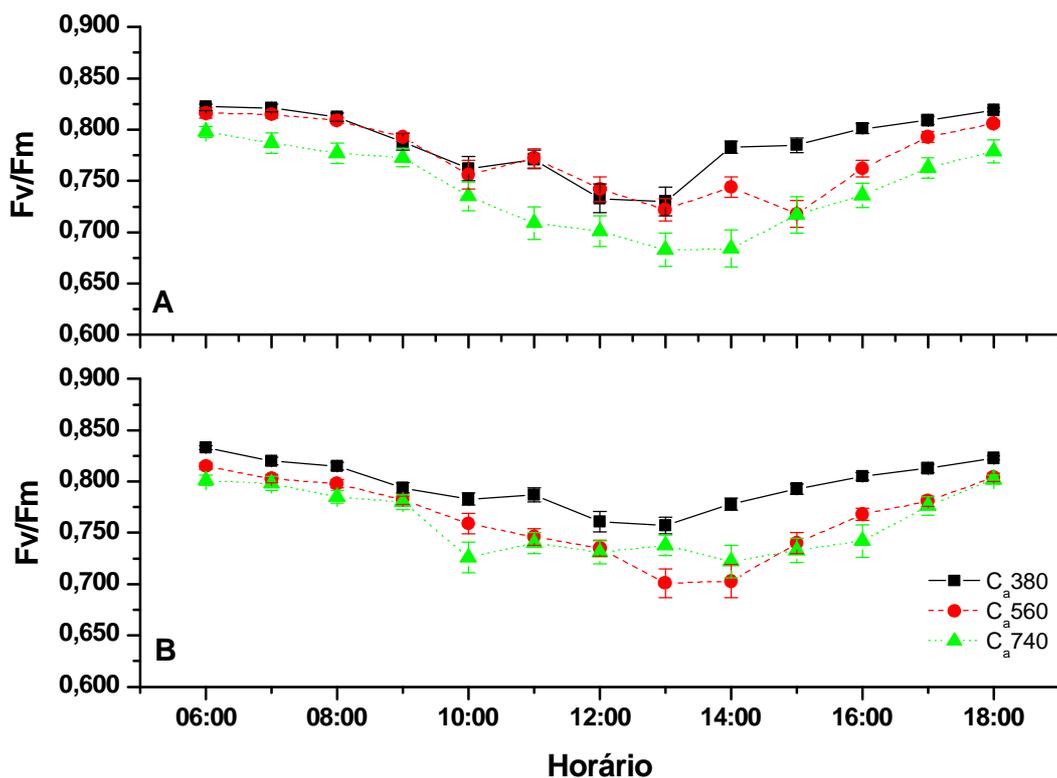
A razão  $F_v/F_m$  na espécie *Cecropia pachystachya* não apresentou diferenças entre os tratamentos com  $\text{CO}_2$ , independentemente do tratamento hídrico, como pode ser observado na figura 38. Tanto nas plantas mantidas sob capacidade de campo quanto nas mantidas sob 50% da capacidade de campo do solo, mesmo nas horas em que a radiação luminosa foi mais intensa (cerca de 12:00 horas), a razão  $F_v/F_m$  não chegou a valores abaixo de 0,7. Portanto, não foi observado indícios de fotoinibição na espécie pioneira *Cecropia pachystachya*. Entretanto, nota-se que nas plantas sob  $\text{CC}_{50}$ , que razão  $F_v/F_m$  apresentou valores ligeiramente mais baixos que os das plantas mantidas em capacidade de campo do solo, principalmente em torno das 12:00 horas.



**Figura 38.** Variação da razão  $F_v/F_m$  nos cursos diurnos da fluorescência para a espécie *Cecropia pachystachya*, em 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  sob 100% (A) e 50% (B) da capacidade de campo do solo. (n = 6).

### 6.1.2.3. Razão $F_v/F_m$ em *Esenbeckia leiocarpa*.

As respostas da razão  $F_v/F_m$  na espécie *E. leiocarpa* crescidas em 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  sob  $\text{CC}_{100}$  e  $\text{CC}_{50}$  estão apresentadas na figura 39. Nas plantas mantidas sob  $\text{CC}_{100}$ , os menores valores na razão  $F_v/F_m$ , durante todo o curso diurno, pertencem ao tratamento  $\text{C}_a740$ , que diferiram significativamente do tratamento  $\text{C}_a380$ . As plantas desse mesmo tratamento ( $\text{C}_a740$  sob  $\text{CC}_{100}$ ) apresentaram evidências de fotoinibição ( $F_v/F_m < 0,7$ ) durante o período entre 13:00 e 14:00 horas. Já nas plantas mantidas sob  $\text{CC}_{50}$  do solo, nenhum dos tratamentos com  $\text{CO}_2$  apresentou valores de  $F_v/F_m$  menores que 0,7. Entretanto, foram encontradas diferenças significantes entre o tratamento  $\text{C}_a380$  e os tratamentos sob elevadas concentrações de dióxido de carbono ( $\text{C}_a560$  e  $\text{C}_a740$ ).



**Figura 39.** Variação da razão  $F_v/F_m$  nos cursos diurnos da fluorescência para a espécie *Esenbeckia leiocarpa*, em 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  sob 100% (A) e 50% (B) da capacidade de campo do solo. ( $n = 3$ ).

### 6.1.3. Concentração dos Pigmentos Fotossintéticos.

#### 6.1.3.1. *Cecropia pachystachya*

Os pigmentos fotossintéticos que tiveram as concentrações avaliadas foram à clorofila *a*, a clorofila *b*, a clorofila total (*a + b*) e os carotenóides. Também foram avaliadas as relações entre as clorofilas *a* e *b* (*a / b*) e entre os carotenóides e clorofila total (carotenóides / *a + b*) (Tabela 7)

A concentração da clorofila *a* foi mais elevada no tratamento com 380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ , independentemente do tratamento hídrico. Sob o mesmo tratamento com  $\text{CO}_2$ , as plantas mantidas sob  $\text{CC}_{50}$  mostraram concentrações de clorofila *a* cerca de 23%, 29% e 33% mais elevadas que as das plantas mantidas sob  $\text{CC}_{100}$  respectivamente

nos tratamentos **C<sub>a</sub>740**, **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>380**. Nas plantas mantidas sob **CC<sub>100</sub>**, os tratamentos com 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  sofreram reduções próximas a 9% e 5% na concentração da clorofila **a** em relação ao tratamento referencial (**C<sub>a</sub>380** sob **CC<sub>100</sub>**). Já as plantas sob **CC<sub>50</sub>** do solo mostraram incrementos respectivos de cerca de 17% e 18% nos tratamentos **C<sub>a</sub>740** e **C<sub>a</sub>560** (Tabela 7). Houve diferenças significativas apenas entre os tratamentos hídricos em relação à concentração da clorofila **a**.

**Tabela 7:** Efeitos de três concentrações de  $\text{CO}_2$  sobre a concentração de clorofila **a**, **b**, total (**a + b**), carotenóides, razão Clorofila **a/b** e razão carotenóides/clorofila total, em plantas de *Cecropia pachystachya* (Pioneira) crescidas em 100% da capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo.

		Concentração dos pigmentos fotossintéticos					
Umidade do Solo	[CO <sub>2</sub> ] ( $\mu\text{mol mol}^{-1}$ )	Clorofila	Clorofila	Clorofila	Carotenóides ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )	Clorofila	Car/a+b
		<b>a</b> ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )	<b>b</b> ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )	<b>a+b</b> ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ )		<b>a/b</b>	
<b>CC<sub>100</sub></b>	<b>380</b>	8,4 ± 0,6	2,8 ± 0,3	11,2 ± 0,9	3,1 ± 0,2	3,0 ± 0,0	0,3 ± 0,0
	<b>560</b>	7,7 ± 0,7	2,7 ± 0,3	10,3 ± 1,0	3,1 ± 0,3	2,9 ± 0,0	0,3 ± 0,0
	<b>740</b>	7,9 ± 0,6	2,8 ± 0,2	10,7 ± 0,8	3,0 ± 0,2	2,8 ± 0,0	0,3 ± 0,0
<b>CC<sub>50</sub></b>	<b>380</b>	11,2 ± 0,7	4,0 ± 0,3	15,2 ± 1,0	4,2 ± 0,3	2,8 ± 0,0	0,3 ± 0,0
	<b>560</b>	9,9 ± 1,1	3,6 ± 0,5	13,4 ± 1,6	3,1 ± 0,3	2,8 ± 0,1	0,3 ± 0,0
	<b>740</b>	9,80 ± 0,5	3,6 ± 0,2	13,4 ± 0,7	3,6 ± 0,2	2,8 ± 0,0	0,3 ± 0,0
<b>ANOVA</b>	[CO <sub>2</sub> ]	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	H <sub>2</sub> O	*	*	*	*	*	*
	[(CO <sub>2</sub> ) x H <sub>2</sub> O]	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Análise realizada com n = 6. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([CO<sub>2</sub>]) e umidade do solo (H<sub>2</sub>O)) e interação ([CO<sub>2</sub>] x H<sub>2</sub>O), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

Assim como para clorofila **a**, a concentração da clorofila **b** foi mais elevada sob 380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ , não importando o tratamento hídrico, e as plantas mantidas sob **CC<sub>50</sub>** apresentaram concentrações mais altas em relação às plantas sob mesma [CO<sub>2</sub>] em **CC<sub>100</sub>**. Os incrementos na concentração da clorofila **b** nas plantas sob **CC<sub>50</sub>** foram de aproximadamente 41% no tratamento **C<sub>a</sub>380** e de cerca de 25% nos tratamentos com

560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  (Tabela 7). Também houve diferenças significantes apenas entre os tratamentos hídricos.

A concentração total das clorofilas (**a** + **b**) reflete os padrões encontrados nas clorofilas **a** e **b**. Reduções na concentração das clorofilas nos tratamentos com elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  em um mesmo tratamento hídrico, concentrações mais elevadas de clorofila nas plantas sob **CC**<sub>50</sub>, independentemente da [ $\text{CO}_2$ ], e diferenças significativas somente entre tratamentos hídricos (Tabela 7). A concentração de carotenóides não apresentou diferenças significativas em relação aos tratamentos com  $\text{CO}_2$ , contudo houve diferenças significantes entre os tratamentos hídricos. As plantas mantidas sob **CC**<sub>50</sub> foram as que apresentaram a concentração mais elevada de carotenóides, cerca de 37% mais elevada que o tratamento controle. As razões entre clorofila **a/b** e carotenóides/clorofilas totais mostraram diferenças significativas entre os tratamentos hídricos.

#### 6.1.3.2. *Esenbeckia leiocarpa*.

Assim como em *C. pachystachya*, as concentrações das clorofilas **a**, **b**, clorofilas totais e carotenóides na espécie *Esenbeckia leiocarpa* foram mais elevadas nas plantas mantidas sob 50% da capacidade de campo do solo independentemente da concentração de  $\text{CO}_2$ . Os maiores valores pertencem ao tratamento com 380  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  sob **CC**<sub>50</sub>, com aproximadamente 73%, 91%, 78% e 47% de incrementos nas concentrações da clorofila **a**, **b**, total e dos carotenóides respectivamente. Entre os tratamentos hídricos do solo foram encontradas diferenças significantes para esses parâmetros (Tabelas 8).

**Tabela 8:** Efeitos de três concentrações de CO<sub>2</sub> sobre a concentração de clorofila *a*, *b*, total (*a* + *b*), carotenóides, razão Clorofila *a/b* e razão carotenóides/clorofila total, em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* (Não pioneira) crescidas em 100% da capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo.

		Concentração dos pigmentos fotossintéticos					
Umidade do Solo	[CO <sub>2</sub> ] (μmol mol <sup>-1</sup> )	Clorofila	Clorofila	Clorofila	Carotenóides	Clorofila	Car/a+b
		<i>a</i> (μmol g <sup>-1</sup> )	<i>b</i> (μmol g <sup>-1</sup> )	<i>a+b</i> (μmol g <sup>-1</sup> )	(μmol g <sup>-1</sup> )	<i>a/b</i>	
CC <sub>100</sub>	380	4,3 ± 0,5	1,7 ± 0,2	6,0 ± 0,7	2,1 ± 0,3	2,5 ± 0,0	0,4 ± 0,0
	560	3,3 ± 0,6	1,5 ± 0,2	4,8 ± 0,7	1,9 ± 0,2	2,1 ± 0,3	0,4 ± 0,0
	740	3,3 ± 0,2	1,4 ± 0,0	4,6 ± 0,2	1,5 ± 0,2	2,4 ± 0,1	0,3 ± 0,0
CC <sub>50</sub>	380	7,4 ± 1,1	3,2 ± 0,3	10,6 ± 1,5	3,1 ± 0,3	2,2 ± 0,1	0,3 ± 0,0
	560	6,4 ± 0,1	2,5 ± 0,1	8,9 ± 0,1	2,5 ± 0,2	2,6 ± 0,1	0,3 ± 0,0
	740	6,0 ± 1,0	2,6 ± 0,3	8,6 ± 1,3	2,7 ± 0,4	2,3 ± 0,2	0,3 ± 0,0
ANOVA	[CO <sub>2</sub> ]	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	H <sub>2</sub> O	*	*	*	*	ns	*
	[(CO <sub>2</sub> ) x H <sub>2</sub> O]	ns	ns	ns	ns	*	ns

Análise realizada com n = 3. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([CO<sub>2</sub>]) e umidade do solo (H<sub>2</sub>O)) e interação ([CO<sub>2</sub>] x H<sub>2</sub>O), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

## 6.2. Avaliações Morfológicas.

### 6.2.1. Análise do crescimento das plantas.

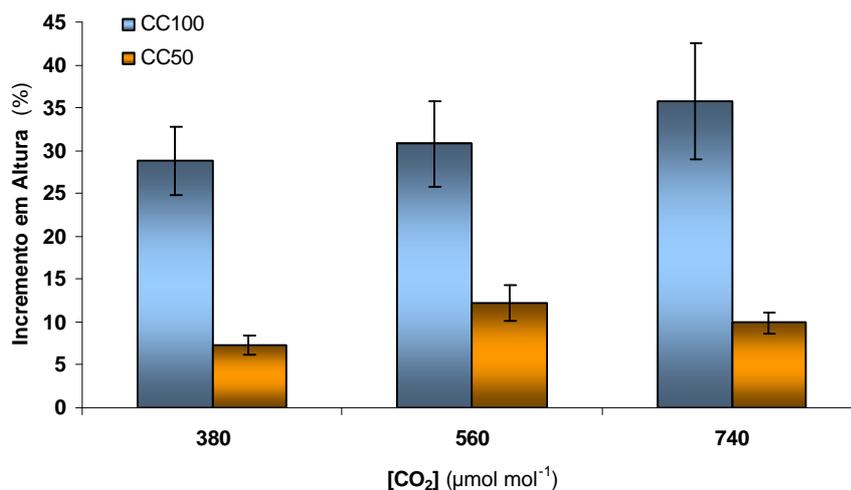
#### 6.2.1.1. *Cecropia pachystachya* (Pioneira).

A figura 40 mostra plantas da espécie *Cecropia pachystachya* ao final do experimento, representando cada tratamento aplicado.



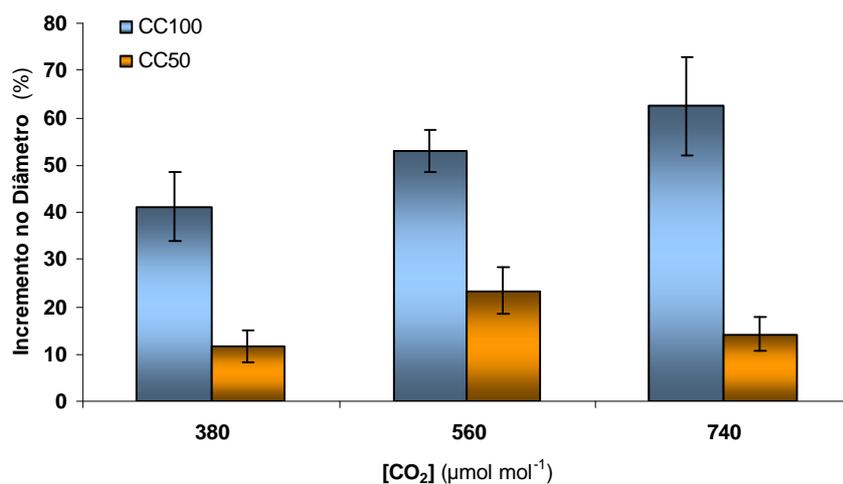
**Figura 40.** Plantas de *Cecropia pachystachya* crescidas em 100% (A) e 50% (B) da capacidade de campo do solo ao final do experimento. Da esquerda para direita: **C<sub>a</sub>380**, **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740**.

As respostas do crescimento em altura na espécie *Cecropia pachystachya* podem ser observadas na figura 41. Em ambos os tratamentos hídricos, as plantas mantidas sob elevadas concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> apresentaram os maiores percentuais de crescimento em altura. Sob capacidade de campo do solo, os incrementos na altura foram de respectivamente 29%, 31% e 36% nos tratamentos com 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Já nas plantas que tiveram o solo mantido sob CC<sub>50</sub>, os crescimentos foram de 7%, 12% e 10% nos tratamentos **C<sub>a</sub>380**, **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740**. Nota-se que as plantas da espécie *Cecropia pachystachya* apresentaram maior crescimento percentual em altura nas plantas mantidas sob capacidade de campo em relação às mantidas sob CC<sub>50</sub>. Houve diferença significativa apenas entre os tratamentos hídricos. As médias da altura das plantas no fim do experimento e os resultados das análises estatísticas estão apresentados na tabela 9.

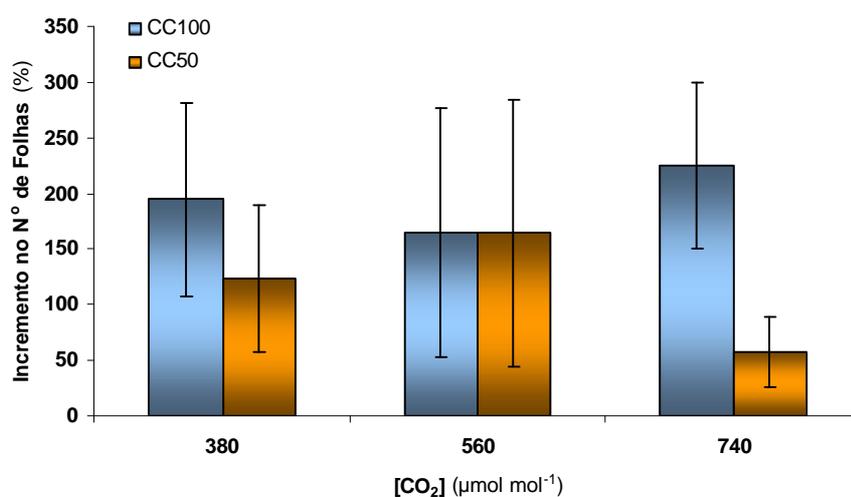


**Figura 41.** Crescimento percentual em Altura em *Cecropia pachystachya*, sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo, em relação à altura no início do experimento. Média  $\pm$  Erro-padrão.

O crescimento percentual do diâmetro do caule à altura do solo (**DAS**) em *Cecropia pachystachya* repetiu os mesmos padrões encontrados para o crescimento em altura (Figura 42). Independentemente do estado hídrico do solo, o crescimento percentual no **DAS** foi maior nos grupos mantidos sob elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  e, independentemente da concentração de  $\text{CO}_2$  aplicada, os maiores percentuais de crescimento no diâmetro pertencem às plantas mantidas sob capacidade de campo do solo. O crescimento percentual mais acentuado no diâmetro do caule pertence às plantas crescidas em 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  sob capacidade de campo do solo, cerca de 62%. Agora, nas plantas mantidas sob **CC<sub>50</sub>**, o crescimento mais elevado foi de aproximadamente 23% no tratamento **C<sub>a</sub>560**. Os valores médios do **DAS** no final do experimento e os resultados das análises estatísticas estão apresentados na tabela 9. Também houve diferença significativa apenas entre os tratamentos hídricos do solo.



**Figura 42.** Crescimento percentual no Diâmetro do caule à altura do solo em *Cecropia pachystachya*, sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo do solo (CC<sub>50</sub>) do solo, em relação ao diâmetro no início do experimento. Média ± Erro-padrão.

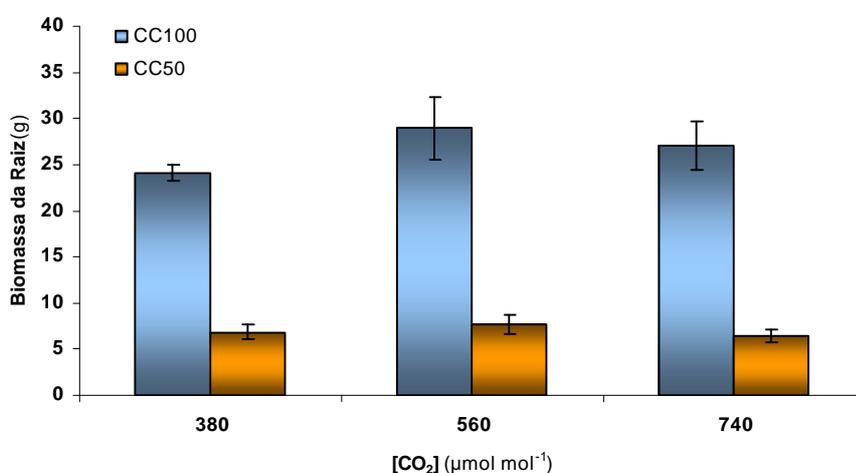


**Figura 43.** Aumento percentual no número de folhas em *Cecropia pachystachya*, sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo do solo (CC<sub>50</sub>) do solo, em relação ao número de folhas no início do experimento. Média ± Erro-padrão.

O aumento no número de folhas (Figura 43) foi de 195%, 165% e 225% respectivamente nos tratamentos com 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sob capacidade de campo do solo. Já nas plantas mantidas sob CC<sub>50</sub>, os aumentos percentuais no

número de folhas estiveram próximos a 124%, 164% e 57% respectivamente nos tratamentos **C<sub>a</sub>380**, **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740**. Apenas entre as condições hídricas do solo foram encontradas diferenças significativas (Tabela 9)

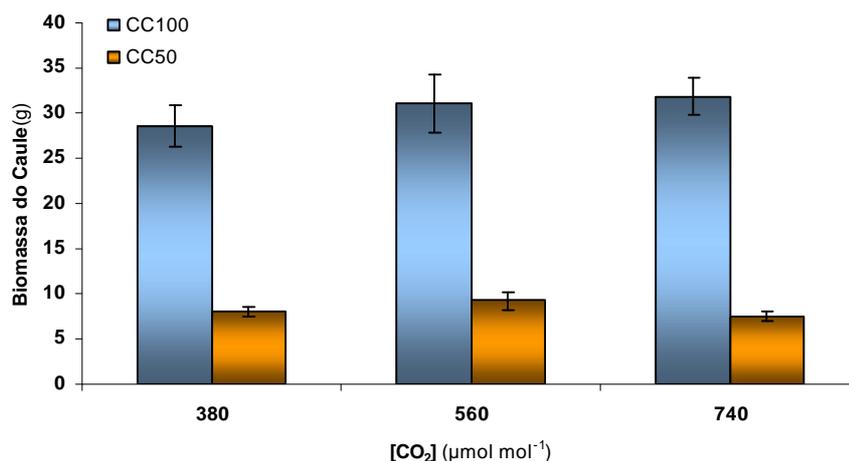
Na figura 44, estão apresentados os valores médios da biomassa total da raiz em todos os tratamentos. Nota-se que as plantas crescidas em solo sob 100% da capacidade de campo tiveram biomassas radiculares mais elevadas que as plantas mantidas sob 50% da capacidade de campo do solo. No grupo mantido em capacidade de campo do solo, as plantas sob concentração de CO<sub>2</sub> de 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de CO<sub>2</sub> apresentaram elevações respectivas de aproximadamente 20% e 12% em relação as plantas do tratamento **C<sub>a</sub>380**. Não houve diferenças significativas entre os tratamentos do CO<sub>2</sub>. Entretanto, foram encontradas diferenças significantes entre os tratamentos hídricos do solo (Tabela 10).



**Figura 44.** Biomassa da Raiz (g) em *Cecropia pachystachya*, sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo do solo (**CC<sub>50</sub>**) do solo. Média  $\pm$  Erro-padrão.

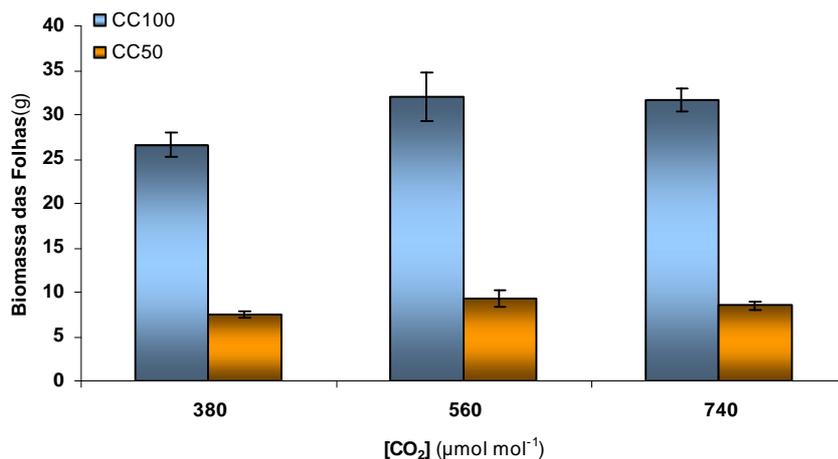
Não importando o tratamento de CO<sub>2</sub>, as plantas mantidas sob capacidade de campo do solo foram as que mostraram os maiores acúmulos de biomassa do caule (Figura 45). O maior acúmulo médio em biomassa de caule deu-se nas plantas crescidas em concentração de CO<sub>2</sub> de 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  sob capacidade de campo do solo. Tal

acúmulo foi de 31,86 g, valor elevado em cerca de 12% em relação ao tratamento controle ( $C_a380$  sob  $CC_{100}$ ). Nas plantas mantidas sob 505 da capacidade de campo do solo, o maior acúmulo de biomassa do caule foi encontrado no tratamento  $C_a560$ , aproximadamente 9,22 g.. Houve diferenças significativas somente entre os tratamentos hídricos do solo (Tabela 10).



**Figura 45.** Biomassa do Caule (g) em *Cecropia pachystachya*, sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo ( $CC_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo do solo ( $CC_{50}$ ) do solo. Média ± Erro-padrão.

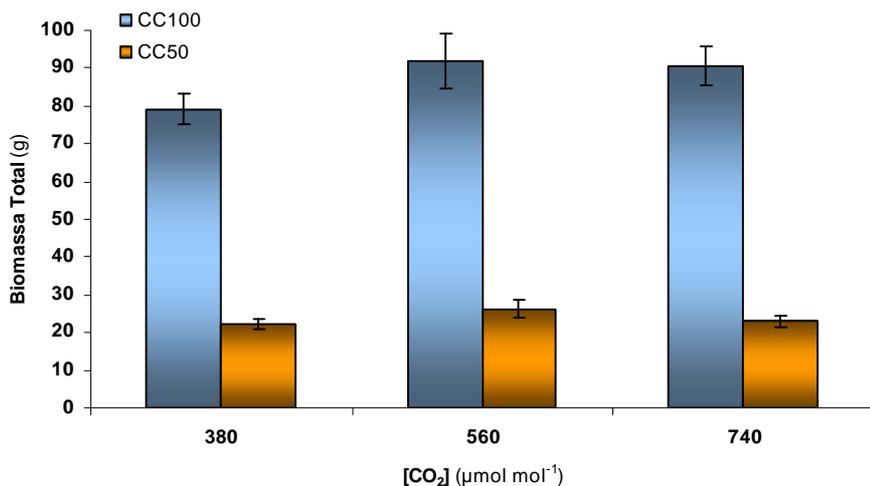
O acúmulo de biomassa das folhas (Figura 46) foi mais elevado nas plantas mantidas em 100% da capacidade de campo do solo do que nas plantas mantidas sob  $CC_{50}$ . Não obstante, o tratamento de 560 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> apresentou os maiores valores de acúmulo de biomassa das folhas, cerca de 31,93 g no grupo sob  $CC_{100}$  e cerca de 9,25 g sob  $CC_{50}$ . Sob capacidade de campo do solo, as plantas crescidas sob elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> tiveram aumentos no acúmulo de biomassa das folhas de cerca de 19%. Já em plantas mantidas sob  $CC_{50}$ , o aumento médio no acúmulo de biomassa das folhas também teve a mesma magnitude (cerca de 19%) em relação ao tratamento  $C_a380$ . Encontraram-se diferenças significativas nos tratamentos hídricos e com CO<sub>2</sub> (Tabela 10).



**Figura 46.** Biomassa das Folhas (g) em *Cecropia pachystachya*, sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo do solo (**CC<sub>50</sub>**) do solo. Média  $\pm$  Erro-padrão.

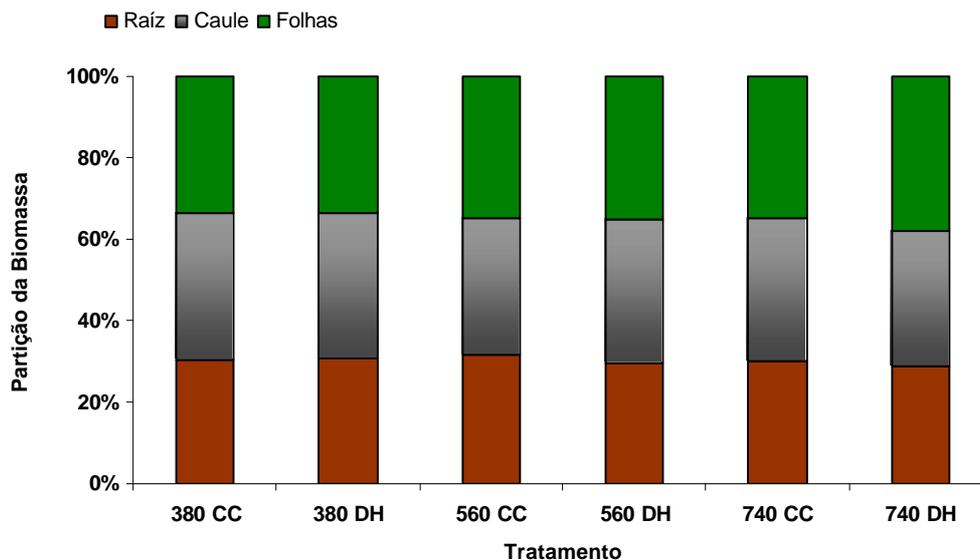
O acúmulo total de biomassa reflete os padrões encontrados para os diferentes órgãos das plantas (Figura 47). O grupo de plantas mantido sob 100% de capacidade de campo do solo mostrou maior acúmulo de biomassa total em relação ao grupo de plantas crescidas sob **CC<sub>50</sub>**, essa diferença foi maior que 250% em todos os tratamentos com  $\text{CO}_2$ . Nos dois tratamentos hídricos aplicados, as plantas que receberam 560  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  foram as que obtiveram o maior acúmulo de biomassa total na espécie *C. pachystachya*. Para biomassa total, foram encontradas diferenças significativas somente entre os tratamentos hídricos (Tabela 10).

A relação raiz / parte aérea (raiz / caule + folhas) da biomassa permaneceu praticamente inalterada, próxima a 0,4, independentemente do tratamento aplicado às plantas. Não houve qualquer diferença significativa entre os tratamentos hídricos ou com  $\text{CO}_2$  para essa razão (Tabela 10).



**Figura 47.** Biomassa Total (g) em *Cecropia pachystachya*, sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo do solo (CC<sub>50</sub>) do solo. Média ± Erro-padrão.

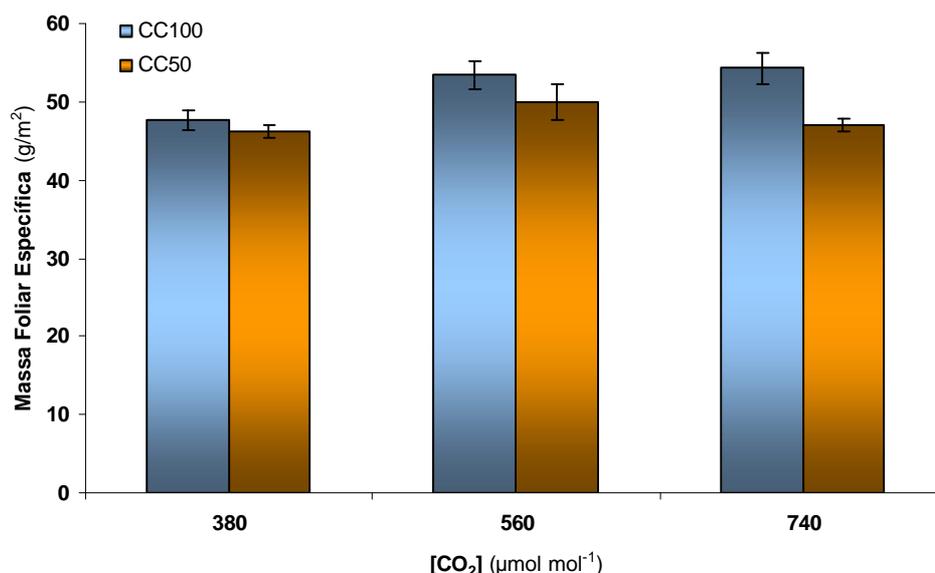
A partição da biomassa em todos os tratamentos, na espécie *Cecropia pachystachya*, pode ser vista na figura 48. Nota-se que não houve acentuada convergência na partição da biomassa em direção a nenhum dos órgãos da planta. Em relação à biomassa das folhas houve uma tendência ao aumento da proporção relativa a esse órgão sob elevadas concentrações de dióxido de carbono. Nas concentrações de 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, as proporções relativas à biomassa das folhas estiveram respectivamente próximas a 33%, 35% e 36%. A maior e a menor proporção foram encontradas respectivamente em C<sub>a</sub>740 (38%) e C<sub>a</sub>380 (33%), ambas sob CC<sub>50</sub>. A proporção relativa à biomassa do caule apresentou uma tendência contrária à encontrada nas folhas, ou seja, as maiores proporções foram observadas no tratamento C<sub>a</sub>380 (36%) e as menores no tratamento C<sub>a</sub>740 (34%). A proporção da biomassa das plantas relativa às raízes variou pouco entre os tratamentos, permanecendo continuamente em torno de 30%.



**Figura 48.** Partição da Biomassa (%). em *Cecropia pachystachya*, sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo ( $\text{CC}_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo do solo ( $\text{CC}_{50}$ ) do solo.

O incremento da área foliar nas plantas da espécie *Cecropia pachystachya* crescidas sob  $\text{CC}_{50}$  foi significativamente menor, com reduções de cerca de 70%, que o das plantas mantidas sob capacidade de campo do solo (Tabela 10). Entretanto, entre os tratamentos com  $\text{CO}_2$  não houve diferenças significantes.

A massa foliar específica (**MFE**) respondeu positivamente aos tratamentos com elevadas concentrações de  $\text{CO}_2$  (Figura 49). Tendo como referencial o tratamento controle ( $\text{C}_a380$  sob  $\text{CC}_{100}$ ), as plantas crescidas sob capacidade de campo do solo apresentaram elevações de cerca de 12% e 14% respectivamente nas concentrações 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ . Já sob  $\text{CC}_{50}$ , o tratamento  $\text{C}_a560$  mostrou o maior valor de **MFE**, aproximadamente 5% mais alto que o do tratamento controle.



**Figura 49.** Massa foliar específica (g/m<sup>2</sup>) em *Cecropia pachystachya*, sob 380, 560 e 740 µmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo do solo (CC<sub>50</sub>) do solo. Média ± Erro-padrão.

**Tabela 9:** Efeitos de três concentrações de dióxido de carbono sobre os parâmetros de crescimento em plantas de *Cecropia pachystachya* (Pioneira) crescidas em 100% da capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>).

Umidade do Solo	[CO <sub>2</sub> ] (µmol mol <sup>-1</sup> )	Parâmetros de Crescimento			
		Altura (cm)	DAS (cm)	Número de Folhas	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )
CC <sub>100</sub>	380	69,5 ± 2,2	1,2 ± 0,0	9,3 ± 1,4	2838,2 ± 111,5
	560	74,3 ± 3,8	1,4 ± 0,1	8,8 ± 0,6	3202,9 ± 322,7
	740	76,4 ± 1,0	1,3 ± 0,1	8,7 ± 0,3	3062,2 ± 246,0
CC <sub>50</sub>	380	59,2 ± 2,2	1,0 ± 0,1	6,3 ± 1,3	827,0 ± 60,2
	560	61,6 ± 2,4	1,7 ± 0,1	6,2 ± 0,7	1000,3 ± 112,8
	740	60,9 ± 2,6	1,0 ± 0,1	5,5 ± 0,2	793,7 ± 72,6
ANOVA	[CO <sub>2</sub> ]	ns	ns	ns	ns
	H <sub>2</sub> O	*	*	*	*
	([CO <sub>2</sub> ] × H <sub>2</sub> O)	ns	ns	ns	ns

Análise realizada com n = 6. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([CO<sub>2</sub>]) e umidade do solo (H<sub>2</sub>O)) e interação ([CO<sub>2</sub>] × H<sub>2</sub>O), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

**Tabela 10:** Efeitos de três concentrações de CO<sub>2</sub> sobre os parâmetros de biomassa em plantas de *Cecropia pachystachya* (Pioneira) crescidas em 100% da capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo.

Umidade do Solo	[CO <sub>2</sub> ] (μmol mol <sup>-1</sup> )	Parâmetros de Biomassa				
		Raiz (g)	Caule (g)	Folhas (g)	Total (g)	Raiz / Parte Aérea
CC <sub>100</sub>	380	24,1 ± 0,9	28,5 ± 2,3	26,6 ± 1,3	79,3 ± 4,2	0,4 ± 0,0
	560	29,0 ± 3,4	31,1 ± 3,2	31,9 ± 2,7	92,0 ± 7,3	0,5 ± 0,1
	740	27,1 ± 2,6	31,9 ± 2,0	31,6 ± 1,2	90,6 ± 5,0	0,4 ± 0,0
CC <sub>50</sub>	380	6,8 ± 0,8	8,0 ± 0,5	7,5 ± 0,4	22,3 ± 1,4	0,4 ± 0,0
	560	7,7 ± 1,1	9,2 ± 1,0	9,3 ± 0,9	26,2 ± 2,4	0,4 ± 0,1
	740	6,5 ± 0,7	7,9 ± 0,6	8,5 ± 0,4	22,9 ± 1,4	0,4 ± 0,0
ANOVA	[CO <sub>2</sub> ]	ns	ns	*	ns	ns
	H <sub>2</sub> O	*	*	*	*	ns
	([CO <sub>2</sub> ] x H <sub>2</sub> O)	ns	ns	ns	ns	ns

Análise realizada com n = 6. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([CO<sub>2</sub>]) e umidade do solo (H<sub>2</sub>O)) e interação ([CO<sub>2</sub>] x H<sub>2</sub>O), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

### 6.2.1.2. *Esenbeckia leiocarpa* (Não pioneira).

A figura 50 mostra plantas da espécie *Esenbeckia leiocarpa* ao final do experimento, representando cada um dos tratamentos aplicados.



**Figura 50.** Plantas de *Esenbeckia leiocarpa* crescidas em 100% (A) e 50% (B) da capacidade de campo do solo ao final do experimento. Da esquerda para direita: C<sub>a</sub>380, C<sub>a</sub>560 e C<sub>a</sub>740.

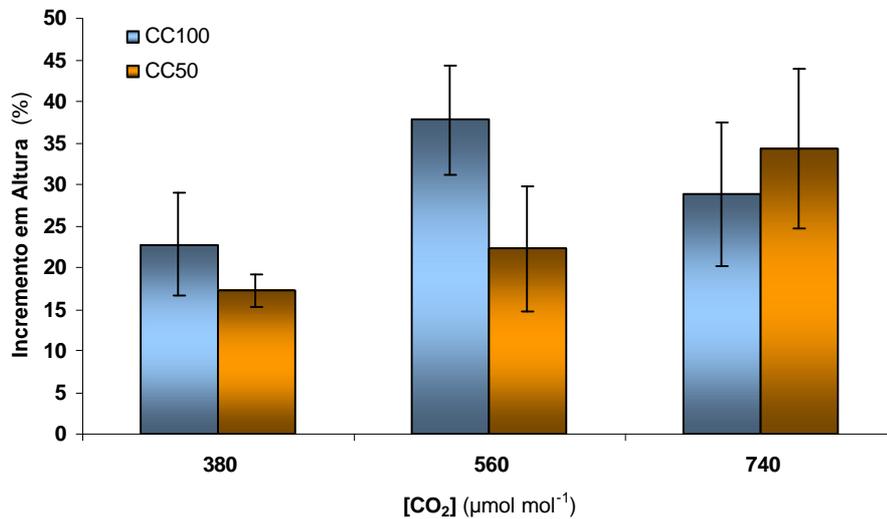
O incremento percentual em altura nas plantas de *Esenbeckia leiocarpa* em todos os tratamentos pode ser observado na figura 51. Independentemente do tratamento

hídrico, as plantas que cresceram sob elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> apresentaram maior crescimento percentual da altura em relação às crescidas sob 380 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Os maiores incrementos percentuais em altura foram observados respectivamente nas plantas em C<sub>a</sub>560 sob 100% de capacidade de campo do solo e C<sub>a</sub>740 sob CC<sub>50</sub>, com aproximadamente 38% e 34% respectivamente. Não houve diferenças significantes entre as médias finais da altura. As médias da altura em cada tratamento no final do experimento e os resultados das análises estatísticas estão apresentados na tabela 11.

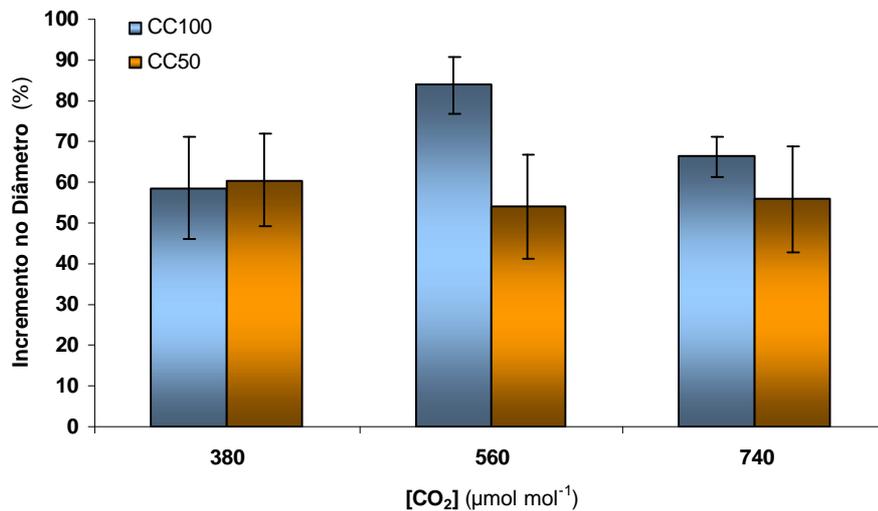
O crescimento percentual do diâmetro do caule à altura do solo (**DAS**) em *Esenbeckia leiocarpa* sob todos os tratamentos pode ser observado na figura 52. As plantas mostraram uma relação positiva entre as elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> e o diâmetro, independentemente da condição hídrica do solo. Entretanto, não houve diferenças significativas entre as médias do **DAS** no fim do experimento. O maior crescimento percentual no **DAS** pertence às plantas crescidas em 560 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sob CC<sub>100</sub>, 84% de aumento, valor cerca de 42% maior que o das plantas do tratamento referencial. Os valores médios do diâmetro do caule à altura do solo no final do experimento e os resultados das análises estatísticas estão apresentados na tabela 11.

O aumento no número de folhas (Figura 53) foi de aproximadamente 116%, 105% e 83% respectivamente nos tratamentos com 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sob 100% de capacidade de campo do solo. Já nas plantas mantidas sobre CC<sub>50</sub>, os aumentos percentuais no número de folhas estiveram próximos a 56%, 86% respectivamente nos tratamentos com 380 e 560 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. O maior incremento percentual no número de folhas foi observado sob 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em CC<sub>50</sub>, com cerca de 128%. Não foram encontradas diferenças significativas no número de folhas no final do experimento. As médias do número de folhas em cada

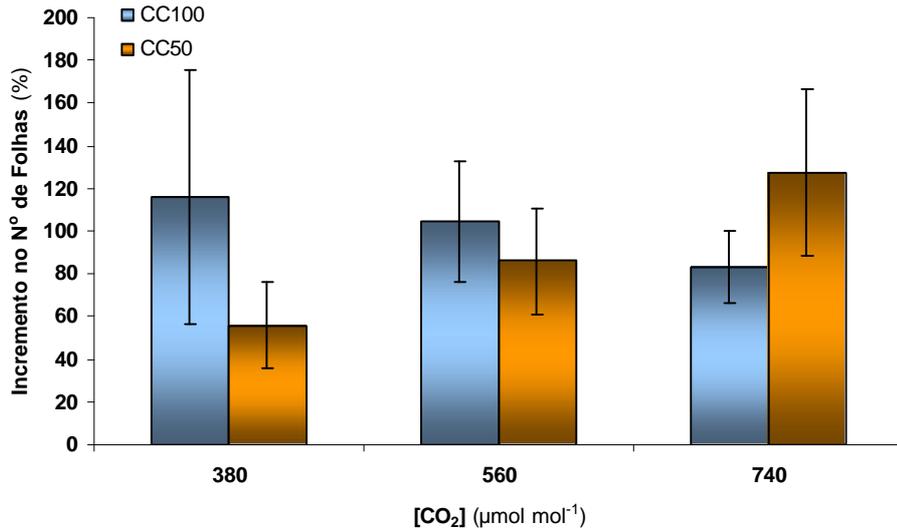
tratamento no fim do experimento e os resultados dos testes estatísticos podem ser vistos na tabela 11.



**Figura 51.** Crescimento percentual em Altura em *Esenbeckia leiocarpa*, sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo do solo (CC<sub>50</sub>) do solo, em relação à altura no início do experimento. Média  $\pm$  Erro-padrão.

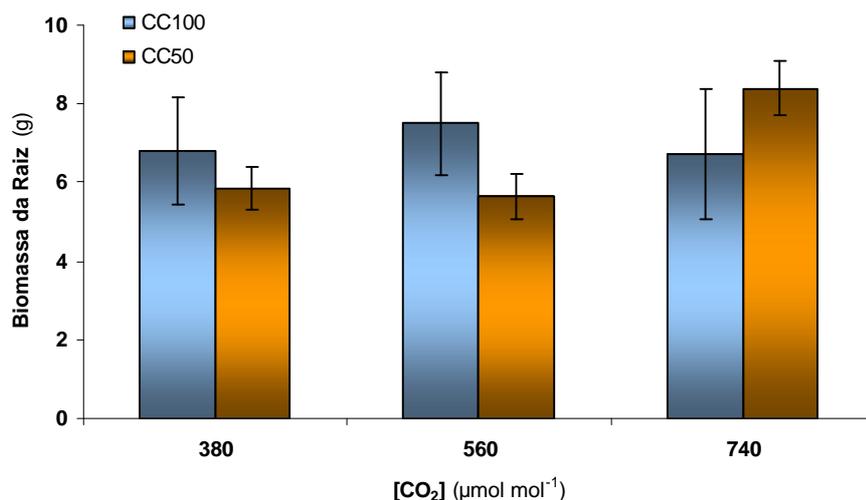


**Figura 52.** Crescimento percentual no Diâmetro em *Esenbeckia leiocarpa*, sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo do solo (CC<sub>50</sub>) do solo, em relação à altura no início do experimento. Média  $\pm$  Erro-padrão.



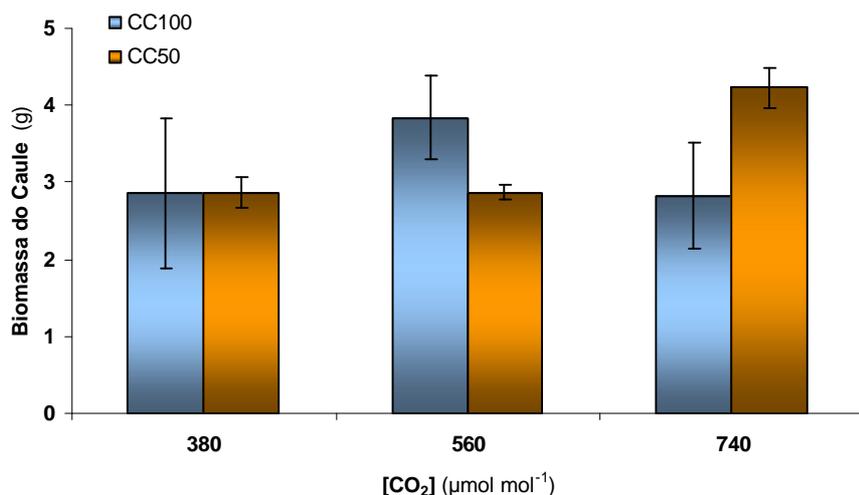
**Figura 53.** Crescimento percentual no número de folhas em *Esenbeckia leiocarpa*, sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo ( $\text{CC}_{100}$ ) e 50% da capacidade de campo do solo ( $\text{CC}_{50}$ ) do solo, em relação à altura no início do experimento. Média  $\pm$  Erro-padrão.

A figura 54 mostra as médias do acúmulo de biomassa das raízes da espécie *Esenbeckia leiocarpa* ao final do experimento.. Nos tratamentos  $\text{C}_a380$  e  $\text{C}_a560$ , o maior acúmulo de biomassa das raízes deu-se entre o grupo de plantas que tiveram o solo mantido sob 100% da capacidade de campo do solo. Contudo, nas plantas mantidas em concentração de  $\text{CO}_2$  de  $740 \mu\text{mol mol}^{-1}$ , o maior acúmulo de biomassa da raiz ocorreu em plantas sob  $\text{CC}_{50}$ , com aproximadamente 8,40 g, cerca de 24% a mais que o acúmulo em plantas sob o tratamento referencial. Os valores médios da biomassa total da raiz não variaram significativamente em relação aos tratamentos com  $\text{CO}_2$  ou hídricos (Tabela 12).



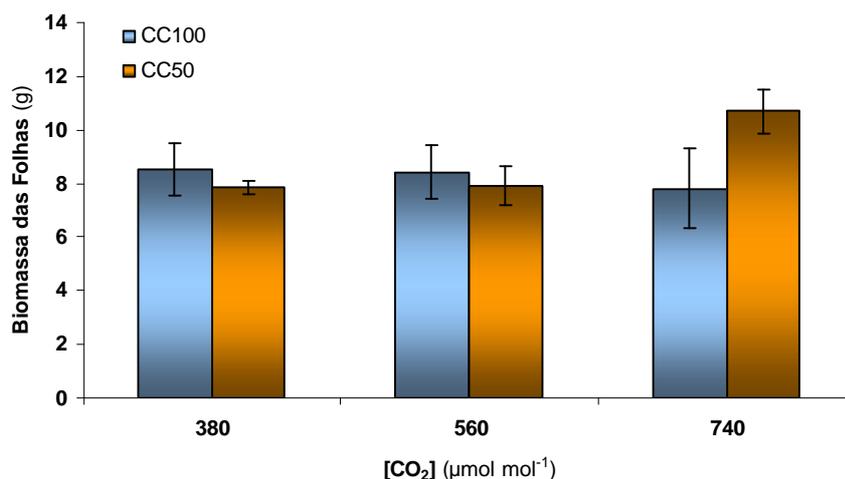
**Figura 54.** Biomassa da Raiz (g) em *Esenbeckia leiocarpa*, sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo. Média  $\pm$  Erro-padrão.

O acúmulo de biomassa do caule em *Esenbeckia leiocarpa* está representado na figura 55. Em relação às plantas crescidas sob o tratamento **C<sub>a</sub>380** e **CC<sub>100</sub>** (referencial), os grupos de plantas mantidas em 380 e 560  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  sob **CC<sub>50</sub>** e o grupo sob **C<sub>a</sub>740** sob **CC<sub>100</sub>** apresentaram diferenças menores que 1% no acúmulo final de biomassa do caule. Todavia, as plantas que cresceram nos tratamentos **C<sub>a</sub>560** sob **CC<sub>100</sub>** e **C<sub>a</sub>740** sob **CC<sub>50</sub>** acumularam, respectivamente, cerca de 34% e 48% a mais de biomassa de caule que as plantas mantidas no tratamento referencial. Também não houve diferenças significativas entre tratamentos para a biomassa do caule nessa espécie (Tabela 12).



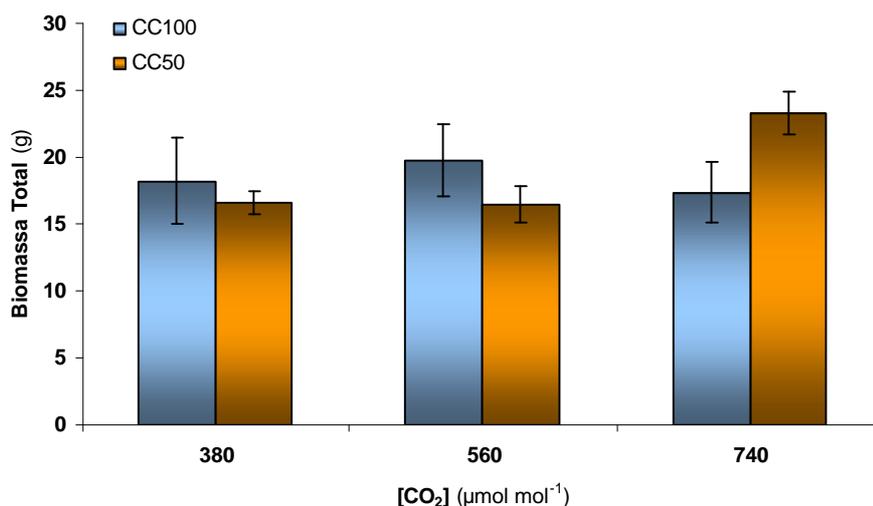
**Figura 55.** Biomassa do Caule (g) em *Esenbeckia leiocarpa*, sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo. Média ± Erro-padrão.

Tratando-se do acúmulo de biomassa das folhas (Figura 56), as plantas mantidas sob 100% de capacidade de campo do solo, nas concentrações de 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> mostraram reduções menores que 1% e de cerca de 8%, respectivamente, em relação ao tratamento referencial. Nos tratamentos **C<sub>a</sub>380** e **C<sub>a</sub>560** sob 50% de capacidade de campo do solo, houve reduções próximas a 7% na biomassa das folhas. Entretanto, as plantas que cresceram em 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sob **CC<sub>50</sub>** tiveram um aumento de aproximadamente 25% no acúmulo de biomassa das folhas em comparação com as plantas do grupo controle. Não foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos para a biomassa das folhas (Tabela 12).



**Figura 56.** Biomassa das Folhas (g) em *Esenbeckia leiocarpa*, sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo. Média ± Erro-padrão.

O acúmulo total de biomassa nas plantas de *Esenbeckia leiocarpa* em todos os tratamentos pode ser observado na figura 57. O acúmulo total de biomassa reflete o acúmulo de todas as partes da planta. As plantas que cresceram em 740 μmol mol<sup>-1</sup> sob 50% da capacidade de campo do solo tiveram os maiores acúmulos de biomassa em todos órgãos separadamente. Conseqüentemente, as plantas desse grupo apresentaram o maior acúmulo total de biomassa, cerca de 28% a mais que o das plantas controle. Dentro do grupo das plantas mantidas sob 100% da capacidade de campo do solo, as do tratamento **C<sub>a</sub>560** foram as que tiveram o maior acúmulo de biomassa, aproximadamente 9% a mais do que as plantas mantidas em 380 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sob CC<sub>100</sub>. Não foram encontradas diferenças significantes entre os tratamentos para o acúmulo total de biomassa na plantas (Tabela 12).

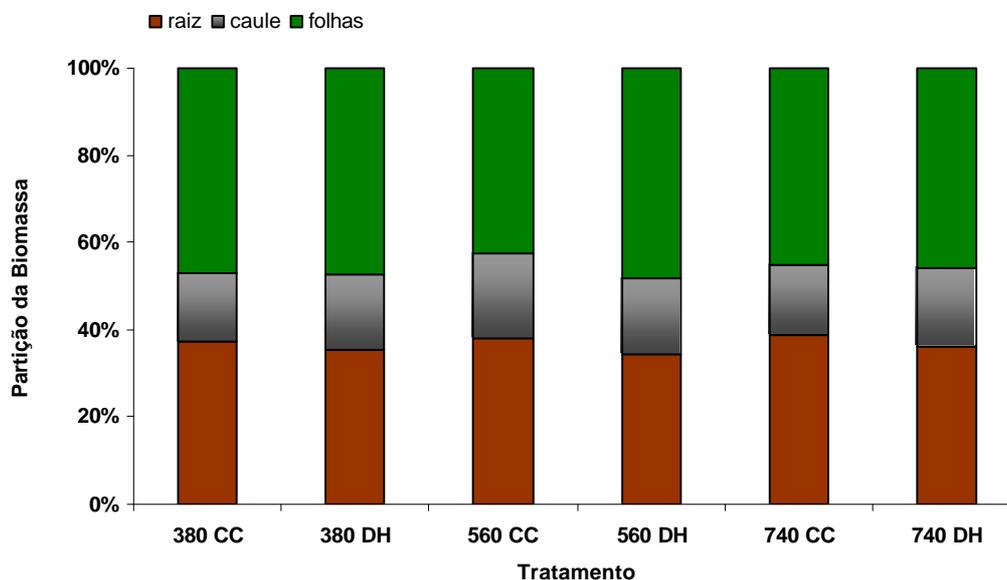


**Figura 57.** Biomassa Total (g). em *Esenbeckia leiocarpa*, sob 380, 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>) do solo. Média ± Erro-padrão.

A relação raiz/ parte aérea da biomassa foi em média cerca de 15% maior nas plantas mantidas sob capacidade de campo do solo em relação às mantidas sob 50% da capacidade de campo do solo, independentemente do tratamento com CO<sub>2</sub>. Entretanto, não houve qualquer diferença significativa entre os tratamentos hídricos ou com CO<sub>2</sub> para essa razão (Tabela 12).

A partição da biomassa, em todos os tratamentos, na espécie *Esenbeckia leiocarpa*, está representada na Figura 58. Nota-se que, para essa espécie, independentemente do tratamento, a maior parte do carbono assimilado foi investido no crescimento das folhas, que representam cerca de 46% da biomassa total. A maior proporção de acúmulo de biomassa relativa às folhas ocorreu nas plantas que cresceram em 560 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> sob CC<sub>50</sub>, representando cerca de 48% da biomassa total. As raízes representaram em média 37% da biomassa total das plantas da espécie *Esenbeckia leiocarpa*, independentemente do tratamento aplicado. Entretanto, a biomassa radicular representou cerca de 39% do total da biomassa das plantas mantidas no tratamento C<sub>a</sub>740 sob 100% capacidade de campo do solo. Já a proporção média da

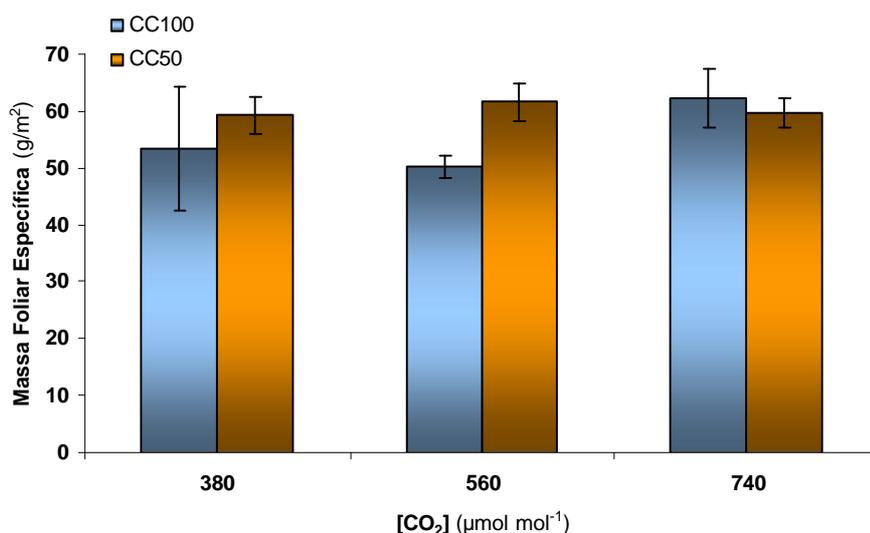
biomassa do caule foi de aproximadamente 17% da biomassa total e chegou a 19% no grupo de plantas mantidas no tratamento **C<sub>a</sub>560** sob **CC<sub>100</sub>**.



**Figura 58.** Partição da Biomassa (%). em *Esenbeckia leiocarpa*, sob 380, 560 e 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  em capacidade de campo (**CC<sub>100</sub>**) e 50% da capacidade de campo (**CC<sub>50</sub>**) do solo.

O incremento médio na área foliar nas plantas da espécie *Esenbeckia leiocarpa* pode ser observado na tabela 11. Não houve diferenças significantes entre os tratamentos.

Os valores da massa foliar específica (**MFE**) nas plantas de *Esenbeckia leiocarpa*, em todos os tratamentos, estão representados na figura 59. Nas plantas mantidas sob 50% da capacidade de campo do solo, a **MFE** alcançou valores médios cerca de 12% mais altos que os das plantas sob tratamento controle. No grupo mantido sob **CC<sub>100</sub>**, as plantas que cresceram sob 740  $\mu\text{mol mol}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  mostraram o maior aumento médio na **MFE**, aproximadamente 16%, e as que cresceram no tratamento **C<sub>a</sub>560** tiveram uma redução de 6%. Não foram encontradas variações significativas entre os tratamentos em relação a **MFE**.



**Figura 59.** Massa foliar específica (g/m<sup>2</sup>) em *Esenbeckia leiocarpa*, sob 380, 560 e 740 µmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> em 100% e 50% da capacidade de campo do solo.

**Tabela 11:** Efeitos de três concentrações de CO<sub>2</sub> sobre os parâmetros de crescimento em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* (Não Pioneira) crescidas em 100% da capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>).

Umidade do Solo	[CO <sub>2</sub> ] (µmol mol <sup>-1</sup> )	Parâmetro de Crescimento			
		Altura (cm)	DAS (cm)	Número de Folhas	Área Foliar (cm <sup>2</sup> )
CC <sub>100</sub>	380	19,4 ± 1,0	0,6 ± 0,1	23,3 ± 1,9	760,3 ± 257,6
	560	21,4 ± 0,9	0,8 ± 0,1	12,7 ± 1,5	799,1 ± 41,6
	740	19,9 ± 2,7	0,6 ± 0,1	9,7 ± 0,3	595,4 ± 158,4
CC <sub>50</sub>	380	18,5 ± 0,6	0,6 ± 0,0	11,7 ± 1,2	819,7 ± 259,4
	560	19,0 ± 0,3	0,6 ± 0,0	8,7 ± 1,7	580,6 ± 66,5
	740	21,3 ± 2,4	0,7 ± 0,0	12,7 ± 1,5	846,8 ± 77,8
ANOVA	[CO <sub>2</sub> ]	ns	ns	ns	ns
	H <sub>2</sub> O	ns	ns	ns	ns
	([CO <sub>2</sub> ] x H <sub>2</sub> O)	ns	ns	ns	ns

Análise realizada com n = 3. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([CO<sub>2</sub>]) e umidade do solo (H<sub>2</sub>O)) e interação ([CO<sub>2</sub>] x H<sub>2</sub>O), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

**Tabela 12:** Efeitos de três concentrações de dióxido de carbono [CO<sub>2</sub>] sobre os parâmetros de crescimento em plantas de *Esenbeckia leiocarpa* (Não Pioneira) crescidas em 100% da capacidade de campo (CC<sub>100</sub>) e 50% da capacidade de campo (CC<sub>50</sub>).

Umidade do Solo	[CO <sub>2</sub> ] (μmol mol <sup>-1</sup> )	Parâmetro de Biomassa				
		Raiz (g)	Caule (g)	Folhas (g)	Total (g)	Raiz/ Parte Aérea
CC <sub>100</sub>	380	6.8 ± 1.4	2.9 ± 1.0	8.5 ± 1.0	18.2 ± 3.2	0.6 ± 0.1
	560	7.5 ± 1.3	3.8 ± 0.5	8.4 ± 1.0	19.8 ± 2.7	0.6 ± 0.1
	740	6.7 ± 1.7	2.8 ± 0.7	7.8 ± 1.5	17.4 ± 2.2	0.7 ± 0.2
CC <sub>50</sub>	380	5.8 ± 0.5	2.9 ± 0.2	7.9 ± 0.3	16.6 ± 0.9	0.5 ± 0.0
	560	5.7 ± 0.6	2.9 ± 0.1	7.9 ± 0.7	16.5 ± 1.3	0.5 ± 0.0
	740	8.4 ± 0.7	4.2 ± 0.3	10.7 ± 0.8	23.3 ± 1.6	0.6 ± 0.0
ANOVA	[CO <sub>2</sub> ]	ns	ns	ns	ns	ns
	H <sub>2</sub> O	ns	ns	ns	ns	ns
	([CO <sub>2</sub> ] x H <sub>2</sub> O)	ns	ns	ns	ns	ns

Análise realizada com n = 3. Os resultados de análise de variância (ANOVA) de dois fatores (concentração de dióxido de carbono ([CO<sub>2</sub>]) e umidade do solo (H<sub>2</sub>O)) e interação ([CO<sub>2</sub>] x H<sub>2</sub>O), para cada parâmetro analisado. \*, P < 0.05; ns, não significante. Two-way ANOVA.

## 7. DISCUSSÃO.

### 7.1. Avaliações Fisiológicas.

Estudos sobre a ecofisiologia das espécies arbóreas têm grande importância na avaliação do impacto das crescentes concentrações de CO<sub>2</sub> atmosférico sobre os ecossistemas. As respostas das espécies arbóreas tropicais as elevadas concentrações atmosféricas de dióxido de carbono estão intimamente relacionadas a outros fatores ambientais. O aumento na taxa fotossintética (A) e a redução na condutância estomática (gs) são as respostas mais evidentes aos efeitos das elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> sobre as plantas. Todas as outras respostas são derivadas dessas duas fundamentais (AINSWORTH; ROGERS, 2007). Entretanto, extremos de temperatura, secas, alta salinidade e baixo nível de nutrientes no solo podem limitar fortemente a fixação do carbono através da fotossíntese (TAKAHASHI, 2008).

Nas plantas C<sub>3</sub>, os aumentos na fotossíntese devido às elevadas [CO<sub>2</sub>] resultam diretamente de duas propriedades da enzima Rubisco. (a) O Km dessa enzima para o CO<sub>2</sub> é próximo à concentração atmosférica atual, portanto, elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> aumentam a velocidade da reação de carboxilação e (b) a competitividade com o CO<sub>2</sub> inibe a reação de oxigenação, que produz o glicolato e leva a fotorrespiração. Esse último efeito é particularmente importante porque aumenta a eficiência do ganho líquido do carbono diminuindo a perda do CO<sub>2</sub> através da fotorrespiração (Long, 2004).

Os incrementos na fotossíntese observados por Ainsworth;Long (2005) em plantas em ambientes sob elevadas concentrações de dióxido de carbono foram de cerca de 30% a 55% em espécies arbóreas, de 30 a 35% em cultivos C<sub>3</sub> e de 15% a 20% em cultivos C<sub>4</sub>. Nowak *et al* (2004) também encontrou valores próximos aos acima para espécie de metabolismo C<sub>3</sub>, cerca de 60% de aumento em A.

Na espécie pioneira *Cecropia pachystachya*, a fotossíntese média suportou incrementos de 42% e 73% em concentrações de CO<sub>2</sub> de respectivamente cerca de 50% e 100% mais elevadas que a atual. Resultados semelhantes aos encontrados por Oliveira (2008) em *Croton urucurana*, outra espécie arbórea pioneira.

A espécie não-pioneira *Esenbeckia leiocarpa* apresentou incrementos menos acentuados sob elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>, cerca de 5% e 22% nos respectivamente nos tratamentos com 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Tanto Oliveira (2008), trabalhando com outra espécie arbórea não pioneira, quanto Approbato (2008), estudando também a espécie *Esenbeckia leiocarpa*, encontraram valores mais altos nas taxas fotossintéticas.

Godoy (2007), estudando plantas arbóreas tropicais, também encontrou que as espécies pioneiras foram as que apresentaram os maiores percentuais de incremento na taxa fotossintética quando crescidas em CO<sub>2</sub> elevado em relação ao CO<sub>2</sub> ambiente.

Em determinadas circunstâncias, as respostas fotossintéticas às elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> podem ser reduzidas se o déficit hídrico for suficientemente grave para limitar a atividade enzimática da fotossíntese, no entanto as respostas são mais prováveis de serem realçadas se a elevada [CO<sub>2</sub>] reduzir a importância da limitação estomática induzida pela seca. (CHAVES; PEREIRA, 1992).

Sob 50% de capacidade de campo do solo, as plantas de *C. pachystachya* crescidas sob elevadas concentrações de dióxido de carbono apresentaram incrementos cerca de 7% mais altos em 560 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> e valores cerca de 18% menores em C<sub>a</sub>740 em comparação com as plantas tratadas com as mesmas [CO<sub>2</sub>] em capacidade de campo do solo. Em *E. leiocarpa*, as plantas que cresceram sob CC<sub>50</sub> do solo sob 740 μmol mol<sup>-1</sup> e CO<sub>2</sub> foram as que apresentaram as maiores taxas fotossintéticas, cerca de 9% mais elevadas que as das sob CC<sub>100</sub> e mesma concentração de CO<sub>2</sub>. Centritto *et al* (2002) também encontrou maiores valores relativos de incremento na taxa fotossintética de plântulas de pessegueiro que cresceram sob déficit hídrico do solo.

Nas plantas superiores, o balanço entre a perda de água e o ganho de CO<sub>2</sub> é fortemente regulado pelos estômatos na epiderme da folha. As mudanças na pressão de turgor das células-guarda, causadas pelas rápidas variações nas concentrações internas de solutos, é que determinam a extensão da abertura estomática. As células-guarda possuem complexas redes de transdução de sinais e caminhos metabólicos. Essas características permitem modulações rápidas na condutância estomática em resposta aos sinais internos e ambientais, como a intensidade e qualidade da luz, umidade relativa, concentração de CO<sub>2</sub> e disponibilidade hídrica (VAVASSEUR; RAGHAVENDRA, 2005). A manutenção hídrica devido à diminuição da condutância estomática pode ser benéfica para a produtividade das plantas sobre condições de seca ou até mesmo aliviar os sintomas de um estresse hídrico moderado. (CEULEMAN, 1999).

Norby (1999) encontrou que espécies arbóreas expostas a elevadas [CO<sub>2</sub>], em experimentos de curta duração, apresentam reduções na condutância estomática de aproximadamente de 40% a 27%. Tanto em *C. pachystachya* (pioneira) quanto em *E. leiocarpa* (não pioneira), as reduções encontradas para **gs** foram mais elevadas, entretanto, somente na espécie pioneira houve diferenças significativas para os tratamentos com CO<sub>2</sub>.

Na espécie pioneira, a condutância estomática mostrou reduções de 58% e 55% respectivamente nos tratamentos **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740**. Já na espécie não pioneira, a reduções na **gs** foram de 60% e 51% respectivamente na plantas crescidas sob atmosferas enriquecidas em cerca de 50% e 100% em relação às concentrações atuais. Ribeiro *et al.* (2005) estudando sete espécies arbóreas tropicais de diferentes grupos sucessionais observaram maiores valores de **gs** em espécies pioneiras. Determinados modelos sugerem que a redução da condutância estomática ocorre em função da aclimação fotossintética às elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>, entretanto há poucas evidencias desse processo (AINSWORTH; ROGERS, 2007).

Os valores da taxa fotossintética e da condutância estomática fornecem também informações que podem ser relacionadas com a eficiência do uso de recursos disponíveis no ambiente, como a eficiência do uso da água (**EiUA; A/g<sub>s</sub>**) (LARCHER, 2006). Os aumentos na assimilação de CO<sub>2</sub> (**A**) e a diminuição na **gs** resultam em incrementos substanciais na **EiUA** (NOWAK, 2004).

Em ambas espécies estudadas, a **EiUA** respondeu significativamente aos tratamentos com elevadas concentrações de dióxido de carbono, apresentando os maiores valores sob 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>. Porém, os aumentos percentuais na **EiUA** também variaram entre os tratamentos hídricos, mas sem apresentar diferenças significantes. Em *C. pachystachya*, os aumentos médios foram de 167% e 261% e na

espécie não pioneira, os aumentos foram de 149% e 201%, respectivamente. Os resultados de Godoy (2007) e Oliveira (2008) também apresentaram maiores elevações na **EiUA** em plantas não pioneiras, entretanto os incrementos foram relativamente mais baixos.

Em função do fechamento dos estômatos sob elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>, menos água escapa pelos estômatos assim a taxa de transpiração (**E**) pode ser reduzida (Larcher, 2006, Drake *et al*, 1997). Na espécie não pioneira *E leiocarpa*, houve reduções significantes em **E** em resposta a elevada concentração de CO<sub>2</sub>. Approbato (2008) já havia encontrado reduções na transpiração dessa espécie sob elevadas [CO<sub>2</sub>]. Marabesi (2007) também encontrou reduções na **E** em outras plantas arbóreas tropicais crescidas sob [CO<sub>2</sub>]. Na espécie pioneira *C. pachystachya* também houve reduções nas taxas de transpiração, contudo, não foram significativas para os tratamentos com CO<sub>2</sub>.

Decréscimos em **gs** podem explicar as reduções nas taxas de transpiração na folhas, (DRAKE *et al*, 1997) e, como em elevadas [CO<sub>2</sub>] a **gs** não é um fator altamente limitante de **A**, as elevadas [CO<sub>2</sub>] irão resultar em aumentos na eficiência instantânea da transpiração (**EiT**; **A/E**) (CENTRITTO, 2002). Na espécie pioneira, os incrementos significantes na **EiT** foram de 70% e 99% respectivamente sob 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> e não houve diferenças entre tratamentos hídricos do solo. Na espécie não pioneira, os incrementos foram parecidos com os de *C. pachystachya*, cerca de 75% e 101% respectivamente em **C<sub>a</sub>560** e **C<sub>a</sub>740**. Entretanto, em *E. leiocarpa* também houve diferenças significantes entre os tratamentos hídricos do solo, os incrementos na **EiT** foram maiores sob **CC<sub>50</sub>** do solo, 116%, do que em **CC<sub>100</sub>**, 60%.

A eficiência intrínseca do uso da água (**EiUA**), comparada com a **EIT**, está menos acoplada à temperatura ambiental e à umidade atmosférica instantânea e assim,

reflete melhor as propriedades fisiológicas da planta (COMSTOCK; EHLERINGER, 1992).

Durante o período experimental, não houve evidências de aclimação fotossintética por concentração saturante de CO<sub>2</sub> e nem por tempo de exposição às elevadas concentrações em ambas as espécies estudadas. As respostas das espécies vegetais ao dióxido de carbono variam de acordo com a duração da exposição e o estágio do desenvolvimento da planta (Medlyn, 2001). A aclimação fotossintética a elevadas [CO<sub>2</sub>] é atribuída a vários fatores, entre eles à acumulação de carboidratos nas folhas que inibe a expressão gênica para a síntese de enzimas fotossintéticas (Drake, 1997), a reduções na concentração de nitrogênio nas folhas (NOWAK *et al.*, 2004) e também associada a fatores ambientais como a limitação na disponibilidade de nitrogênio (Peterson & McDonald, 1994) e baixas temperaturas (LONG *et al.*, 2004).

A fotorrespiração (**Fr**) é consequência da oxigenação da ribulose 1,5 bifosfato (RuBP) catalisada pela enzima Rubisco. A proporção da taxa de carboxilação pela taxa de oxigenação é dependente das concentrações de CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub>, da constante de Michaelis para esses gases e da velocidade das reações (WINGLER, 2000) Sob elevadas [CO<sub>2</sub>] o equilíbrio das reações de carboxilação/oxigenação catalisadas pela enzima Rubisco é deslocado no sentido da reação de carboxilação, reduzindo as taxas de fotorrespiração.

Tanto em *C. pachystachya* quanto em *E. leiocarpa*, a perda de carbono através da **Fr** foram próximas a 25% da taxa de assimilação de CO<sub>2</sub> pela fotossíntese nas plantas sob concentração de CO<sub>2</sub> sem elevações. Esses valores são condizentes aos encontrados por Sharkey (1988). Sob 560 e 740 μmol mol<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub>, as reduções na **Fr** em ambas as espécies estudadas foram de cerca de 34% e 56% respectivamente, esses valores representam em média 17% e 12% da taxa fotossintética. Reduções semelhantes foram encontradas por Oliveira (2008) e Martinez *et al.* (2008).

A conversão de energia solar em energia química é um processo potencialmente perigoso que os organismos fotossintetizantes que realizam com habilidade. Sempre que a luz solar pode de fato ser convertida, há um potencial mínimo para os problemas. No entanto, sempre que a luz solar é absorvida mas não pode ser plenamente utilizada, o potencial de dano existe. Segundo Long *et al.* (2004), a fotoinibição é um processo fisiológico caracterizado pela redução lenta e reversível da fotossíntese como resultado da exposição à luz solar plena, mas também pode ser resultado da combinação de diferentes tipos de estresses (CHOUCCURY; BEHERA, 2001).

Ambas as espécies mostraram estabilidade quanto à eficiência quântica do fotossistema II (**PSII**) ao longo dos cursos diurnos realizados. Tanto a espécie pioneira como a não pioneira, apresentaram valores mais baixos de **Fv/Fm** próximo a 12:00 horas, no entanto, eles voltaram a subir no final da tarde, evidenciando a recuperação do fotossistema II. Com exceção do tratamento **C<sub>a</sub>740** sob **CC<sub>100</sub>** do solo em plantas de *E. leiocarpa*, no período entre 13:00 e 14:00 horas, não houve sinais de fotoinibição. Soriani (2007) encontrou resultados semelhantes em árvores tropicais pioneiras. Contudo, a espécie não pioneira apresentou valores mais elevados na razão **Fv/Fm** que os encontrados por Approbato (2008) e Soriani (2007). Essa incongruência relaciona-se provavelmente com os níveis mais elevados no **FFFA** durante os cursos diurnos realizados por esses autores.

Para prevenir o acúmulo de danos no fotossistema II, os organismos fotossintetizantes processos reparatórios complexos. A extensão da fotoinibição do **PSII** é o resultado do balanço entre os danos causados pela luz e a taxas de reparo (TAKAHASHI, 2008).

Poucos estudos têm sido feitos a fim de avaliar as respostas dos fotossistemas, dos complexos antena e transportadores de elétrons nas membranas dos tilacóides em

espécies arbóreas que cresceram sob condições que simulam as mudanças globais (WANG, 2003). Os pigmentos fotossintéticos desempenham papel fundamental na captação da luz, na dissipação do excesso de energia e na inativação de produtos tóxicos produzidos durante o estresse luminoso (ORMROD *al*, 1999)

As concentrações dos pigmentos em *Cecropia pachystachya* apresentaram tendências à diminuição da concentração das clorofilas **a** e **b** e dos carotenóides, porém, as diferenças não foram significativas em função do crescimento das plantas em elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>. Já entre plantas crescidas em diferentes tratamentos hídricos do solo houve diferenças significativas. A concentração da clorofila **a**, da clorofila **b** e dos carotenóides apresentaram incrementos respectivos médios de cerca de 29%, 32% e 13% em plantas que cresceram sob CC<sub>50</sub> do solo. Na espécie não pioneira, notou-se o mesmo padrão de respostas, com diferenças significativas somente entre os tratamentos hídricos do solo. Os aumentos na concentração dos pigmentos fotossintéticos fora ainda mais acentuadas em *E. leiocarpa*. Em plantas crescidas sob 50% da capacidade de campo do solo, as concentrações de clorofila **a**, clorofila **b** e dos carotenóides elevaram-se em média 83%, 87% e 50% respectivamente em relação às plantas sob CC<sub>100</sub>.

Broadmeadow; Jackson (2000) também observaram aumentos na concentração de pigmentos fotossintéticos em espécies arbóreas temperadas sob déficit hídrico. Os efeitos de elevadas [CO<sub>2</sub>] no conteúdo de clorofila e nos processos fotoquímicos são difíceis de interpretar, e tais efeitos não são necessariamente fatores limitantes dos processos que regulam as respostas das árvores a elevadas [CO<sub>2</sub>], e eles são genótipo-dependente e ambiente-dependente (SAXE, 1998).

## 7.2. Avaliações Morfológicas.

A disponibilidade de água no solo é vista como um dos fatores primordiais que regulam a produtividade e o padrão de distribuição das árvores. Poucos estudos têm investigado como a umidade do solo poderia alterar as respostas às elevadas [CO<sub>2</sub>] (MIAO, 1992). As elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> estimulam a fotossíntese permitindo que as espécies vegetais fixem carbono em taxas mais elevadas (HOUGHTON, 2004).

Diversos experimentos têm mostrado efeitos positivos de elevadas [CO<sub>2</sub>] sobre o crescimento e o desenvolvimento de plantas (AINSWORTH; LONG, 2005) Entretanto, *Cecropia pachystachya* (pioneira) e *Esenbeckia leiocarpa* (não pioneira) não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos com elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> em relação às médias de incremento em altura, diâmetro a altura do solo, número de folhas e área foliar. Na espécie pioneira houve diferenças entre os tratamentos hídricos do solo para todos os parâmetros de crescimento citados acima. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira (2008) trabalhando com duas espécies arbóreas tropicais de estágio sussecional diferentes, e por Approbato (2008), que também estudou *E. leiocarpa*.

A produção de biomassa pelas plantas é uma das vias em que o carbono assimilado pela fotossíntese pode ser processado. No entanto, o direcionamento do carbono é controlado pelo plano morfogenético da espécie, pelo estágio do desenvolvimento e também pela disponibilidade de outros recursos no ambiente (KÖRNER, 2006).

O acúmulo de biomassa em todas as partes mensuradas e também na biomassa total foi maior na espécie pioneira que na espécie não pioneira em todos os tratamentos, resultados semelhantes aos encontrados por Godoy (2007). Em relação ao acúmulo da

biomassa nas diferentes partes da planta (raízes, caule e folhas), somente para o acúmulo de biomassa das folhas em *C. pachystachya* é que foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos com elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>.

Tanto em *C. pachystachya* quanto em *E. leiocarpa*, não houve diferenças significativas para os tratamentos com CO<sub>2</sub> em relação ao acúmulo de biomassa total. Outros trabalhos também encontraram resultados parecidos em espécies arbóreas (LOVELOCK *et al.*, 1998; OLIVEIRA, 2008; GODOY 2007). O acúmulo total de biomassa na espécie pioneira foi maior em plantas que não foram submetidas a déficit hídrico do solo, independentemente da [CO<sub>2</sub>], resultado recorrente na literatura (MIAO, 1992; CENTRITTO, 2002; BROADMEADOW; JACKSON, 2000).

Em atmosfera enriquecida com CO<sub>2</sub> mudanças na partição de matéria seca entre os órgãos dependem das condições experimentais, da fase de crescimento das plantas e de suas características morfológicas. Os tratamentos com CO<sub>2</sub> e hídricos do solo não alteraram a partição da biomassa investida nos diferentes compartimentos (raiz, caule e folhas).

De maneira geral, a espécie pioneira *Cecropia pachystachya* e a não pioneira *Esenbeckia leiocarpa* não apresentaram respostas morfológicas evidentes em relação às elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> em qualquer um dos tratamentos hídricos.

## 8. CONCLUSÕES.

- As taxas fotossintéticas em ambas as espécies estudadas sofreram incremento por efeito das elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>.

- Independentemente do tratamento com concentração de CO<sub>2</sub> elevada, as taxas fotossintéticas em *Cecropia pachystachya* (pioneira) foram sempre maiores que as da espécie *Esenbeckia leiocarpa* (não pioneira).
- Em *C. pachystachya*, as taxas fotossintéticas foram sempre maiores nas plantas que cresceram sob capacidade de campo do solo.
- As taxas de fotorrespiração relativas responderam tanto ao tratamento com elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> quanto ao tratamento hídrico do solo em ambas as espécies.
- Em *Esenbeckia leiocarpa* houve reduções na condutância estomática e na transpiração por efeito das elevadas concentrações de CO<sub>2</sub>.
- A eficiência intrínseca do uso da água e a eficiência instantânea da transpiração sofreram incrementos por efeito das elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> em ambas as espécies.
- Durante os cursos diurnos, a relação **Fv/Fm** foi sempre maior em *C. pachystachya* que em *E. leiocarpa*.
- Independentemente do tratamento com CO<sub>2</sub> houve aumentos na concentração dos pigmentos fotossintéticos por efeito do tratamento hídrico do solo, principalmente em *C. pachystachya*.
- As plantas de *C. pachystachya* cresceram e tiveram maiores acúmulos de biomassa que as plantas de *E. leiocarpa*.
- Em *C. pachystachya*, independentemente do tratamento com CO<sub>2</sub>, as plantas sob 100% da capacidade de campo do solo cresceram e acumularam maior biomassa que as sob 50% da capacidade de campo do solo.
- A espécie *Esenbeckia leiocarpa* não respondeu morfológicamente a nenhum dos tratamentos aplicados.

### Os resultados sugerem que:

- Espécies de estágios sucessionais diferentes responderão distintamente as condições climáticas futuras.
- A capacidade fotossintética de assimilação do CO<sub>2</sub> é influenciada pela condição hídrica do solo.

### 9. Referências Bibliográficas.

AINSWORTH, E.A.; LONG, S.P. What have we learned from 15 years of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE)? A Meta-analytic review of the responses of photosynthesis, canopy properties and plant production to rising CO<sub>2</sub>. *New Phytologist*, v. 165, p. 351-372. 2005.

AINSWORTH, E.A.; ROGERS, A. The response of photosynthesis and stomatal conductance to rising [CO<sub>2</sub>]: Mechanisms and environmental interactions. *Plant, Cell and Environment*, v. 30, p. 258-270. 2007.

AINSWORTH, E.A.; ROGERS, A.; NELSON, R.; S.P. LONG. Testing the “source-sink” hypothesis of down-regulation of photosynthesis in elevated [CO<sub>2</sub>] in the field with single gene substitution in *Glycine max*. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 112, p. 85-94. 2004.

AMTHOR, J. S. Respiration in future higher CO<sub>2</sub> world. *Plant, Cell and Environment*, v. 14, p. 13-20. 1991.

APPROBATO, A. U. Impacto de elevadas concentrações de CO<sub>2</sub> e da nutrição do solo sobre a fisiologia e crescimento inicial de *Esenbeckia leiocarpa* Engl., numa simulação climática futura. Ribeirão Preto: 2008. 106 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.

- BARBOSA, L. M. Diretrizes da secretaria de estado do meio ambiente de São Paulo para reflorestamento heterogêneo de áreas degradadas. CINEP –SMA – São Paulo. 2002. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/xivsbp/mesa03mlmb.pdf>> Acesso em 08/06.
- BEADLE, C.L. 1993. Growth analysis. In: HALL, D.O.; SCURLOCK, J.M.O.; BOLHÀR-NORDENKAMPF, H.R.; LEEGOOD, R.C.; LONG, S.P. Photosynthesis and production in a changing environment: a field and laboratory manual. London: Chapman & Hall. p.36-46.
- BOWES, G. Facing the inevitable: Plants and increased atmospheric CO<sub>2</sub>. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, v.44, p.309-332. 1993.
- BROADMEADOW, M. J.; JACKSON, S. B. Growth responses of *Quercus petraea*, *Fraxinus excelsior* and *Pinus sylvestris* to elevated carbon dioxide, ozone and water supply. New Phytologist, v. 146, p. 437-451. 2000.
- BROOKS, A.; FARQUHAR, G.D. Effect of temperature on the CO<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> specificity of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and the rate of respiration in the light: Estimates from gas exchange measurements on spinach. Planta, v. 165, p.: 397-406. 1985.
- BUNCE, J.; ZISKA, L. Responses of respiration to increases in carbon dioxide concentration and temperature in three soybean cultivars. Annals of Botany, v. 77, p. 507-514., 1996.
- CENTRITTO, M.; LUCAS, M.E.; JARVIS, P. G. Gas Exchange, biomass, whole-plant water-use efficiency and water uptake on peach (*Prunus persica*) seedlings in response to elevated carbon dioxide concentration and water availability. Tree Physiology, v. 22, p. 699-706. 2002.
- CEULEMANS, R.; JANSSENS, I. A.; JACH, M. E. Effects of CO<sub>2</sub> Enrichment on Trees and Forests: Lessons to be Learned in View of Future Ecosystem Studies. Annals of Botany, v. 84, p. 577-590. 1999.
- CEULEMANS, R.; MOSSEAU, M. Effects of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on woody plants. New Phytologist, v. 127, p. 425-446. 1994.
- CHAVES, M.M.; PEREIRA, J.S. Water stress, CO<sub>2</sub> and Climate Change. Journal of Experimental Botany, v. 43, n. 8, p. 1131-1139. 1992.

- CHOUCCURY, N. K.; BEHERA, R.K. Photoinhibition of photosynthesis: role of carotenoids in photoprotection of chloroplast constituents. *Photosynthetica*, v. 39, p. 481-488. 2001.
- CLARK, D.A. Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. *Philosophical Transactions: Biological Sciences*, v. 359, p. 477-491. 2003.
- COMSTOCK, J. P.; EHLERINGER, J. R. Correlating genetic variation in carbon isotopic composition with complex climatic gradients. *Proceedings of national academy of science of USA*, v. 89, p. 7747-7751. 1992.
- CURTIS, P. S.; WANG, X. A meta-analysis of elevated CO<sub>2</sub> effects on woody plant mass, form, and physiology. *Oecologia*, v. 113, p. 299-313. 1998.
- DRAKE, B. G.; GONZÁLEZ-MELER, M. A.; S. P. LONG. More efficient plants: a consequence of rising atmospheric CO<sub>2</sub>? *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 48, p. 607-37. 1997.
- DRAKE, B. G.; JACOB, J.; M. A. GONZÁLEZ-MELER. Photosynthesis, Respiration and Global Climate Change. In: RAGHAVENDRA, A. *Photosynthesis: A Comprehensive Treatise*. Cambridge: CUP, 1998. p 273-284.
- ENGELBRECHT, B. M. J.; COMITA, L. S.; CONDIT, R., KURSAR, T.A.; TYREE, M. T.; TURNER, B. L.; HUBBELL, S. P. Drought sensitivity shapes species distribution patterns in tropical forests. *Nature*, v. 447, p. 80-84. 2007.
- FALKOWSKI, P.; SCHLES, R.J.; BOYLE, E.; W. STEFFEN. The global carbon cycle: A test of our knowledge of earth as a system. *Science*, v. 290, p.291-296. 2000.
- FIELD, C. B.; JACKSON, R. B.; MOONEY, H. A. Stomatal responses to increased CO<sub>2</sub>; implications from the plant to the global scale. *Plant, Cell and Environment*, v. 18, p. 1214-1225. 1995.
- FOYER C. H.; DESCOURVIERES P.; KUNERT K. J. Protection against oxygen radicals: an important defense mechanism studied in transgenic plants. *Plant, Cell and Environment*, v. 17, p. 507-523. 1994.
- GODOY, J. R. L. Ecofisiologia do estabelecimento de leguminosas arbóreas da Mata Atlântica, pertencentes a diferentes grupos funcionais, sob atmosfera enriquecida com CO<sub>2</sub>: uma

abordagem sucessional. São Paulo: 2007. 113 p. Tese (Doutorado), Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Botânica da Secretaria do Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2007.

GUNDERSON, C. A.; WULLSCHLEGER, S. D., Photosynthetic acclimation in trees to rising atmospheric CO<sub>2</sub>: a broader perspective. *Photosynthesis Research*, v. 39, p. 369–388. 1994.

HAMILTON, J. G., THOMAZ, R. B.; DELUCIA E. H. Direct and indirect effects of elevated CO<sub>2</sub> on leaf respiration in a forest ecosystem. *Plant, Cell and Environment*, v. 24, p. 975-982. 2001.

HATTENSCHWILER, S.; C. KORNER. Tree seedling response to in situ CO<sub>2</sub>- enrichment differ among species and depends on understorey light availability. *Global Change Biology*, v. 6, p. 213-226. 2000.

HENDRY, G.A.F.; PRICE, A.H. Stress indications: chlorophylls and carotenoids. In:HENDRY, G.A.F. & GRIME, J.P. *Methods in comparative plant ecology. A laboratory manual.* London: Chapman & Hall. p.148-152.1993.

HOUGHTON, R. A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. *Tellus*, v. 55B, p. 378–390. 2003.

HUGHEN, K.A.; EGLINTON, T.; XU, L.; M. MAKOU. Abrupt tropical vegetation response to rapid climatic changes. *Science*, v. 304, p. 1955-1959. 2004.

HUNGATE, B. A.; REICHSTEIN, M.; DIJKSTRA, P.; JOHNSON, D.; HYMUS, G.; TENHUNEN, J. D.; HINKLE, C. R.; B. G. DRAKE. Evapotranspiration and soil water content in a scrub oak woodland under carbon dioxide enrichment. *Global Change Biology*, v. 8, p. 289-298. 2002.

IDSO, S. B. Three phases of plant response to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment. *Plant Physiology*, v. 87, p. 5-7. 1998.

IPCC. *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change.* Working Group III contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report, Geneva, 2007.

- IPPC. Workshop on describing scientific uncertainties in climate change to support analysis of risk and of options. Workshop Report Intergovernmental Panel on Climate Change. 146 p. 2004.
- KARNOSKY, D.F. Impacts of elevated atmospheric CO<sub>2</sub> on forest trees and forest ecosystems: Knowledge gaps. *Environment International*, v. 29, p. 161-169. 2003.
- KATZ, R. W.; BROW, B. G. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climate Change*, v. 21, p. 289-302. 1992.
- KELLOMAKI, S.; WANG K. Y. Growth and resource use of birch seedlings under elevated carbon dioxide and temperature. *Annals of Botany*, v. 87, p. 669-682. 2001.
- KERSTIENS, G.; TOWNEND, J.; HEATH, J.; MANSFIELD, T. A. Effects of water and nutrients availability on physiological responses of woody species to elevated CO<sub>2</sub>. *Forestry*, v. 68, p. 303-325. 1995.
- KIMBALL, B. A.; PINTER JR.; GARCIA, R. L.; La MORTE, R. L.; WALL, G. W.; HUNSAKER, D. J.; WECHSUNG, G.; WECHUNG, F.; KARTSCHALL, T. Productivity and water use of wheat under free-air CO<sub>2</sub> enrichment. *Global Change Biology*, v. 1, p. 429-442. 1995.
- KÖRNER, C. Carbon limitation in trees. *Journal of Ecology*, v. 91, p. 4-17. 2003.
- KÖRNER, C. Plant CO<sub>2</sub> responses: an issue of definition, time and resource supply. *New Phytologist*, v. 172, p. 393-411. 2003.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia Vegetal*. São Carlos: RiMa, 2006.
- LAWLOR D. W.; UPRETY D. C. Effects of water stress on photosynthesis of crops and the biochemical mechanism. In: ABROL, Y. P.; MOHANTY, P. *Photosynthesis-Photoreactions to the Plant Productivity*. Oxford: Oxford and IBH Publishing Co, 1993. p. 419-449.
- LONG, S.; AINSWORTH, E.; ROGERS, A.; ORT, D. Rising atmospheric carbon dioxide: Plant FACE the future. *Annual Review of Plant Biology*, v. 55, p. 591-628. 2004.

- LONG, S.P.; BERNACCHI, C. J. Gas exchange measurements, what can they tell us about the underlying limitations to photosynthesis? Procedures and sources of error. *Journal of Experimental Botany*, v. 54, p. 2393–2401. 2003.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3ª Edição. V. 1. Nova Odessa: Editora Plantarum, 2000. 352 p.
- LOVELOCK, C.E.; WINTER, K.; MERSITS, R.; POPP, M. Responses of communities of tropical tree species to elevated CO<sub>2</sub> in a forest clearing. *Oecologia*, v. 116, n. 1-2, p. 207-218. 1998.
- MARABESI, M. A.; Efeito do alto CO<sub>2</sub> no crescimento inicial e na fisiologia da fotossíntese em plântulas de *Senna alata* (L.) Roxb. São Paulo: 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado), Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, Instituto de Botânica da Secretaria do Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2005.
- MARTINEZ, C. A.; OLIVEIRA, E.A.D.; LEGRACIE, J.R.; APPROBATO, A.U. The effects of elevated CO<sub>2</sub> on tropical trees are related to successional status and soil nutritional conditions. In: ALLEN, J. F.; GANTT, E., GOLDBECK J. H.; OSMOND, B. *Photosynthesis: Energy from Sun*. Glasgow: Springer, 2008. p. 1383-1386.
- MEDLYN, B. E; BARTON, C. V. M; BROADMEADOW, M. S. J; CEULEMANS, R; DE ANGELIS, P; FORSTREUTER, M; FREEMAN, M; JACKSON, S. B; KELLOMAKI, S; LAITAT, E; REY, A; ROBERTZ, P; SIGURDSSON, B. D; STRASSEMAYER, J; WANG, K; CURTIS, P; JARVIS, P. G.. Stomatal conductance of forest species after long-term exposure to elevated CO<sub>2</sub> concentration: a synthesis. *New Phytologist*, v. 149, p. 247-264. 2001.
- MIAO, S.L.; WAYNE, P.M.; BAZZAZ, F. A. Elevated CO<sub>2</sub> differentially alters the responses of cooccurring birch and maple seedlings to a moisture gradient. *Oecologia*, v 90, p.300-304. 1992.
- NAUMBURG, E.; ELLSWORTH, D. S.; PEARCY, R.W. Crown carbon gain and elevated CO<sub>2</sub> responses of under story saplings with differing allometry and architecture. *Functional Ecology*, v. 15, p. 263-273. 2001.
- NOBEL, P.S. *Physicochemical & Environmental Plant Physiology*, Academic Press, San Diego, 2001. 477 p.

- NORBY, R. J.; WULLSCHLEGER, S. D.; GUNDERSON, C. A.; JOHNSON, D. W.; CEULEMANS, R. Tree responses to rising CO<sub>2</sub> in field experiments: implications for the future forest. *Plant, Cell and Environment*, v. 22, p.683-714. 1999.
- NORBY, R.J.; LUO, Y. Evaluating ecosystem responses to rising atmospheric CO<sub>2</sub> and global warming in a multi-factor world. *New Phytologist*, v. 162, p. 281-293. 2004.
- NOWAK, R.S.; ELLSWORTH, D.S.; SMITH, S.D. Functional responses of plants to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> – do photosynthetic and productivity data from FACE experiments support early predictions? *New Phytologist*, v. 162, p. 253-280. 2004.
- OLIVEIRA, E.A.D. Impacto de elevadas concentrações e CO<sub>2</sub> e da fertilidade do solo sobre a fisiologia e crescimento inicial em *Croton urucurana* Baill e *Cariniana legalis* (Mart) Kuntze, numa simulação climática futura. Ribeirão Preto: 2008. 152 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2008.
- OLIVO, M. N. Crescimento e respostas fisiológicas de duas espécies de batata (*Solanum sp*) sob ambientes enriquecidos com CO<sub>2</sub>. Viçosa: 2000. 58 p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- OLIVO, M.N., MARTINEZ, C.A., OLIVA, M.A. The photosynthetic response to elevated CO<sub>2</sub> in high altitude potato species (*Solanum curtilobum*). *Photosynthetica*, v. 40. p. 309-313. 2002.
- ORMROD, D. P.; LESSER, V. M.; OLSZYK, D. M.; TINGEY, D. T. Elevated temperature and carbon dioxide affect chlorophylls and carotenoids in douglas-fir seedlings. *Internacional Journal of Plant Sciences*, v. 160, p. 529-534. 1999.
- OTTMAN, M. J.; KIMBALL, B. A.; PINTER, P. J.; WALL, G. W.; VANDERLIP, R. L.; LEAVITT, S. W.; LAMORTE, R. L.; MATTHIAS, A. D.; BROOKS, T. J. Elevated CO<sub>2</sub> increases sorghum biomass under drought conditions. *New Phytologist*, v. 150, p. 261–273. 2001.
- PRADO, C.H.B.A.; MORAES, J.A.P.V. Photosynthetic capacity and specific leaf mass in twenty woody species of Cerrado vegetation under field conditions. *Photosynthetica*, v. 33, p. 103-112.1997.

- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2ª edição. Campinas. Instituto Agrônômico, 1997. (Boletim 100).
- RIBEIRO, R.V.; SOUZA, G.M.; OLIVEIRA, R.F.; MACHADO, E.C. Photosynthetic responses of tropical tree species from different successional groups under contrasting irradiance conditions. *Revista Brasileira de Botânica*, v. 28, n. 1, p. 149-161. 2005.
- RODRIGUES R. R. A sucessão florestal. In: MORELLATO P. C.; LEITÃO-FILHO H.F. *Ecologia e preservação de uma floresta tropical urbana*. Campinas: Editora da Unicamp, 1995. p. 30-35.
- ROGERS, A.; HUMPHRIES, S.W. A mechanistic evaluation of photosynthesis acclimation at elevated CO<sub>2</sub>. *Global Change Biology*, v. 6, p. 1005-1011. 2000.
- ROGERS, H. H.; RUNION, G. B.; KRUPA, S. V. Plant responses to atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment with emphasis on roots and rhizosphere. *Environmental Pollution*, v. 83, p. 155–189. 2004.
- SAGE, R. F.; SHARKEY, T. D; SEEMANN, J. R. Acclimation of photosynthesis to elevated CO<sub>2</sub> in five C<sub>3</sub> species. *Plant Physiology*, v. 89, p. 590-596. 1989.
- SAXE, H.; ELLWORTH, D. S.; HEATH, J. Tree and forest functioning in an enriched CO<sub>2</sub> atmosphere. *New Phytologist*, v. 139, p. 395–436. 1998.
- SBPC: Grupo Técnico Virtual de Assessoramento para Acompanhar a Questão das Mudanças Climáticas - Primeiro relatório da comissão de mudanças climáticas. p. 66, 2000. Disponível em: <<http://www.sbpcnet.org.br/documentos/rel-mudancas-climaticas.htm>> Acessado em: 03/2006.
- SEDJO, R. Harvesting the Benefits of Carbon "Sinks". *Resources*, v.10, n.33, 20 p. 1998
- SHARKEY, T. D. Estimating the rate of photorespiration in leaves. *Physiologia Plantarum*, v. 73, p. 147-152. 1988.
- SHEEN, J.; ZHOU, L.; JANG, J. C. Sugars as signaling molecules. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 2, p. 410-418. 1999.
- SORIANI, H. H. Análise das trocas gasosas, fluorescência e crescimento em quatro espécies arbóreas de Mata Mesófila Semidecidual submetidas a diferentes condições de

- luminosidade. Ribeirão Preto: 2007. 106 p. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação em Biologia Comparada, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2007.
- TAIZ L.; ZEIGER E. Fisiologia do estresse. In: \_ \_ \_ . Fisiologia Vegetal. Artmed, 2004, p.613-643.
- TAKAHASHI, S; MURATA, N. How the environmental stress accelarete photoinhibition? Trends in Plant Science, v. 13, n. 4, p. 178-182. 2008.
- UNCTAD. Carbon Market Programme, 2005. Disponível em: <<http://r0.unctad.org/ghg/>> Acesso em: abril de 2006.
- UNFCCC. Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change. Convenção Quadro das Nações Unidas Sobre Mudança de Clima, 1997. Disponível em: <<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.html>> Acesso em 08/06.
- VAVASSEUR, A.; RAGHAVENDRA, A. S. Guard cell metabolism and CO<sub>2</sub> sensing. New Phytologist, v. 165, p. 665-682. 2005.
- WANG, K. Y.; KELLOMÄKI, S.; ZHA, T. Modifications in photosynthetic pigments and chlorophyll content in 10-year old pines trees after a four-year exposure to carbon dioxide and temperature elevation. Photosynthetica, v. 41, p. 167-175. 2003.
- WILL, R. E.; CEULEMANS, R. Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentration on photosynthesis, respiration and carbohydrate status of coppice Populus hybrids. Physiologia Plantarum, v. 100, p. 933-999. 1997.
- WILSON, K. B.; CARLSON, T. N.; BUNCE, J. A. Feedback significantly influences the simulated effect of CO<sub>2</sub> on seasonal evapotranspiration from two agricultural species. Global Change Biology, v. 5, p. 903-917. 1999.
- WINGLER, A.; LEA, P. J.; QUICK, W. P.; LEEGOOD, R.C. Photorespiration: metabolic pathways and their role in stress protection. Philosophical Transactions of the Royal Society B, v. 355, p. 1517-1529. 2000.
- WINTER, K., GARCIA, M., GOOSBERG, R., POPP, M. Marked growth response of communities of two tropical tree species to elevated CO<sub>2</sub> when soil nutrient limitation is removed. Flora, v. 196, p. 47-58. 2001.

WOODWARD, F. I. Potential impacts of global elevated CO<sub>2</sub> concentrations on plants. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 5, p.207-211. 2002.

WURTH, M.K.R., WINTER, K., KORNER, C.H. *In situ* responses to elevated CO<sub>2</sub> in tropical forest understorey plants. *Functional Ecology*, v.12, p. 886-895. 1998.

# Livros Grátis

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

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

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

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

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