

ELMA DOS SANTOS SOUZA

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E PRODUTIVAS DE PLANTAS
JUVENIS DE MACAÚBA EM CONSÓRCIO COM BRAQUIÁRIA**

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2013

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S729r
2013 Souza, Elma dos Santos, 1980-
Respostas ecofisiológicas e produtivas de plantas juvenis de
macaúba em consórcio com braquiária / Elma dos Santos Souza.
– Viçosa, MG, 2013.
xii, 98f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Inclui apêndices.

Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Acrocomia aculeata. 2. Agrossilvicultura. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.851

ELMA DOS SANTOS SOUZA

**RESPOSTAS ECOFISIOLÓGICAS E PRODUTIVAS DE PLANTAS
JUVENIS DE MACAÚBA EM CONSÓRCIO COM BRAQUIÁRIA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 16 de agosto de 2013.

Adriana Corrêa Guimarães

Eduardo Gusmão Pereira

Domingos Sávio Queiroz

Kacilda Naomi Kuki
(Coorientadora)

Sérgio Yoshimitsu Motoike
(Orientador)

Aos meus pais (Elza, Gildázio, Maria Soares e Albertino)

Aos meus irmãos

Presença constante e amor incondicional, com todo amor e carinho, dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por todas as bençãos em minha vida a cada dia.

Aos meus pais e meus irmãos pelo amor incondicional.

Aos meus tios e tias, em especial, Deijanice e Marta pelo apoio e incentivo.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar mais esta conquista.

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

Ao Programa CAPES/DGU pela concessão da bolsa para realização do doutorado sanduíche.

Ao Professor Sérgio Y. Motoike, pela orientação, confiança e apoio ao longo destes quatro anos de convívio.

A Kacilda Naomi Kuki, pela simplicidade, troca de ideias e desprendimento para ensinar mostrando com leveza diferentes formas de fazer conexões e de como é apaixonante pesquisar.

Aos professores Paulo R. Cecon e Herly Carlos Teixeira Dias pela coorientação, confiança e incentivo.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pelos conhecimentos transmitidos.

A Universidad de Valladolid (UVa) em especial aos professores Adriana Corrêa Guimarães, Luis Manuel Navas Gracia, Jesús Martín Gil e Salvador Hernández Navarro pela recepção, amizade e ensinamentos durante minha estadia na Espanha.

Ao Professor Francisco de Assis Carvalho Pinto, do Departamento de Engenharia Agrícola pela oportunidade da realização do Doutorado sanduíche na UVa.

Aos amigos da Estação Experimental de Araponga-MG, em especial Sr. Itamar, Valtinho, Rui, Flávio, Gilson e Zé Tito foi um prazer imenso conviver com vocês, muito obrigada por tudo.

Aos colegas da UCP-UFV (Fisiologia Vegetal), em especial Gomide pela disposição em ajudar.

Aos colegas do Laboratório de Hidrologia Florestal/DEF/UFV, em especial Prof. Herly, Paulo e Thaís sempre prontos para ajudar.

A Washington Souza pelo incentivo e ajuda tornando esta caminhada mais leve.

Aos meus amigos aqui citados e muitos outros que conquistei ao longo destes anos acadêmicos: Alexandra, Aurora, Carmen Bravo, Cândida, Carla Teresa, Cris Duarte, Cristine Carine, Cristiane Gamarano, Dany, Érica, Edvanda, Emília, Erasto, Fabíola, Gisele, Guilherme, Hilo, Iosody, Kelma, Laelia, Lorena, Luis Fernando, Marcos, Natan, Nicolle, Norlan, Rosely, Vitória, Layne, Cleilton, Thiago, Thiago Pires, Guilherme Simiqueli, Rosana, Rogério Pêgo, Viviane Silva, Benito, Eleana e Valda pela presença constante, sei que posso contar com vocês sempre e não existem distâncias e fronteiras.

Aos meus colegas do grupo REMAPE pela ajuda, motivação e convívio.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio a pesquisa.

Aos colegas do Departamento de Fitotecnia – Setor Fruticultura pela ajuda e ótima convivência.

A todos que compartilharam e contribuíram para realização desta conquista.

*Senhor, graças e louvores sejam dadas a todo momento
Quero te louvar na dor, na alegria e no sofrimento
E se em meio à tribulação, eu me esquecer de ti
Ilumina minhas trevas com tua luz
(Nelsinho Corrêa)*

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE ABREVIACÕES	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVO GERAL	4
METODOLOGIA GERAL	5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10

CAPÍTULO 1

INFLUÊNCIA DOS ESPAÇAMENTOS DE PLANTAS JUVENIS DE MACAÚBA CONSORCIADAS COM BRAQUIÁRIA NA DISPONIBILIDADE DE RECURSOS (LUZ E ÁGUA).	13
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
Avaliação da umidade do solo	18
Avaliação do índice de área foliar (IAF) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA)	20
Avaliação da disponibilidade de matéria seca da braquiária	21
Delineamento experimental	23
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
1.4 CONCLUSÕES	39
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

CAPÍTULO 2

INFLUÊNCIA DOS ESPAÇAMENTOS DE PLANTAS JUVENIS DE MACAÚBA CONSORCIADAS COM BRAQUIÁRIA NAS RESPOSTAS DE ASSIMILAÇÃO DE CO₂, CRESCIMENTO, PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ACÚMULO DE CARBONO	46
2.1 INTRODUÇÃO	47
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	51

Avaliação ecofisiológica de plantas juvenis de macaúba	52
Estimativa da fotossíntese do dossel em plantas juvenis de macaúba	53
Avaliação dos pigmentos foliares das plantas juvenis de macaúba.....	54
Estimativa da biomassa da parte aérea de plantas juvenis de macaúba.....	56
Estimativa do carbono estocado e CO ₂ assimilado de plantas juvenis de macaúba	57
Delineamento experimental	58
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
2.4 CONCLUSÕES.....	82
2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
CONCLUSÃO GERAL	90
APÊNDICE	91

LISTA DE ABREVIações

<i>A</i>:	.....Taxa da assimilação líquida de carbono
<i>A_D</i>:	.....Fotossíntese do dossel
<i>A_F</i>:	.....Fotossíntese do folha
<i>A_{max}</i>:	.....Taxa fotossintética saturada pela irradiância
<i>B</i>:	.....Biomassa seca
<i>C</i>:	.....Conteúdo de carbono
<i>CC</i>:	.....Capacidade de campo
<i>C_i/C_a</i>:	.....Razão das concentrações interna e ambiente de CO ₂
<i>E</i>:	.....Taxa transpiratória
<i>EC 2011</i>:	.....Estação chuvosa 2011
<i>EC 2012</i>:	.....Estação chuvosa 2012
<i>ES 2011</i>:	.....Estação seca 2011
<i>ESP</i>:	.....Espaçamento
<i>EUA</i>:	.....Eficiência do uso da água
<i>g_s</i>:	.....Taxa da fotossíntese líquida
<i>I</i>:	.....RFA absorvido pela folha
<i>IAF</i>	.....Índice de área foliar
<i>IAF (s)</i>:	.....Índice de área foliar das folhas ensolaradas
<i>I₀</i>:	.....Radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel
<i>k</i>:	.....Convexidade da curva
<i>MB</i>:	.....Macaúba consorciada com braquiária
<i>MS</i>:	.....Macaúba sem braquiária
<i>PCL</i>:	.....Ponto de compensação luminoso
<i>PMP</i>:	.....Ponto de mucha permanente
<i>PSL</i>:	.....Ponto de saturação luminoso
<i>R_d</i>:	.....Taxa de respiração no escuro
<i>RFA</i>:	.....Radiação fotossinteticamente ativa
<i>RFA i</i>:	.....Radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel
<i>RFA t</i>:	.....Radiação fotossinteticamente ativa abaixo do dossel
<i>SAF's</i>:	.....Sistemas agroflorestais
<i>t</i>:	.....Toneladas
<i>α</i>:	.....Eficiência quântica

RESUMO

SOUZA, Elma dos Santos; D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2013. **Respostas ecofisiológicas e produtivas de plantas juvenis de macaúba em consórcio com braquiária.** Orientador: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Coorientadores: Kacilda Naomi Kuki e Paulo Roberto Cecon.

Acrocomia aculeata, popularmente conhecida como macaúba, destaca-se pela sua grande capacidade de produção de óleo, tanto para produção de biodiesel, como para outros setores industriais, além do aproveitamento integral dos subprodutos que agrega valor a esta palmeira. A espécie apresenta grande rusticidade e plasticidade ecológica sendo possível cultivá-la em sistemas agroflorestais como o silvipastoril. Entretanto, para a comprovação da compatibilidade da macaúba com a prática silvipastoril é necessário a investigação dos aspectos ecofisiológicos e produtivos da espécie consorciada com pastagens e em diferentes espaçamentos. Desta forma, os objetivos foram avaliar o efeito dos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciada com braquiária sobre a umidade do solo, índice de área foliar, radiação fotossinteticamente ativa, nas variáveis de trocas gasosas, em especial a eficiência na assimilação de CO₂, no crescimento, produção de biomassa e acúmulo de carbono. O experimento foi realizado na Estação Experimental de Araponga, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Araponga – MG. Mudanças de macaúba foram plantadas em cinco espaçamentos consorciados com braquiária. As avaliações foram realizadas em épocas distintas de disponibilidade hídrica. Nas condições que foram desenvolvidas este estudo, pode-se concluir que a umidade do solo não foi influenciada pelos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciadas com braquiária. A passagem de radiação fotossinteticamente ativa para o sub-bosque, também não foi afetada e a produção de matéria seca da braquiária manteve-se satisfatória. O índice de área foliar das plantas juvenis de macaúba não foi afetado pelos diferentes espaçamentos. Em relação aos parâmetros de trocas gasosas, os valores médios absolutos em ambas as épocas, indicam que o processo assimilatório de CO₂ é contínuo e suficiente para assegurar o desenvolvimento e crescimento das plantas de macaúba,

apesar de na estação seca ocorrer um decréscimo significativo da fotossíntese líquida. As variáveis de crescimento, biomassa, acúmulo de carbono e CO_2 assimilado não foram afetadas negativamente pelos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciadas com braquiária demonstrando aporte contínuo de carbono ao longo do período de análise. Portanto, o consórcio de plantas juvenis de macaúba com braquiária é viável, uma vez que não foram observados efeitos que possam restringir o crescimento e desenvolvimento dos dois componentes vegetais. A escolha do espaçamento para um plantio racional dependerá do objetivo da prática agrícola. Adicionalmente a implantação da macaúba em sistemas agroflorestais apresentou considerável potencial para o sequestro de carbono, tornando seu cultivo uma atividade ambientalmente sustentável.

ABSTRACT

SOUZA, Elma dos Santos; D.Sc., Universidade Federal de Viçosa. August, 2013. **Ecophysiological and productivity responses of juvenile macauba in consortium with brachiaria.** Adviser: Sérgio Yoshimitsu Motoike. Co-advisers: Kacilda Naomi Kuki e Paulo Roberto Cecon.

Acrocomia aculeata, popularly known as macauba, stands out for its significant capacity to produce oil, usable in both biodiesel and other industrial sectors. In addition there is the possibility of integral use of the fruit's by-products that adds value to this palm. The species is very rustic and presents great ecological plasticity, which enables it to be used in agroforestry systems, such as silvopastoral. However, to prove the compatibility of macauba palm with silvopastoral practices is necessary to investigate the species ecophysiological aspects and productivity under this association and on different spacing. Thus, the objectives of this work were to evaluate the effect of the silvopastoral system, with brachiaria grass as the pasture component and juvenile macauba, under different spacing, as the arboreal component on: soil moisture, leaf area index, photosynthetic active radiation, gas exchange variables, growth, biomass production and carbon assimilation and accumulation. The experiment was conducted at the Araponga Experimental Station / UFV, in the municipality of Araponga - MG. Macauba plantlets were planted in five spacing in consortium with brachiaria. Evaluations were performed at different periods of natural water availability, rainy and drought seasons. The results pointed out that the soil moisture was not affected by plant spacing in a macauba-brachiaria association. The passage of photosynthetic active radiation to the understory was also not affected and dry matter production of Brachiaria remained satisfactory in all space treatments. The leaf area index was not affected by different spacing. In relation to gas exchange parameters, the absolute mean values in both seasons, indicated that the CO₂ assimilatory process is continuous and sufficient to ensure the development and growth of macauba plants, although in the dry season there was a significant decrease of net photosynthesis. Growth variables, biomass, carbon accumulation and CO₂ assimilation were not adversely affected by the spacing of juvenile macauba plants in

consortium with brachiaria, which demonstrates continuous carbon sequestration over the period of analysis. Thus, up to the end of the of the analyses, the consortium of juvenile macauba plants with brachiaria was a feasible practice, since no effects were observed that may restrict the growth and development of both plant components. The choice of spacing between palm plants, for the silvopastoral system, depends on the purpose of agricultural practice. Additionally, the utilization of macauba in agroforestry systems showed considerable potential for carbon sequestration, making its cultivation environmentally sustainable.

INTRODUÇÃO GERAL

A agroenergia vem ganhando destaque no cenário mundial no tocante a utilização de energias renováveis. A crescente demanda mundial por energia e a preocupação ambiental tem sido foco de diversas discussões em nível mundial (YAMANE e SHIMAMOTO, 2001; HOUGHTON, 2005; SOARES *et al.*, 2011) tornando-se imprescindível a busca por novas fontes de energia mais sustentáveis e menos poluentes.

O biodiesel é um combustível biodegradável, que provém de várias matérias-primas. No Brasil existem diversas espécies vegetais que apresentam potencial de exploração para esta finalidade, como por exemplo, macaúba, mamona, dendê, girassol e babaçu (RUDGE, 2005).

O País possui condições edafoclimáticas propícias para se tornar um dos maiores produtores de biodiesel do mundo, assegurando não somente o suprimento interno, como também a demanda internacional (BIODIESEL, 2011).

Atualmente 75% do biodiesel provém da soja, que é produzida por meio do sistema de monocultivo. Apesar de apresentar viabilidade econômica, os efeitos sobre o meio ambiente que a produção de soja em larga escala produz são limitantes, principalmente se a produção for acompanhada de um aumento da área cultivada. Outro aspecto negativo está relacionado à sustentabilidade social, uma vez que o perfil da ocupação de mão de obra do complexo da soja em pouco será alterado (WEHRMANN *et al.*, 2006).

Neste contexto, torna-se importante as ações de pesquisa em busca por novas fontes alternativas de energia, que possam estar interligadas ao contexto sócio-político-econômico e baseadas nos princípios de preservação ambiental (YAMANE E SHIMAMOTO, 2001).

Desta forma, o desenvolvimento de pesquisas para a obtenção de biodiesel a partir de óleos de frutos da palmeira macaúba vem de encontro a esta demanda. Principalmente por representar um grande incentivo para a preservação e cultivo desta espécie, visto que atualmente a sua exploração é realizada de forma extrativista (ARKCOLL, 1990; RODRIGUES, 2007).

A palmeira macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Martius) pertence à família Arecaceae. É uma espécie monóica e sua altura máxima chega a 20 metros. Possui estipe solitário, aéreo, inicialmente coberto pelas bases foliares que são armadas com acúleos (MARTINS, 2000). O fruto é uma drupa globosa de 2,5 a 6 cm de diâmetro, de epicarpo liso e quebradiço, com mesocarpo fibroso amarelo ou branco. Juntas estas estruturas perfazem, aproximadamente, 58% do fruto, e revestem um coco que representa 42% do fruto.

Esta palmeira apresenta distribuição desde a América Central até o sul da América do Sul. No Brasil pode ser encontrada praticamente em todo território, com maior concentração nos Estados de Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás (MOTTA *et al.*, 2002). É considerada uma espécie pioneira, e, portanto heliófila, no processo de sucessão ecológica. Por sua rusticidade, tolera as intempéries ambientais, sendo comum a sua presença em regiões propensas a seca e em áreas intensamente antropizadas, suportando grandes variações climáticas, também é comum encontrar populações nativas em regiões de cerrado, pastagens nativas ou degradadas, dividindo recursos com os outros componentes vegetais (ARKOLL, 1990; LORENZI 2004; LORENZI, 2006).

A frutificação da macaúba pode iniciar após 4 anos, podendo atingir de 3 a 4 cachos de coco por planta/ano. Apresenta produtividade agrícola bastante elevada, com produção estimada de 5 toneladas de óleo do tipo oléico-palmítico e 1,4 toneladas de óleo do tipo láurico, em plantios com densidade de 200 plantas/ha. Esta estimativa equipara-se a do dendê (*Elaeis guineensis*), especialmente considerando que a macaúba desenvolve-se bem em ambientes mais secos do que a palmeira africana (RETTORE e MARTINS, 1983, CLEMENT *et al.*, 2005).

Segundo Carneiro e Pereira (2011), a macaúba tem possibilidade de se tornar a palmeira oleaginosa mais importante comercialmente no Brasil, pois o fruto apresenta multiplicidade de uso industrial. O processamento destes frutos gera óleos de excelente qualidade, tanto para produção de biodiesel, como para outros setores industriais (RODRIGUES, 2007; TEIXEIRA, 2005; PIMENTEL *et al.*; 2011) e diversos subprodutos, como:

carvão (endocarpo) e as tortas protéicas (polpa e amêndoa). Visto que a tendência do aumento de produção de biodiesel poderá estar diretamente ligada ao aumento da utilização da macaúba, é de se esperar que resíduos ou coprodutos venham a se tornar disponíveis em abundância, agregando valor mercadológico à espécie (ANDRADE *et al.*, 2009).

Outra vantagem da macaúba é que, devido à sua grande rusticidade e plasticidade ecológica é possível cultivá-la em sistemas agroflorestais (SAF's) como, por exemplo, os silvipastoris. No entanto, são poucas as informações agronômicas que possibilitem a implantação de sistemas de cultivo ou manejo sustentável desta espécie, havendo assim, necessidade de pesquisas para que sua produção seja economicamente viável.

Em sistemas silvipastoris a introdução simultânea de mudas arbóreas com espécie forrageira, normalmente de crescimento rápido, pode configurar uma situação de estresse, uma vez que a competitividade entre as espécies pode limitar a disponibilidade e uso dos recursos.

ANDRADE *et al* (2008) verificaram que mudas de espécies arbóreas, de crescimento rápido, eram pouco afetadas quando cultivadas com *Brachiaria brizantha* e sem prejuízos para produção de biomassa da gramínea. Para que um sistema SAF's tenha sucesso é necessária a comprovação de que as espécies envolvidas são capazes de explorar e utilizar os recursos com um mínimo de efeitos negativos.

Além das vantagens citadas anteriormente os SAF's apresentam grande potencial de sequestrar carbono em longo prazo, devido a sua conformação mais complexa e diversa, principalmente quando o manejo das espécies componentes é realizado de forma adequada (CHAUHAN *et al.*, 2009; FANG *et al.*, 2010; RIZVI *et al.*, 2011). A assimilação e sequestro de carbono está vinculado ao ganho de biomassa e, em espécies arbóreas, devido a sua estrutura e ao ciclo de vida, esta relação é mais evidente do que em espécies herbáceas, como gramíneas.

Em vegetais o crescimento e desenvolvimento está diretamente relacionado com a fotossíntese. Este é de longe o mais eficiente mecanismo de sequestro de carbono (BUCKERIDGE e AIDAR, 2002). Porém, o grau de eficiência será influenciado pela disponibilidade de recursos, decorrentes da

sazonalidade e das interações dentro de um SAF. (LAMADE e SETIYO, 2002; JANSON *et al.*, 2010).

Diante da possibilidade de empreender a macaúba em sistemas de cultivo consorciado, surge à necessidade de investigar os aspectos ecofisiológicos e produtivos da espécie em diferentes espaçamentos, consorciados ou não com pastagens. Nesses estudos, poderão ser geradas informações dos mecanismos que permitam a espécie utilizar eficientemente os recursos disponíveis sem detrimientos para a espécie adjacente ou vice-versa.

OBJETIVO GERAL

Verificar a influência dos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciada com braquiária na disponibilidade dos recursos (água e luz), assimilação do CO₂, crescimento e sequestro de carbono.

METODOLOGIA GERAL

Local do experimento

O experimento foi realizado na Estação Experimental de Araponga, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Araponga – MG, coordenadas (20° 39' 7" S 42° 31' 47" W), com altitude de 806 m. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é temperado chuvoso com inverno seco (junho, julho e agosto) e verão chuvoso (Cwb). A precipitação média anual é de 1500 mm.

Material vegetal e condições de cultivo

As mudas de macaúba foram obtidas a partir de sementes provenientes de plantas da região de Jaboticatubas – MG. Em fevereiro de 2009 mudas de macaúba com 1 ano de idade foram plantadas em cinco espaçamentos em quatro blocos (Figura 1 e 2, Tabela 1). Em março deste mesmo ano, foi realizado um experimento das plantas de macaúba nos diferentes espaçamentos consorciada ou não com feijão (*Phaseolus vulgaris* cv. ouro vermelho), em outubro de 2009 o consórcio foi realizado com milho (*Zea mays* L. cv. UFV 200) e em março de 2010 com feijão novamente.

Em novembro de 2010 o plantio rotativo foi substituído pelo plantio de braquiária (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk) mediante semeadura a lanço.

Para o sistema de macaúba sem braquiária, a área foi mantida limpa, sendo o controle das plantas daninhas realizado por meio de aplicação de herbicidas pós-emergentes.

Mesmo na área com braquiária as plantas de macaúba foram mantidas limpas próximo a estipe (coroamento – 1 m de raio) através de capina mecânica para facilitar as práticas agrícolas e evitar presença de plantas daninhas e/ou braquiária.

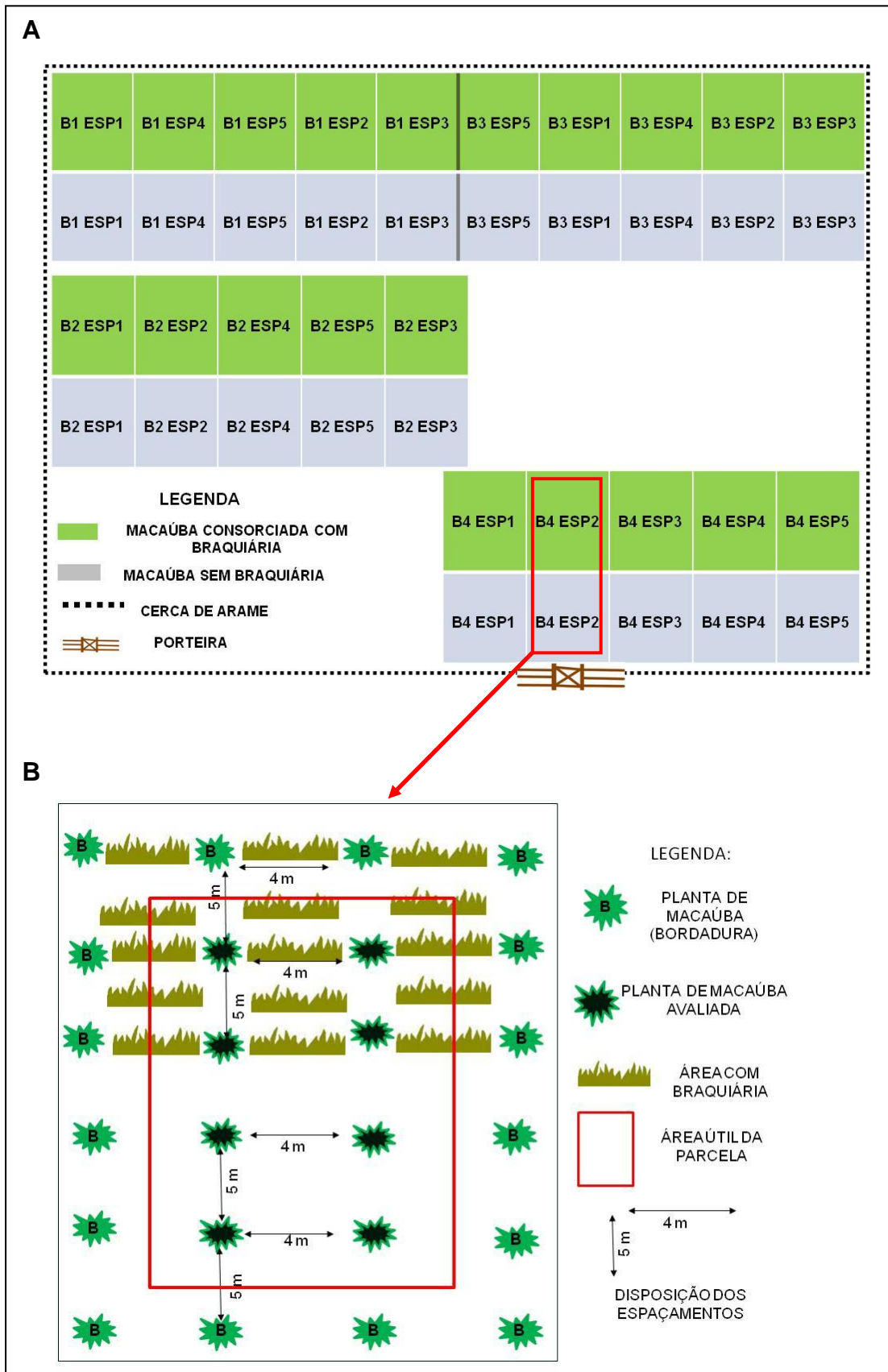


Figura 1. Esquema da disposição dos blocos e espaçamentos (A); Detalhamento da disposição das plantas de macaúba em cada espaçamento, consorciada ou não com braquiária, exemplo: B4 ESP2 (B).



Figura 2. Fotografia das plantas de macaúba consorciada ou não com braquiária.

As adubações foram realizadas de acordo com análise de solo. A aplicação dos fertilizantes foi realizada em 2010, com aplicações de ureia (140 g/planta), cloreto de potássio (90 g/planta), formulação 20-5-20 + micro (800 g/planta) e cama de frango (10 litros/planta), as aplicações foram fracionada em 4 vezes (nos meses de janeiro, abril, outubro e dezembro). No ano de 2011, a aplicação de fertilizantes, foi fracionada em três vezes (nos meses de fevereiro, outubro e dezembro), com aplicações da formulação 20-5-20+micro (1kg/planta), boro (25g/planta) e cama de frango (5 litros/planta). Em 2012 foi realizada uma aplicação (em janeiro) com a formulação 20-5-20 (400g/planta).

Tabela 1. Descrição dos espaçamentos das plantas de macaúba consorciadas ou não com braquiária e número de plantas por hectare (ha). Viçosa-MG, 2013.

	Espaçamentos (m x m)	Número de plantas / ha	Sistemas de cultivo
ESP 1	4,5 x 4,5	494	MB ¹
	4,5 x 4,5		MS ²
ESP 2	5,0 x 4,0	500	MB
	5,0 x 4,0		MS
ESP 3	6,0 x 4,0	417	MB
	6,0 x 4,0		MS
ESP 4	7,0 x 4,0	357	MB
	7,0 x 4,0		MS
ESP 5	8,0 x 4,0	313	MB
	8,0 x 4,0		MS

¹Macaúba consorciada com braquiária

²Macaúba sem braquiária

METODOLOGIA: CAPÍTULO 1

Neste capítulo foram avaliadas as variáveis ambientais como, umidade do solo, radiação fotossinteticamente ativa (RAF), e as variáveis fitotécnicas como, índice de área foliar (IAF) de plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos consorciadas com braquiária e disponibilidade de matéria seca da braquiária. As mensurações foram realizadas nas diferentes estações de disponibilidade hídrica. A umidade do solo foi determinada mediante uso de sensores ECH₂O modelo EC-5 (Decagon Devices, Inc, USA). O IAF e RFA foram determinados por meio do analisador RFA/IAF modelo Accu PAR LP PAR 80 (Decagon Devices, Inc, USA). A biomassa disponível de braquiária foi realizada através de coletas periódicas, pesagem e cálculo da massa seca.

Maior detalhamento das metodologias utilizadas está descrito no capítulo 1.

METODOLOGIA: CAPÍTULO 2

Neste capítulo foram realizadas avaliação ecofisiológicas de plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos consorciadas com

braquiária por meio de medições da eficiência do uso da luz e trocas gasosas. Essas medições foram realizadas com analisador de gases a infravermelho portátil LC-PRO (ADC, BioScientific Ltd. Hoddesdon, UK).

Foram realizadas estimativas da fotossíntese do dossel, biomassa da parte aérea, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado de plantas juvenis de macaúba, baseada nas fórmulas desenvolvidas por Campbell e Norman (1998), Frangi e Lugo (1985), Chauhan et al. (2009) e Rizvi et al. (2011) respectivamente.

Maior detalhamento das metodologias utilizadas está descrito no capítulo 2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARKCOLL, D., New crops from Brazil, In: Janick, J.; Simon, E.J. Advances in new crops. Timber press, Portland, 1990, p.367-371.

BIODIESEL. **O novo combustível do Brasil.** Disponível em: http://www.mme.gov.br/programas/biodiesel/galerias/arquivos/biodiesel/cartilha_biodiesel_portugues.pdf>. Acesso em: 06/08/2011.

BUCKERIDGE, M. S. AIDAR, M. P. M. Carbon sequestration in the rain forest: alternatives using environmentally friendly biotechnology. **Biota Neotropica**. v. 2, n. 1, p. 1-5. 2002.

CARNEIRO, H.; PEREIRA, J. C. **Macaúba: co-produtos de biodiesel na alimentação animal.** Disponível em: <http://www.cileite.com.br/panorama/produtos29.html>> Acesso em: 30/08/2011.

CLEMENT, C. R.; LLERAS, PÉREZ, E. VAN LEEUWEN, J. O potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Agrociências**. v.9, n.1-2, p. 67-71. 2005.

CHAUHAN, S. K.; GUPTA, N.; YADAV, R. S.; CHAUHAN, R. Biomass and carbon allocation in different parts of agroforestry tree species. **Indian Forester**. v. 135, n. 7, p. 981-993. 2009.

FANG, S.; LI, H.; SUN, Q. Biomass production and carbon stocks in poplar-crop intercropping systems: a case study in northwestern Jiangsu, China. **Agroforestry Systems**. v. 79, p. 213-222. 2010

HOUGHTON, R. A. Above ground forest biomass and the global carbon balance. **Global Change Biology**. v. 11, p. 945-958. 2005.

JANSSON, C.; WULLSCHLEGER, S. D.; KALLURI, U. C.; TUSKAN, G. A. Phytosequestration: Carbon Biosequestration by Plants and the Prospects of Genetic Engineering. **Bio Science**. v. 60, n.9, p.685-696. 2010.

LAMADE, E.; SETIYO, I. **Characterisation of carbon pools and dynamics for oil palm and forest ecosystems: application to environmental evaluation.** In: *International Oil Palm Conference*. Indonésie: Nusa Dua, Bali, p.8–12. 2002.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; DE MEDEIROS COSTA, J. T.; DE CERQUEIRA L. S. C.; FERREIRA E. **Palmeiras Brasileiras e Exóticas Cultivadas.** Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 416 p. 2004.

LORENZI, G. M. A. C. **Acrocomia aculeata (Jacq.) Lodd. Ex Mart. - Arecaceae: bases para o extrativismo sustentável.** 2006. 166f. Tese

(Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal). Universidade Federal do Paraná, Paraná. 2006.

MARTINS, R.C. **Araceae (Palmae) no Distrito Federal, Brasil**. 2000. Dissertação (Mestrado/ Botânica). Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília. Brasília. 2000.

MOTTA, P.E. et al. Ocorrência da macaúba em Minas Gerais: relação com atributos climáticos, pedológicos e vegetacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 37, p. 1023-1031. 2002.

PIMENTEL, L. D.; MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S. Y.; PAES, J. M. V.; BRUCKNER, C. H. Coeficientes técnicos e custos de produção do cultivo da macaúba. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 265, p. 61-69, 2011.

RETTORE, R.P.; MARTINS, H. Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais: Estudo das oleaginosas nativas de Minas Gerais. Projeto da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC, Belo Horizonte.v. 1. 1983.

RIZVI, R. H.; DHYANI, S. K.; YADAV, R. S.; SINGH, R. H. Biomass production and carbon stock of poplar agroforestry systems in Yamunanagar and Saharanpur districts of northwestern India . **Current Science**. v. 100, n.5, p. 10. 2011.

RODRIGUES, H. S. **Obtenção de ésteres etílicos e metílicos, por reações de transesterificação, a partir do óleo da palmeira latino americana macaúba - *Acrocomia aculeata***. 2007. 241f. Tese (Doutorado/ Química). Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP, Ribeirão Preto. 2007.

RUDGE, V. V. C. **O potencial da agroenergia no Brasil na mitigação da mudança do clima: histórico jurídico**. 2005. 89f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu. 2005.

SOARES, J. D. R.; RODRIGUES, F. A.; PASQUAL, M.; NUNES, C. F.; ARAUJO, A. G. Germinação de embriões e crescimento inicial *in vitro* de macaúba. **Ciência Rural**. v. 41, n.5, p. 773-778. 2011.

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**. v. 26, p. 18-27, 2005.

WEHRMANN, M. E. S. F.; VIANNA, J. N. S.; DUARTE, L. M. G. Biodiesel de soja: política energética, contribuição das oleaginosas e sustentabilidade. In: III Encontro da Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade. **Resumos...** Brasília, DF, 2006.

YAMANE, K.; UETA, A.; SHIMAMOTO, Y., Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuel on injection. **The Fifth International**

Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines. Nagoya, p. 402-409. 2001.

CAPÍTULO 1

INFLUÊNCIA DOS ESPAÇAMENTOS DE PLANTAS JUVENIS DE MACAÚBA CONSORCIADAS COM BRAQUIÁRIA NA DISPONIBILIDADE DE RECURSOS (LUZ E ÁGUA)

1.1 INTRODUÇÃO

As palmeiras destacam-se como importantes componentes da vegetação em diferentes tipos de biomas tropicais, podendo compor tanto o sub-bosque quanto o dossel das variadas formações vegetacionais (SCARIOT, 1998; LORENZI, 2006; BARLETO, 2011). Dentre as diversas espécies de palmeira, a macaúba (*Acrocomia acauleata*) destaca-se por apresentar diversas utilizações, sendo que a propriedade oleaginosa dos frutos chama atenção pela grande capacidade produtiva podendo chegar até 6 toneladas de óleo $\text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$ (LLERAS e CORADIN, 1985; WANDECK e JUSTO, 1988; SCARIOT *et al.*, 1995).

Por sua rusticidade, tolera intempéries ambientais, sendo comum encontrar populações nativas em regiões de cerrado, pastagens nativas ou degradadas, dividindo recursos com os outros componentes vegetais (ARKOLL, 1990; LORENZI 2004; LORENZI, 2006).

Do ponto de vista agrônomo, sistemas agroflorestais promovem vários efeitos benéficos, quer sejam ecológicos ou econômicos, atestando o caráter sustentável da prática. Sob manejo adequado, esta forma de cultivo pode auxiliar na produtividade das plantas envolvidas, ao proporcionar condições microambientais, como umidade do solo, nutrientes, radiação e temperatura, mais favoráveis aos componentes vegetais (MACDICKEN e VERGARA, 1990; GARRETT *et al.*, 1991; YUNUSA *et al.*, 1995; LEAKEY, 1996; LIVESLEY *et al.*, 2002). Em regiões susceptíveis a longos períodos de seca, um dos desafios para a utilização de sistemas agroflorestais é a identificação de espécies que otimizem a captura e o uso dos recursos ambientais escassos, como água e nutrientes, com o mínimo de competitividade entre as espécies. Esta complementação e compatibilidade das espécies são cruciais para o sucesso dos sistemas agroflorestais (ANDRADE *et al.*, 2008).

O acúmulo de massa seca de uma cultura depende da eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada, desde que outros fatores, como a disponibilidade de nutrientes e água não sejam limitantes (SILVA NETO, 2006). Quando em associação, o porte mais alto das árvores, em relação às pastagens, interfere na passagem da radiação

luminosa para o estrato inferior, fazendo com que, em grande parte das situações, a taxa de crescimento das forrageiras seja menor na área sombreada (FRANKE *et al.*, 2001). Contudo, dependendo da espécie forrageira, o sombreamento pode auxiliar no aumento da produção, por permitir uma melhora na manutenção da água no sistema, ao mitigar a dessecação excessiva do solo (CARVALHO, 2001; FULCO *et al.*, 2001).

Estudos sobre o padrão de utilização da energia solar em coqueiro e dendê indicaram que há variações na interceptação da radiação solar pela copa em função das diferentes idades (NELLIAT *et al.*, 1974; FOALE *et al.*, 1994; TAYLOR *et al.*, 2008). A primeira fase de desenvolvimento corresponde a fase de emissão das primeiras folhas adultas, quando há um progressivo requerimento de luz. Na segunda fase, que corresponde ao desenvolvimento do caule com diâmetro adulto, o requerimento de luz é alto e constante (TOMLINSON, 1990). O grau de sombreamento pode diferir com espaçamento, fertilidade do solo, idade da planta, e características do dossel de cada variedade (PAYNE, 1985; CHEN, 1989). A ordem de maior influência das características do dossel que altera a penetração da luz é: (1) índice de área foliar (IAF), (2) quantidade e filotaxia das folhas, (3) inclinação angular média das folhas, (4) distribuição vertical das folhas (SAMPSON e SMITH, 1993; BEZUIDENHOUT, 2000). Em dendê foi observado que os valores de IAF aumentavam com a idade e atingiam o seu máximo estável após cerca de 10 anos de idade (CORLEY e GRAY, 1976). Similarmente em plantações de coco foi observado que o tamanho da copa reduzia com a idade do plantio, afetando a quantidade de luz transmitida para o sub-bosque (FOALE, 1993). Os autores sugeriram que a interceptação da radiação pode ser melhorada com o aumento da densidade de plantio, porém ressaltaram que a alta densidade seria eficiente somente durante um período de vida da plantação, de 20 a 30 anos.

A introdução simultânea de mudas arbóreas com a espécie forrageira pode configurar uma situação de competição de recursos, pois estas podem sofrer limitação nutricional e hídrica, em decorrência da superficialidade inicial de seu sistema radicular; bem como luminosa, devido ao sombreamento pela forrageira, em caso de manejo inadequado.

Posteriormente, o maior porte do componente arbóreo pode vir a limitar a produção da forrageira.

Este trabalho teve como objetivo investigar se os espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciadas ou não com braquiária influenciam na disponibilidade de recursos (água e luz). Para atender este objetivo, os seguintes pontos foram estudados:

Avaliar a influência dos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciadas ou não com braquiária na disponibilidade de água no solo;

Avaliar a influência do índice de área foliar (IAF) de plantas juvenis de macaúba na incidência de radiação fotossinteticamente ativa (RAF) sobre a braquiária.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento, material vegetal e condições de cultivo estão descritos na metodologia geral (p. 5).

Período de avaliação

As avaliações das variáveis foram realizadas em três estações distintas de disponibilidade hídrica (Figura 3):

- ✓ Estação chuvosa 2011 (EC 2011) - período caracterizado pela presença de chuvas e plantas em estágio inicial de estabelecimento no campo (plantas de macaúba com 36 meses de idade).
- ✓ Estação seca 2011 (ES 2011) - período de estiagem (plantas de macaúba com 42 meses de idade).
- ✓ Estação chuvosa 2012 - período caracterizado pela presença de chuvas e plantas estabelecidas no campo (plantas de macaúba com 48 meses de idade).

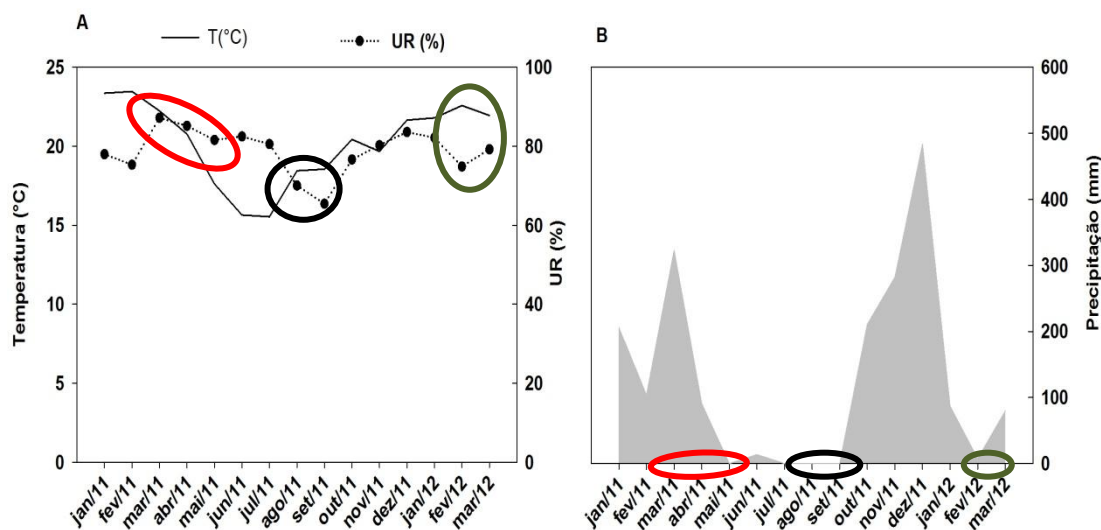


Figura 3. Dados médios mensais de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (A) e precipitação (B) durante o período de 01/2011 a 03/2012. Os dados de T (°C) e UR (%) foram fornecidos pela UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, Estação Climatológica Principal de Viçosa. Boletim meteorológico 2011. Viçosa, 2011. E os dados de precipitação (mm) foram fornecidos pelo Laboratório de Hidrologia Florestal/DEF/UFV. Círculos: vermelho, preto e verde = são referentes às avaliações da EC 2011, ES 2011 e EC 2012 respectivamente.

Avaliação da umidade do solo

Medidas de umidade do solo foram realizadas por meio da colocação de quatro sensores de umidade ECH₂O modelo EC-5 (Decagon Devices, Inc, USA) na camada de 0 a 40 cm de profundidade em covas (40 cm de diâmetro x 60 cm de profundidade) localizadas na entre linhas das plantas de macaúba (Figura 4) para cada espaçamento nos quatros blocos, sendo que cada sensor correspondeu a uma medida de umidade tomada. Após a introdução do sensor no solo, as leituras eram obtidas de forma instantânea e anotadas. Ao final de cada período de avaliação foi obtida uma média das quatro medidas tomadas em cada espaçamento.

Esses sensores registram a umidade do solo por meio da análise da constante dielétrica do solo e da água. Os dados foram conferidos e transformados em umidade gravimétrica do solo após checagem pelo método gravimétrico (EMBRAPA, 1997). Para isso foram realizadas quatro coletas de amostras de solo na mesma profundidade de instalação dos sensores.

Para a obtenção dos dados de umidade conferidos e transformados, inicialmente a partir dos dados obtidos com o sensor e via método gravimétrico obtiveram-se diversas equações sendo escolhida aquela que apresentava melhor ajuste. Com a equação de melhor ajuste os dados de umidade obtidos pelos sensores foram transformados em base volumétrica (kg kg^{-1}), obtendo ao final distribuição dos valores da ES 2011 e EC 2012 entre a capacidade campo e ponto de mucha permanente (Figura 5).



Figura 4. Fotografia das medições de umidade do solo. A - B: Localização da cova no sistema macaúba consorciada com braquiária e sem braquiária, respectivamente (seta vermelha). C - F: processo de introdução do sensor na camada de 0 a 40 cm do solo e leitura.

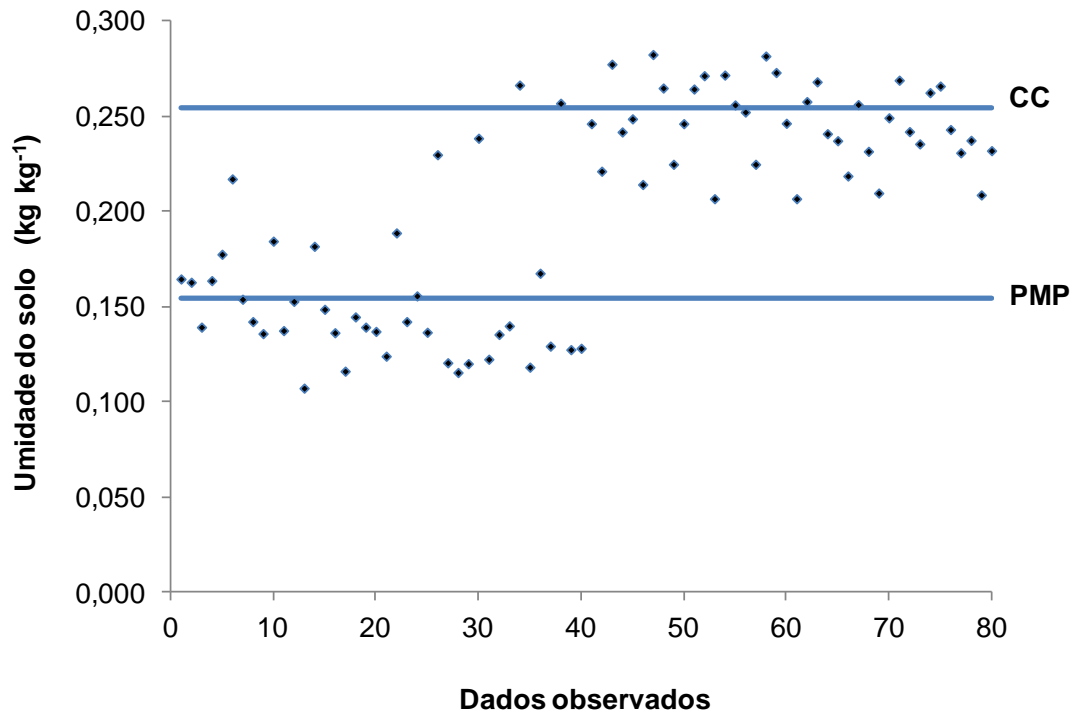


Figura 5. Umidade do solo (kg kg^{-1}) da estação seca e chuvosa. Valores entre a capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP).

Avaliação do Índice de área foliar (IAF) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

O IAF e RFA foram obtidos por meio de um analisador RFA/IAF modelo Accu PAR LP PAR 80 (Decagon Devices, Inc, USA). O aparelho foi colocado abaixo da copa e na entre linha das plantas de macaúba, com as medições sendo realizadas instantaneamente (Figura 6).

Foram tomadas quatro medidas na projeção da copa e na entre linha das plantas de macaúba respectivamente, para cada espaçamento e bloco, ao final foi obtida uma média das quatro medidas tomadas por espaçamento. As medições foram realizadas nos horários de 8 às 11 horas e de 13 às 15 horas.

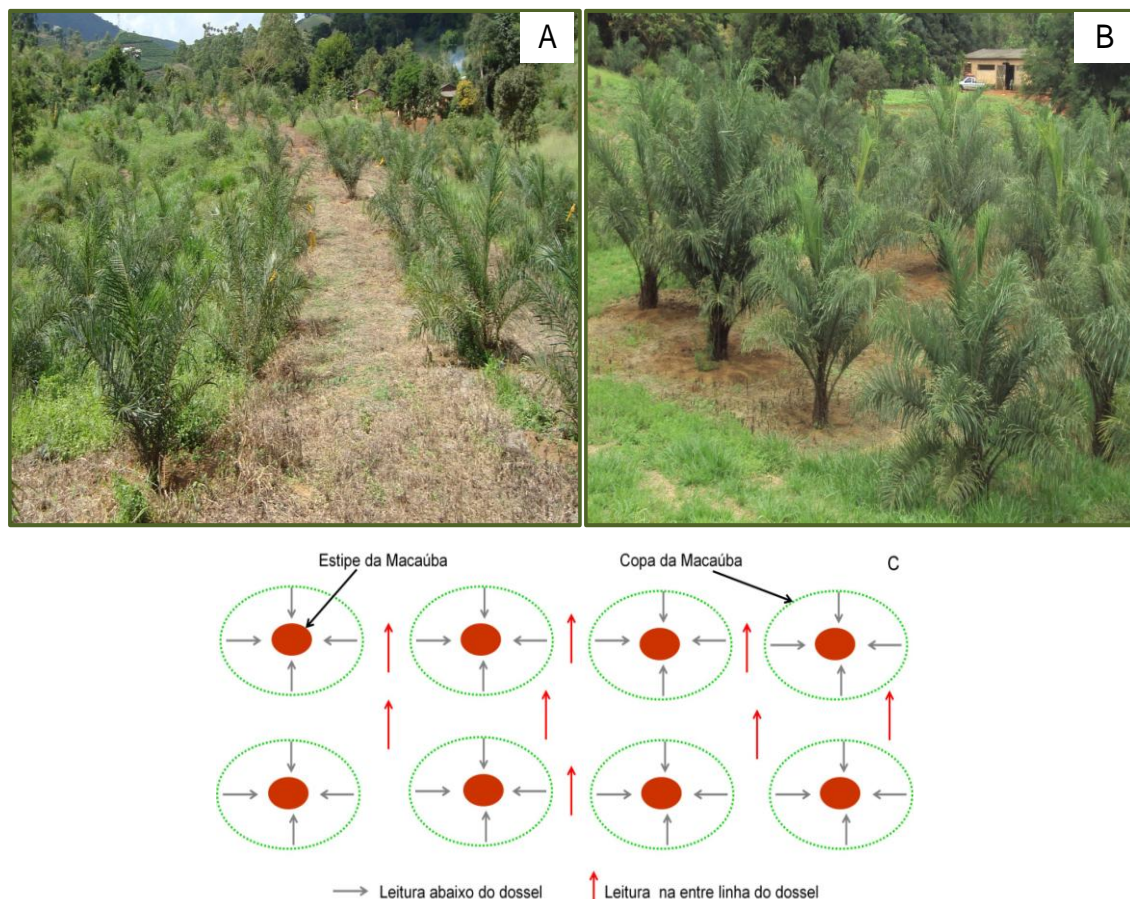


Figura 6. Fotografias e esquema das medições do IAF e RFA. A- B: Plantas de macaúba com 3 e 4 anos de idade, respectivamente. C: Esquema da localização das medições segundo a metodologia de Noor *et al.* (2002).

Avaliação da disponibilidade de matéria seca da braquiária

Para a avaliação da interferência dos espaçamentos na disponibilidade de matéria seca da braquiária, uma moldura de madeira (0,5 m x 0,5 m) foi lançada 4 vezes ao acaso na entrelinha e na projeção da copa das plantas de macaúba (Figura 7) nas EC 2011, ES 2011 e EC 2012.

Após o lançamento da moldura foi realizado o corte da forrageira com uma tesoura de poda à altura de 5 cm do solo, o material foi acondicionado em saco de papel (Figura 7 A-B) e submetido à secagem a 75 °C, por um período de 72 horas, em estufa de ventilação forçada.

Para o controle da altura da gramínea uma vez que o componente animal não foi avaliado, o pastejo em relação ao sub-bosque foi simulado por meio da roçagem mecânica, quando a gramínea atingia 50 cm de altura, sem a remoção da braquiária após a roçagem. Essa prática foi realizada

duas vezes somente na EC 2012 antes do início das avaliações, sendo a primeira roçagem em outubro de 2011 e segunda em janeiro de 2012.

A partir dos dados de pesagem de matéria seca foi calculada a disponibilidade de matéria seca (MS) por hectare ($t\ ha^{-1}$), sendo que na EC 2012 foi realizada duas roçagens, então o cálculo final da disponibilidade de matéria seca foi multiplicado por dois, uma vez que nos períodos anteriores não foram feitas roçagens antes das avaliações.

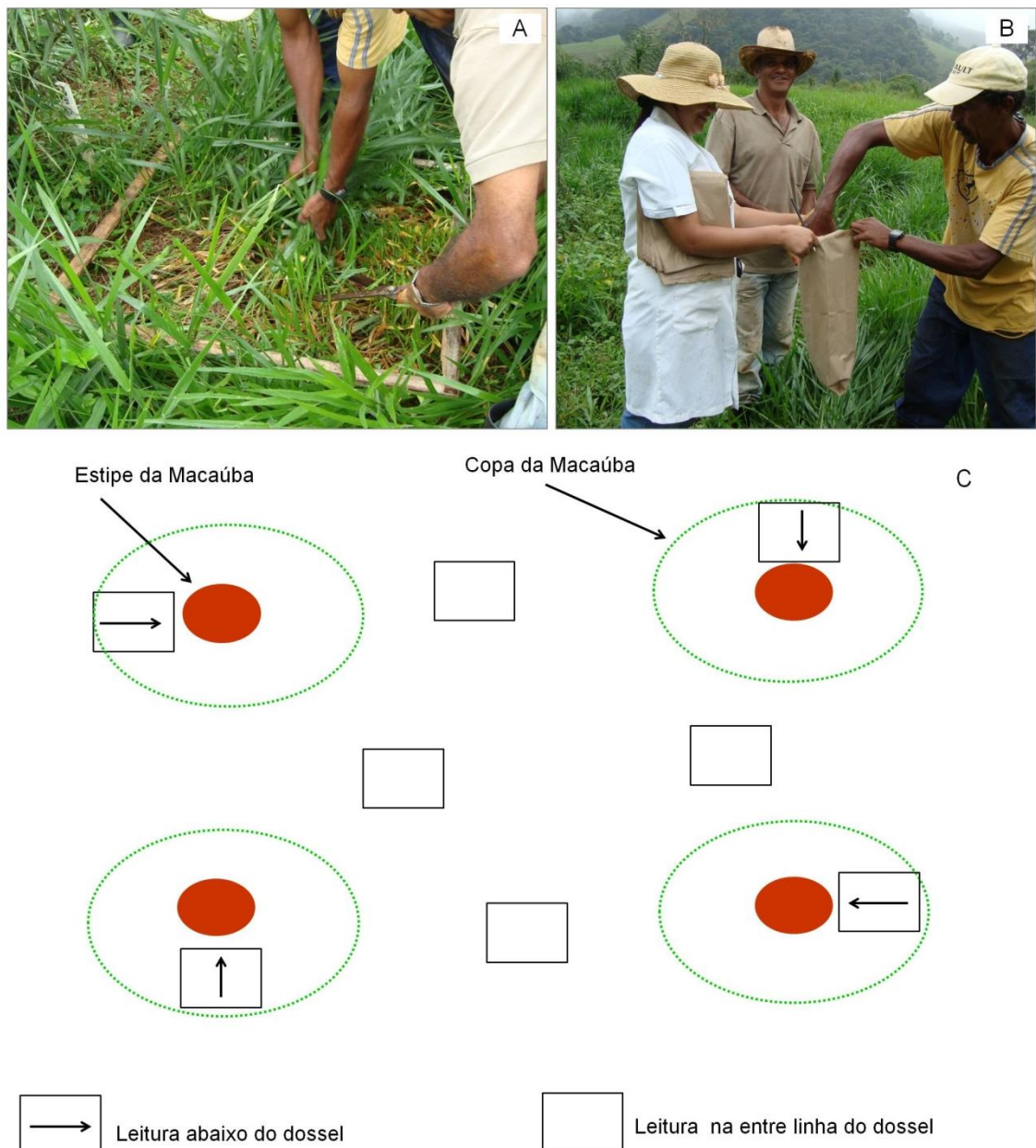


Figura 7. Fotografias e esquema das avaliações da braquiária. A – B: Corte e acondicionamento da braquiária em saco de papel. C: Esquema dos locais onde foram realizadas as avaliações.

Delineamento Experimental

a) Para as variáveis de umidade do solo, IAF e RFA abaixo do dossel e na entre linha das plantas juvenis de macaúba.

O experimento foi constituído por trinta tratamentos com arranjo em parcelas sub-subdivididas, sendo as parcelas principais compostas pela macaúba consorciada ou não com braquiária e as sub-parcelas compostas pelos 5 espaçamentos e as sub-sub parcelas compostas por 3 períodos de avaliação.

b) Para a disponibilidade de matéria seca da braquiária em função da disponibilidade hídrica.

O experimento foi constituído por quinze tratamentos com arranjo em parcelas sub-subdivididas, sendo as parcelas principais compostas pelos 5 espaçamentos e as sub-parcelas compostas por 3 períodos de avaliação.

c) Para a disponibilidade de matéria seca da braquiária em função da disponibilidade hídrica e dos locais de avaliação.

O experimento foi constituído por trinta tratamentos com arranjo em parcelas sub-subdivididas, sendo as parcelas principais compostas pelos locais de avaliação (abaixo do dossel e na entre linha das plantas de macaúba) e as sub-parcelas compostas pelos 5 espaçamentos e as sub-sub parcelas compostas por 3 períodos de avaliação.

Em todas as situações foram utilizados quatro blocos, sendo que cada bloco foi representado pela média de quatro avaliações, no delineamento em blocos casualizados.

Os dados foram analisados por meio da análise de variância e as médias comparadas utilizando o teste TUKEY, adotando o nível de 5% de probabilidade.

Independente da interação de maior grau ser ou não significativa optou-se pelo desdobramento da mesma devido ao interesse do estudo.

As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico SAEG, Versão 9.1 (SAEG, 2007).

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Espaçamentos e os sistemas de cultivo não interferem na oferta de água no solo.

No desdobramento verificando estações, fixando espaçamentos e sistemas de cultivo, houve diferença significativa para a umidade do solo (kg kg^{-1}). Maiores valores ocorreram na estação chuvosa (EC 2012) em todos os espaçamentos de plantas juvenis de macaúba sem braquiária. Houve diferença significativa para os ESP 1, ESP 3, ESP 4 e ESP 5 consorciados com braquiária com maiores valores na estação chuvosa 2011 (EC 2011) seguida da EC 2012 com menores valores na estação seca (ES 2011). Enquanto que, o ESP 2 consorciado com braquiária apresentou maiores valores de umidade na EC 2012 (Figura 8).

Para as análises verificando sistemas de cultivo, fixando espaçamentos e estação de disponibilidade hídrica houve diferença significativa para umidade do solo, no consórcio com braquiária para ESP 1, ESP 3 e ESP 4 com maiores valores na EC 2011 e no sistema sem braquiária com maiores valores na EC 2012 somente no ESP 5 (Figura 8).

Nas análises verificando espaçamentos, fixando sistemas de cultivo e estação foi verificado diferença significativa com maiores valores nos ESP 1, e ESP 3 quando comparado ao ESP 2 no consórcio com braquiária para EC 2011. Na ES 2011 os espaçamentos ESP 1 e ESP 2 diferiram dos demais no consorciado com braquiária e o ESP 5 diferiu do demais no sistema sem braquiária. Para a EC 2012 os espaçamentos ESP 1 e ESP 2 diferiram do ESP 5 no consórcio com braquiária e o ESP 3 diferiu do ESP 4 no sistema sem braquiária (Tabela 2).

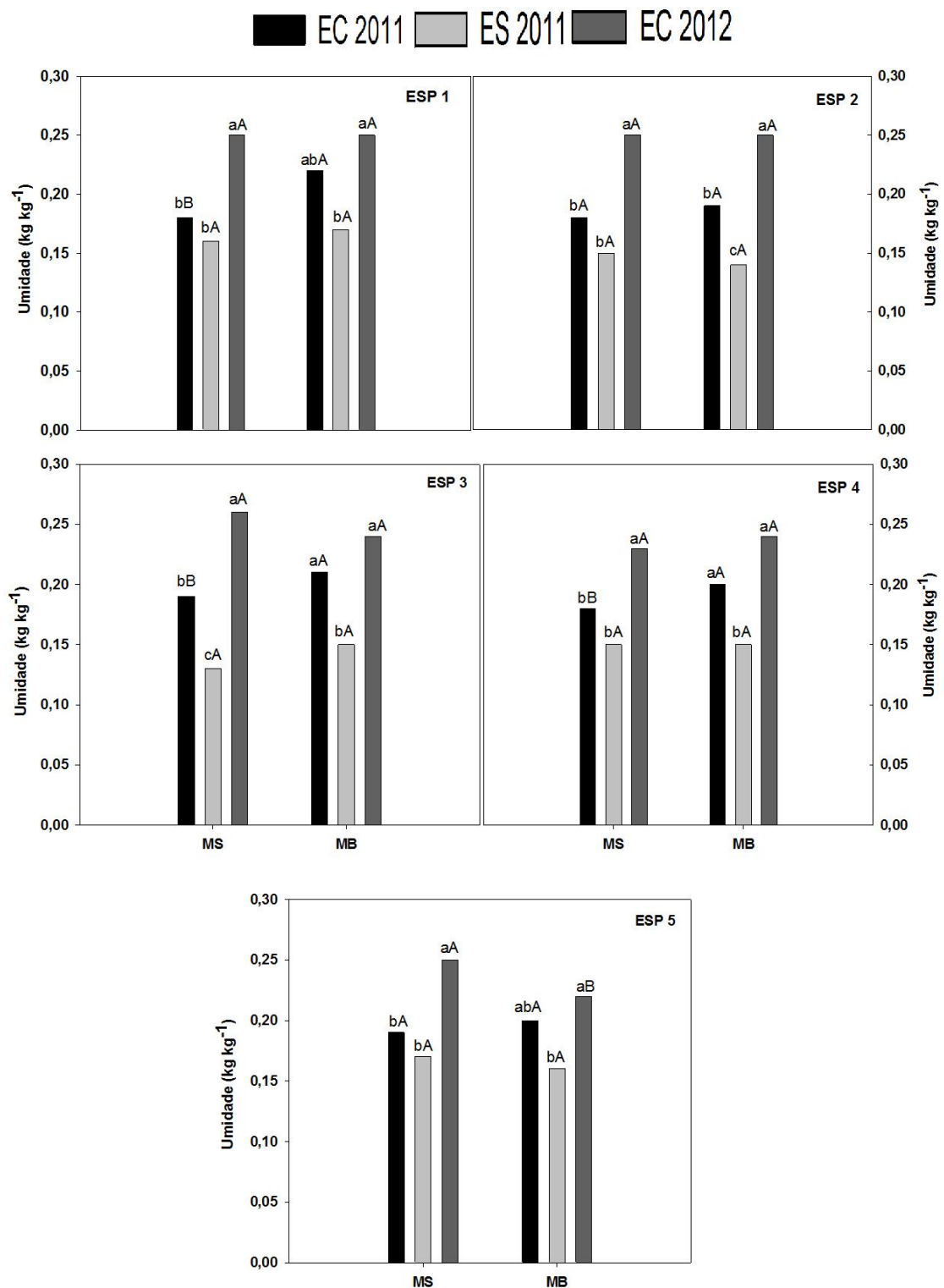


Figura 8. Umidade do solo (kg kg⁻¹). Letras iguais minúsculas (comparam estação de disponibilidade hídrica) e maiúsculas iguais (comparam sistemas de cultivo) não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Legenda: ESP 1 (4,5m x4,5m); ESP 2 (5m x4m); ESP 3 (6m x 4m); ESP 4 (7m x 4m); ESP 5 (8m x 4m). MS – macaúba sem braquiária; MB – macaúba consorciada com braquiária. EC 2011 – estação chuvosa 2011; ES – estação seca 2011; EC 2012 – estação chuvosa 2012.

Tabela 2. Valores de umidade do solo (kg kg^{-1}). Plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos, consorciada com braquiária (MB) ou não consorciada (MS), e estação de disponibilidade hídrica. Desdobramento verificando espaçamentos.

Espaçamentos (m x m)	EC 2011		ES 2011		EC 2012	
	MS	MB	MS	MB	MS	MB
ESP 1 (4,5 x 4,5)	0,18 a	0,22 a	0,16 ab	0,17 a	0,25 ab	0,25 a
ESP 2 (5 x 4)	0,18 a	0,19 b	0,15 b	0,14 a	0,25 ab	0,25 a
ESP 3 (6 x 4)	0,19 a	0,21 a	0,13 c	0,15 b	0,26 a	0,24 ab
ESP 4 (7 x 4)	0,18 a	0,20 ab	0,15 bc	0,15 b	0,23 b	0,24 ab
ESP 5 (8 x 4)	0,19 a	0,20 ab	0,17 a	0,16 ab	0,25 ab	0,22 b

Letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fazendo uma análise geral dos resultados é possível verificar que os valores de umidade do solo (kg kg^{-1}) foram menores (33%) na ES 2011 quando comparado com EC 2012 para todos os espaçamentos e sistemas de cultivo (Figura 8). Esses valores ocorreram em função da variação na sazonalidade de chuvas, uma vez que a ES 2011 compreendeu o período de estiagem.

É possível verificar que a disponibilidade de água no solo não foi influenciada pelo espaçamento e nem pela presença da braquiária. Desta forma, o consórcio com braquiária não traz efeitos negativos que possam restringir o crescimento e desenvolvimento da macaúba.

Apesar deste estudo não detectar diferença significativa para umidade do solo no sistema sem braquiária para a maioria dos espaçamentos. A presença da braquiária pode trazer benefícios, uma vez que, estudos têm demonstrado que a cobertura vegetal, quando não competitiva, favorece a melhoria das condições microclimáticas e edáficas do sistema (VEIGA e SERRÃO, 1994; DANIEL *et al.*, 1999; FERREIRA *et al.*, 2000; ANDRADE *et al.*, 2001; WADT *et al.*, 2003; ANDRADE *et al.*, 2008). Ademais, em situações de não competitividade, o desenvolvimento do componente

arbóreo pode beneficiar o componente animal por meio de um maior conforto térmico (LEME *et al.*, 2005; NAVARINI *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2010).

Estudos relacionados a produção da macaúba são realizados por meio de estimativas a partir de plantações nativas, uma vez que ainda não existe plantio comercial em produção. Contudo, suas exigências climáticas quando comparada ao dendê são bem menores, visto que a palmeira pode ser encontrada em diferentes regiões com características climáticas distintas, o que não ocorre com o dendê, o qual é exigente principalmente em precipitação.

A disponibilidade de água no solo é reconhecidamente um dos fatores mais determinantes na produtividade vegetal, inclusive de palmáceas (KASTURIBAI *et al.*, 1988; PEIRIS, 1993; LARCHER, 2004). Portanto, um adequado suprimento hídrico é fundamental para assegurar a produção de matéria seca. A absorção da água disponível no solo está vinculada a morfologia e biologia das raízes, sendo o fenômeno altamente relacionado com a zona de maior atividade radicular. Nelson *et al.* (2006) descreveram que a atividade mais intensa de absorção de água pelo sistema radicular do dendê é próxima ao tronco e nas primeiras camadas do solo (0-50 cm). Resultados similares foram encontrados em coco, em que a zona de maior densidade de raízes absorventes encontrava-se entre as camadas de 0 a 50 cm de profundidade, e no máximo até 1,5 m de distância horizontal a estipe (MIRANDA *et al.*, 2003). Sarmiento *et al.* (2008) verificaram em *Panicum maximum*, que aproximadamente 60% do sistema radicular concentra-se na camada de 0-10 cm e cerca de 25% na camada de 10-20 cm de profundidade.

Para macaúba os dados de atividade radicular na absorção de água são incipientes, carecendo de uma investigação mais profunda. Porém, considerando que os sistemas radiculares das palmáceas arbóreas são, em sua maioria, do tipo fasciculado, é possível que a absorção de água pelas raízes desta espécie possa apresentar padrão similar ao do dendê e do coco (MIRANDA *et al.*, 2003; NELSON *et al.*, 2006; CINTRA *et al.*, 2008). Assim a atividade de absorção de água pelo sistema radicular da macaúba e da braquiária no presente estudo, possivelmente não se sobrepuseram, uma

vez que ambos os vegetais provavelmente exploraram profundidades e áreas distintas no solo, como teorizado por Lefroy e Stirzaker (1999).

Neste trabalho constata-se, portanto, que a oferta do recurso hídrico, medida como umidade do solo, é influenciada de forma mais intensa pela sazonalidade das chuvas, o que era esperado. A macaúba e a braquiária tiveram pouca interferência nesta variável. Uma vez que, quando o suprimento hídrico no solo, aliado as outras necessidades é adequado, o desenvolvimento dos vegetais componentes do consórcio fica assegurado.

O incremento do índice de área foliar (IAF) da macaúba influência na disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) do sub-bosque.

O índice de área foliar (IAF) da macaúba na ES 2001 e EC 2012 diferiu de forma significativa da EC 2012 em todos os espaçamentos e sistemas de cultivo. Foi observado incremento do IAF ao longo das avaliações, independente do espaçamento e sistema adotado, indicando que o crescimento das plantas juvenis de macaúba não foi afetado (Figura 9).

Para o desdobramento verificando sistemas, fixando espaçamentos e estação de disponibilidade hídrica não foi observado diferença significativa nos espaçamentos e sistemas de cultivo. Assim como, no desdobramento verificando espaçamentos e fixando estação e sistemas.

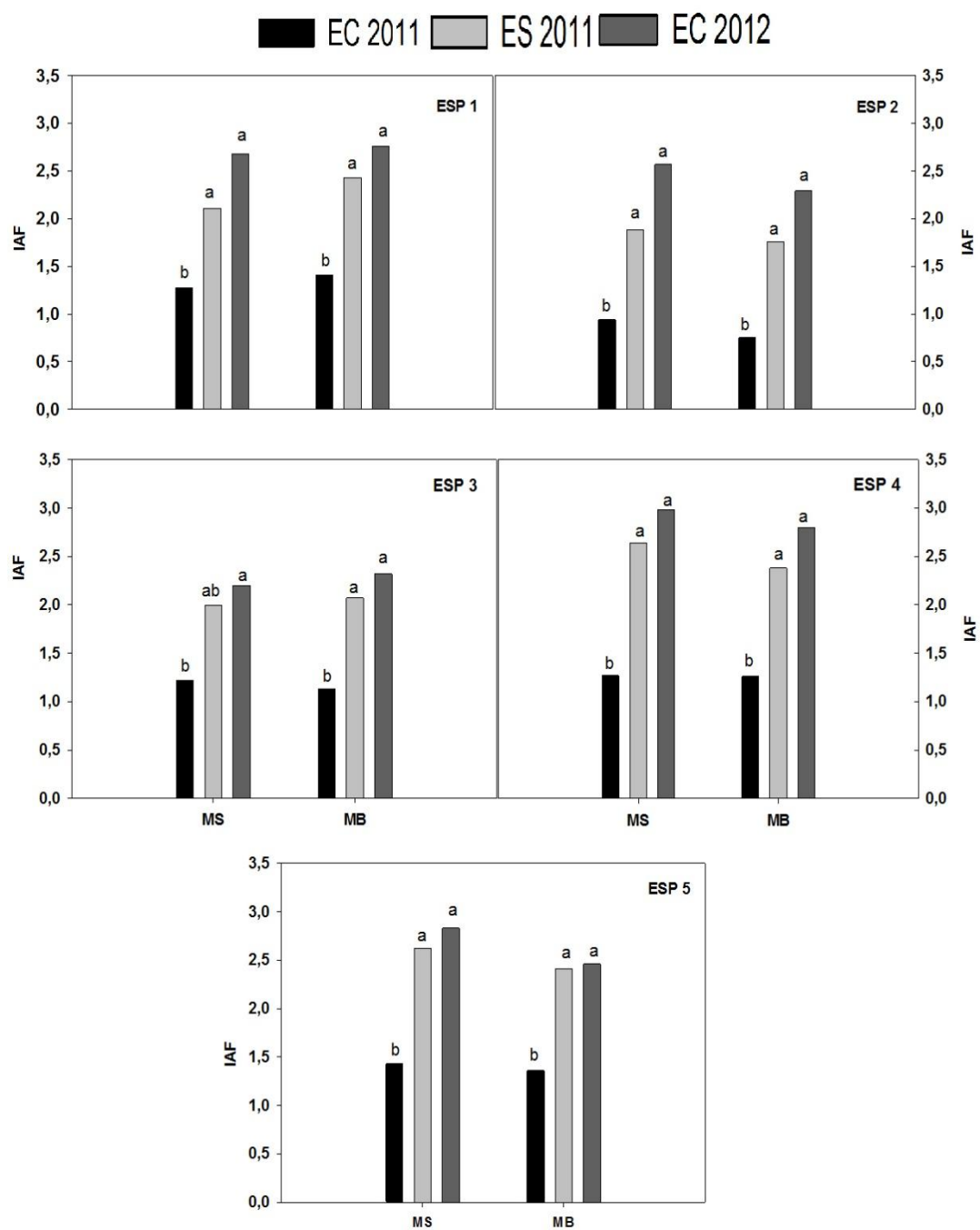


Figura 9. IAF da macaúba verificando estação de disponibilidade hídrica, fixando espaçamentos e sistemas de cultivo. Letras iguais (comparam estação de disponibilidade hídrica) não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Legenda: ESP 1 (4,5m x4,5m); ESP 2 (5m x4m); ESP 3 (6m x 4m); ESP 4 (7m x 4m); ESP 5 (8m x 4m). MS – macaúba sem braquiária; MB – macaúba consorciada com braquiária. EC 2011 – estação chuvosa 2011; ES – estação seca 2011; EC 2012 – estação chuvosa 2012.

Os valores médios de IAF plantas juvenis de macaúba variaram de 0,75 na EC 2011 a 2,98 na EC 2012. Não houve diferença entre os espaçamentos e sistemas de cultivo. Estes valores foram similares aos obtidos por Henson (1992) em dendê verificando o IAF de 1,58 a 1,98, aos três anos de idade. Segundo Lang e Mcmurtrie (1992), o IAF é uma variável biofísica que expressa a taxa de crescimento de uma determinada comunidade ou indivíduo vegetal, apresentando estreita relação com sua produtividade. O IAF representa a capacidade que a planta tem para explorar o espaço disponível até o seu limite máximo (GERRITSMA e SOEBAGYO, 1999). Sua magnitude depende de fatores intrínsecos como genótipo e idade da planta (NOOR, 2002) e extrínsecos como a disponibilidade de recursos (água, nutrientes e etc.), além de práticas de manejo e sistema de cultivo (NOOR, 2002). Como as plantas de macaúba tinham a sua disposição recurso hídrico demonstrado anteriormente pela umidade do solo e suplementação nutricional, na forma de aplicações periódicas de fertilizantes, o desenvolvimento do dossel ocorreu sem efeitos dos tratamentos.

O desenvolvimento do dossel afeta diretamente a produtividade primária, pois a magnitude da área superficial potencializa a interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (VARGAS *et al.*, 2002). Uma das consequências da maior interceptação de RFA pela folhagem de um componente arbóreo é a diminuição da radiação que chega ao estrato inferior de um plantio em consórcio (BERGEZ *et al.*, 1997).

A intensidade de RFA abaixo do dossel e na entre linha, não foi afetada de forma significativa pelos espaçamentos e sistemas de cultivo, contudo, verificou-se a existência de diferenças significativas entre as estações (Figuras 10 e 11).

Abaixo do dossel ocorreu uma queda gradativa de RFA ao longo das estações, observando-se uma redução média de 44 % entre a EC 2011 e EC 2012. Esses resultados são uma resposta ao aumento do IAF encontrados neste trabalho, visto que, a medida que este aumenta, menos luz chega ao estrato inferior do dossel. Estudos sobre o padrão de utilização de energia solar em plantações de coco indicam que há uma variação considerável na interceptação da luz solar pela copa de diferentes faixas

etárias e que o grau de sombreamento varia com a altura, espaçamento, fertilidade do solo e as características do dossel da variedade (NELLIAT et al., 1974; PAYNE, 1985; CHEN, 1989).

As estações de avaliação (EC 2011, ES 2011 e EC 2012) representam a progressão da idade das plantas e conseqüentemente seu desenvolvimento, o qual promove maior interceptação da radiação incidente. Stefania *et al.* (1982) sugerem que, do ponto de vista do cultivo intensivo e de interceptação de energia solar pelo dossel do coqueiro, existem três fases distintas vinculadas a idade da planta: a fase I (0-8 anos), fase II (8-25 anos) e, fase III (> 25 anos); sendo a segunda fase a de maior interceptação. Considerando-se que a morfologia geral do dossel das palmeiras arbóreas é muito similar, pode-se inferir que as plantas de macaúba, por ainda estarem em estágio juvenil, encontram-se na primeira fase de interceptação de energia solar.

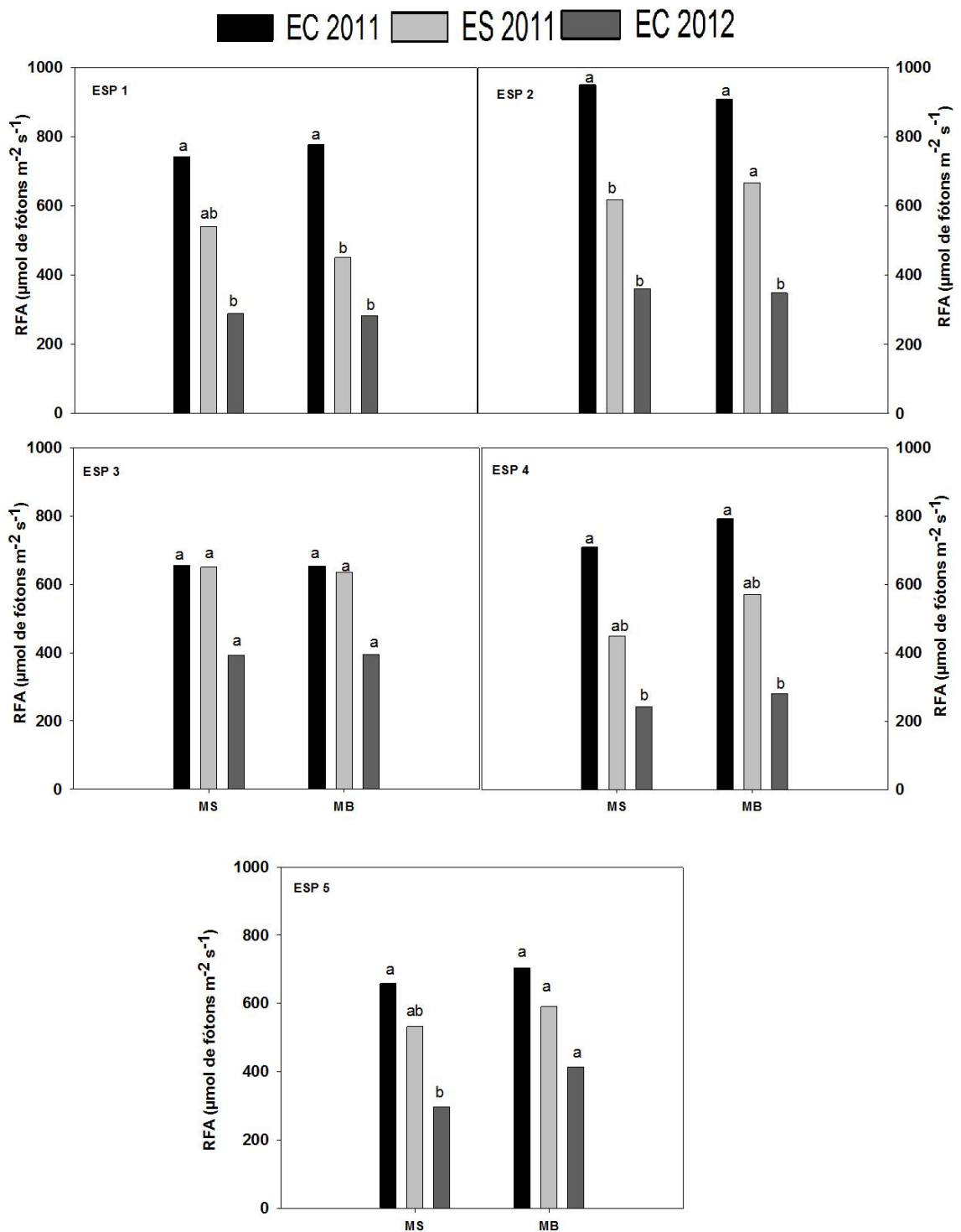


Figura 10. RFA abaixo do dossel da macaúba verificando estação e fixando espaçamentos e sistemas. Letras iguais (comparam estação de disponibilidade hídrica) não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Legenda: ESP 1 (4,5m x4,5m); ESP 2 (5m x4m); ESP 3 (6m x 4m); ESP 4 (7m x 4m); ESP 5 (8m x 4m). MS – macaúba sem braquiária; MB – macaúba consorciada com braquiária. EC 2011 – estação chuvosa 2011; ES – estação seca 2011; EC 2012 – estação chuvosa 2012.

A intensidade de RFA nas entrelinhas foi, de forma geral, maior na ES 2011 ($1925 \mu\text{mol de f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). (Figura 11). Esses maiores valores podem ter ocorrido em decorr\u00eancia desse per\u00edodo apresentar maior incid\u00eancia de radia\u00e7\u00e3o solar (brilho solar = 10h dia^{-1}) pela redu\u00e7\u00e3o da nebulosidade. Al\u00e9m disso, a intensidade m\u00e9dia m\u00ednima de RFA nas entrelinhas foi de $1300 \mu\text{mol de f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em contrapartida a m\u00e9dia m\u00ednima de $330 \mu\text{mol de f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ abaixo do dossel da maca\u00fabo. Isso possivelmente decorre do fato das plantas estarem em est\u00e1dio juvenil de seu desenvolvimento, cujo dossel ainda n\u00e3o est\u00e1 completamente formado, havendo assim pouca intercepta\u00e7\u00e3o de radia\u00e7\u00e3o nas entre linhas.

Portanto, em cultivos de maca\u00fabo at\u00e9 os quatro anos de idade, a transmiss\u00e3o de luz para o sub-bosque das entrelinhas n\u00e3o foi afetada pelos espa\u00e7amentos no quais as plantas de maca\u00fabo se encontravam. A disponibilidade de radia\u00e7\u00e3o RFA em quantidades acima de $1000 \mu\text{mol de f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ \u00e9 suficiente para garantir energia de ativa\u00e7\u00e3o nos fotossistemas de plantas C_4 , as quais s\u00e3o altamente requerentes de energia para manter seu aparato fotossint\u00e9tico ativo (PORTES *et al.*, 2000).

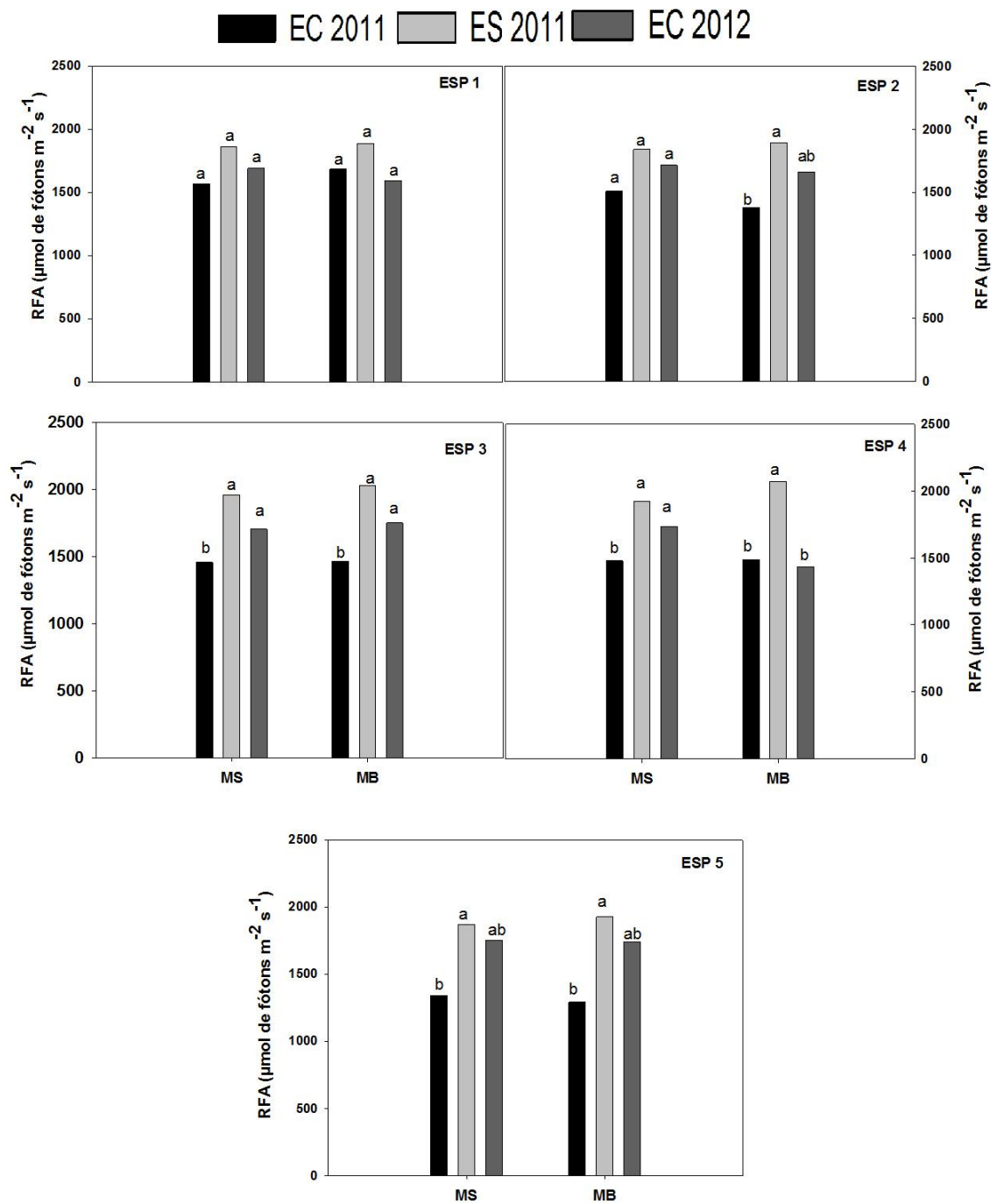


Figura 11. RFA na entre linhas da macaúba verificando estação e fixando espaçamentos e sistemas. Letras iguais (comparam estação de disponibilidade hídrica) não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Legenda: ESP 1 (4,5m x4,5m); ESP 2 (5m x4m); ESP 3 (6m x 4m); ESP 4 (7m x 4m); ESP 5 (8m x 4m). MS – macaúba sem braquiária; MB – macaúba consorciada com braquiária. EC 2011 – estação chuvosa 2011; ES – estação seca 2011; EC 2012 – estação chuvosa 2012.

A disponibilidade de recursos no sub-bosque permitiu o crescimento da braquiária

A disponibilidade de matéria seca (MS) da braquiária abaixo do dossel e na entre linha das plantas de macaúba diferiu significativamente entre as estações avaliadas. Os maiores valores abaixo do dossel foram obtidos na ES 2011 (6 t ha⁻¹) e EC 2012 (6 t ha⁻¹) (Figura 12). Para a disponibilidade de MS da braquiária na entre linha da macaúba, os maiores valores foram observados na ES 2012 (5 t ha⁻¹) (Figura 12).

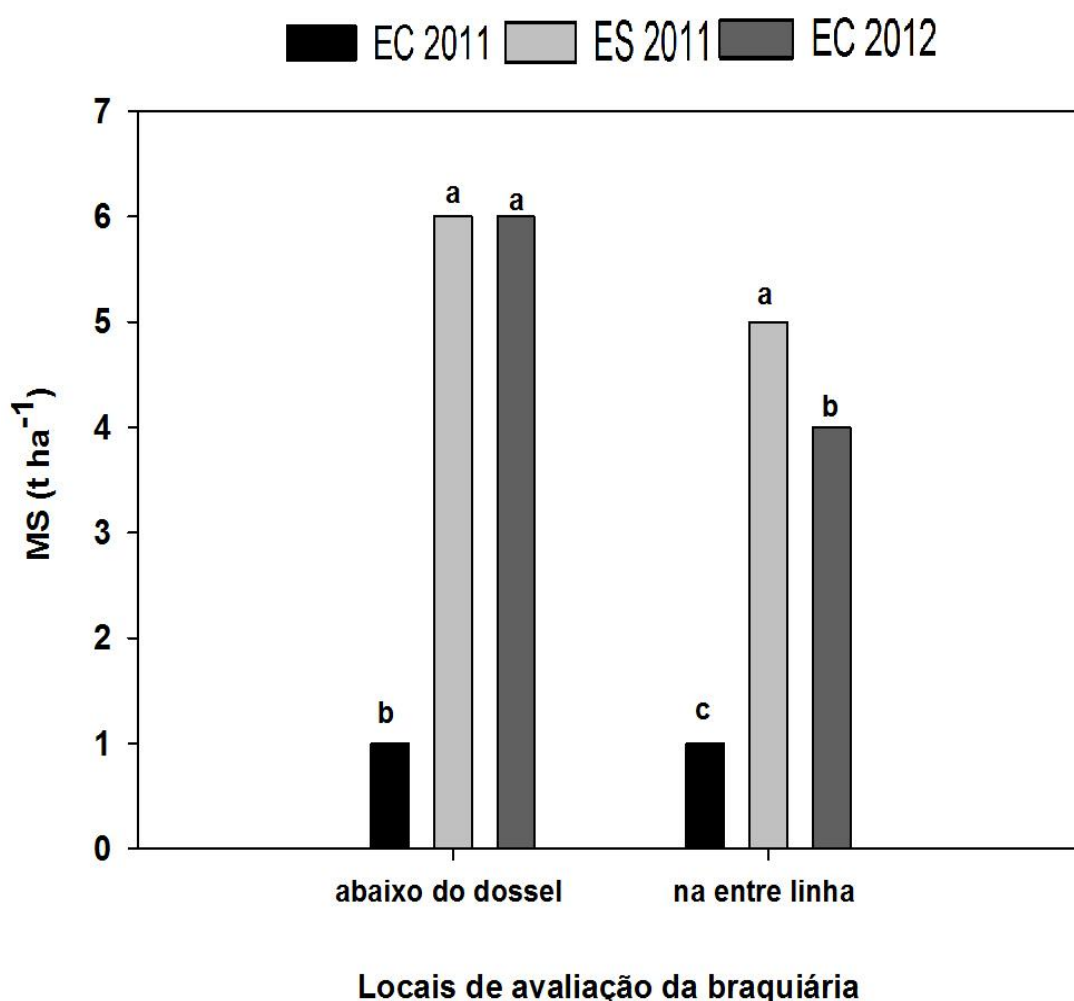


Figura 12. Disponibilidade de matéria seca (MS) (t ha⁻¹) de braquiária. Verificando estações. Letras iguais (comparam estação de disponibilidade hídrica em cada local de avaliação) não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Legenda: EC 2011 – estação chuvosa 2011; ES – estação seca 2011; EC 2012 – estação chuvosa 2012.

Na EC 2011 houve menor disponibilidade de MS. Na referida época não houve limitação hídrica ou luminosa (Figura 10 e 11), portanto o baixo rendimento pode ser atribuído a fase de implantação da braquiária uma vez que a mesma encontrava-se apenas com três meses após a semeadura, assim como a baixa produção de perfilhos. Em *Brachiaria brizantha* observou-se que plantas novas apresentavam variação na produção de MS em função da idade de corte, atribuindo-se a menor produção ao estágio de desenvolvimento, sendo que em plantas novas há um elevado conteúdo de água em detrimento ao acúmulo de matéria seca (COSTA *et al.*, 2007). Os maiores valores de MS de braquiária, obtidos na ES 2011 e EC 2012, possivelmente estão relacionados com a idade de plantio, visto que similarmente a EC 2011 não foi detectada limitação de recursos hídrico ou luminoso.

Para a disponibilidade de MS da braquiária na entre linha da macaúba, os maiores valores foram observados na ES 2011. Nesta mesma estação os valores de RFA no sub-bosque ficaram em média acima de 1000 μmol de fótons $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 11), garantido energia luminosa suficiente para a produção e acúmulo de carboidratos. Para *B. humidicola* e *B. brizantha* a curva de eficiência do uso da luz mostra que estas duas espécies apresentam grande eficiência fotossintética especialmente sob alta disponibilidade de luz (DIAS-FILHO, 2002). Segundo Sivakumar e Virmani (1980), a produção de matéria seca depende da eficiência da conversão da RFA interceptada, a qual varia de acordo com o ambiente. Nos resultados encontrados em nosso trabalho, a produção de matéria seca da forrageira foi alta nos dois locais, podendo desta forma, indicar que a braquiária foi eficiente na conversão da RFA interceptada. Outro fator que pode ter contribuído foi o avanço da idade da forrageira, a qual possivelmente encontrava-se eficientemente estabelecida no local.

Ao analisar os valores MS da braquiária no dossel e na entre linha das plantas de macaúba, observou-se diferença significativa com maiores valores no dossel para ES 2011 e EC 2012 nos espaçamentos ESP 1, ESP 4 e ESP 5 (Figura 13). Para ES 2011 e EC 2012 a disponibilidade de MS no dossel foi maior 57% e 59%, respectivamente, quando compara com a disponibilidade de MS na entre linha das plantas de macaúba.

Apesar da quantidade de RAF na ES 2011 e EC 2012, ter sido 29 e 23 % respectivamente, menor abaixo do dossel do que na entre linha, a disponibilidade média de MS da braquiária foi maior no dossel conforme descrito anteriormente. Dias-Filho (2002) verificou que, apesar das forrageiras *B. humidicola* e *B. brizantha* apresentarem eficiência fotossintética sob alta disponibilidade de luz, estas apresentavam uma forte atividade fotossintética quando submetidas a valores de RFA abaixo de 500 μmol de fótons m^{-2} , mostrando que essas espécies, possuem capacidade de ajustar sua atividade fotossintética a sombra, principalmente, diminuindo o ponto de compensação luminoso. O maior incremento de MS da braquiária abaixo dossel da macaúba possivelmente está relacionado com a maior oferta de nutrientes devido a adubação de manutenção na macaúba, a qual era realizada na projeção da copa, assim como condições favoráveis de umidade do solo.

De maneira geral a produtividade das forrageiras depende da altura, arquitetura da copa, densidade e fenologia da espécie arbórea presente no consórcio, uma vez que estes influenciam a transmissão da luz (GIRALDO *et al.*, 1995; KABAKOFF e CHAZDON, 1996; COSTA *et al.*, 2005). Portanto pode-se inferir que, no presente estudo, independente dos espaçamentos, a produção de braquiária não foi afetada, uma vez que o dossel das plantas juvenis de macaúba pouco interferiu na passagem de radiação para o sub-bosque.

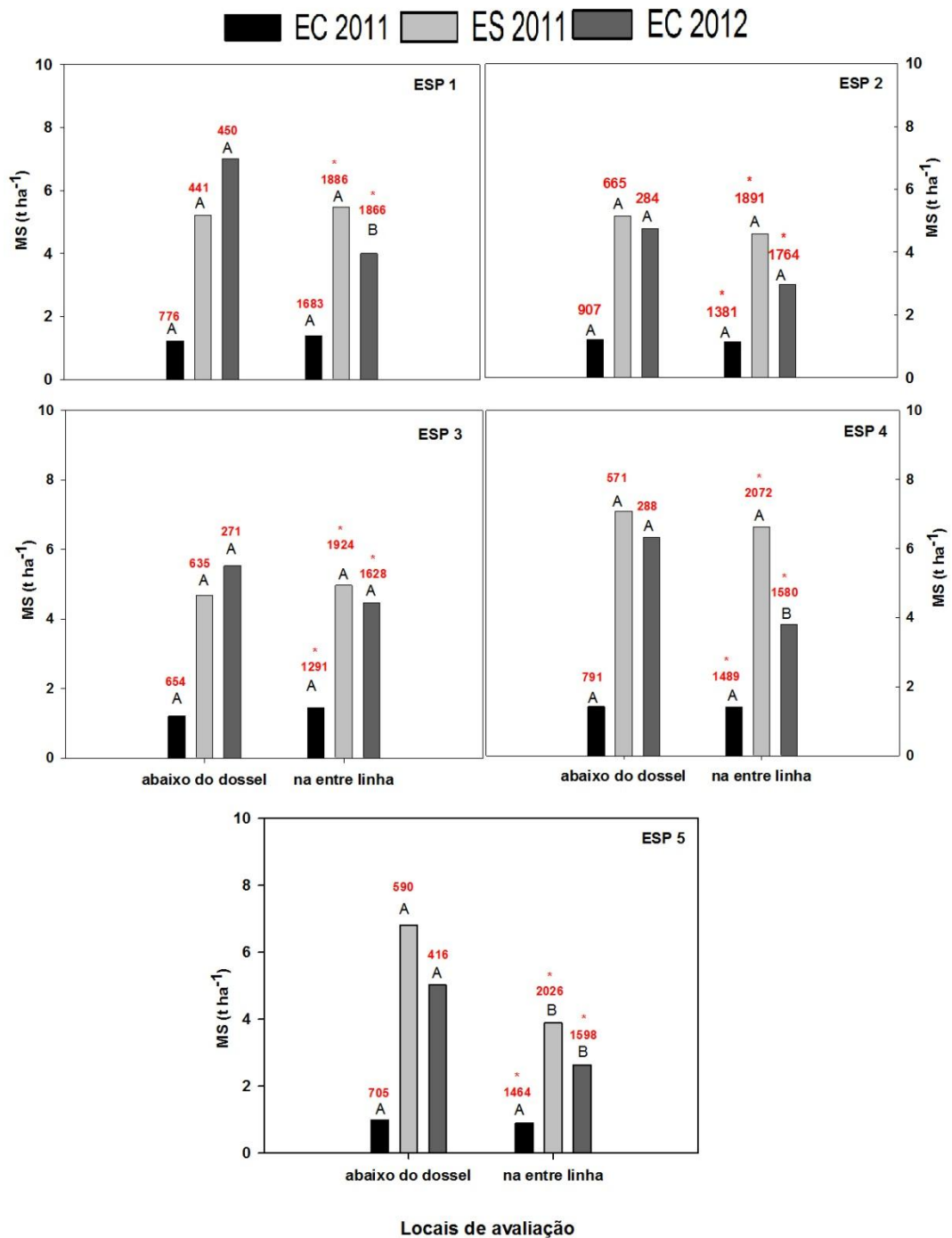


Figura 13. Disponibilidade de matéria seca (MS) de braquiária (t ha⁻¹). Verificando locais de avaliação, fixando estações e espaçamentos. Letras maiúsculas e asterisco (*) (comparam locais de avaliação para disponibilidade de MS em braquiária e RFA respectivamente) não diferem entre si, pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade. Legenda: valores em vermelho representam RFA (μmol de fótons m⁻² s⁻¹) nos locais de avaliação. ESP 1 (4,5m x 4,5m); ESP 2 (5m x 4m); ESP 3 (6m x 4m); ESP 4 (7m x 4m); ESP 5 (8m x 4m). EC 2011 – estação chuvosa 2011; ES – estação seca 2011; EC 2012 – estação chuvosa 2012.

1.4 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a umidade do solo e radiação fotossinteticamente ativa não foram influenciadas pelos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciadas ou não com braquiária. Mesmo ocorrendo variação da radiação fotossinteticamente ativa na projeção da copa e na entre linha das plantas de macaúba, a produção de matéria seca da braquiária não foi afetada. O índice de área foliar das plantas juvenis de macaúba, não foi afetado pelos espaçamentos com ou sem braquiária.

Recomenda-se realizar o consórcio de plantas juvenis de macaúba com braquiária, uma vez que não foram observados efeitos negativos que possam restringir o crescimento e desenvolvimento dos dois componentes vegetais.

1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C. M. S.; GARCIA, R.; COUTO, L.; PEREIRA, O. G. Factors limiting the growth of *Panicum maximum* cv. tanzânia in an agrosilvopastoral system with eucalypt, in the cerrados of Minas Gerais, Brazil. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 30, n. 4, p.1178-1185. 2001.

ANDRADE, H. J.; BROOK, R.; IBRAHIM, M. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry land of Costa Rica. **Plant Soil**. v. 30, n. 8, p.11-22. 2008.

ARKCOLL, D. **New crops from Brazil**. In: Janick, J.; Simon, E.J. Advances in new crops. Timber press, Portland. p.367-371. 1990.

BARLETO, E. A. **Respostas Ecofisiológicas de *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Martius ao déficit hídrico sazonal e à disponibilidade de nutrientes**. 2011. 135f. Dissertação (Mestrado/Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília. 2011.

BERGEZ, J. E.; DALZIEL, A. J. I.; DULLER, C.; EASON, W. R.; HOPPE, G.; LAVENDER, R. H. Light modification in a developing silvopastoral system in the UK: a quantitative analysis. **Agroforestry Systems**. v. 37. p. 227–240. 1997.

BEZUIDENHOUT, C. N. A. model review and proposed mechanistic tiller model for the CANEGRO sugarcane crop model. **M.Tech. thesis** - Technikon Natal, Durban. 78 p. 2000.

CARVALHO, M. M. Contribuição dos sistemas silvipastoris para a sustentabilidade da atividade leiteira. In: Simpósio sobre Sustentabilidade de Sistemas de Produção de Leite a Pasto e em Confinamento, 2001, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: EMBRAPA – CNPGL, 2001. p. 85-108.

CHEN, C. P. **Problem and prospects of integration of forage into permanent crops**. In: Grasslands and Forage Production in South-East Asia. Proc. First Meeting of Regional Working Group on Grazing and Feed Resources of South-East Asia. Serdang, Malaysia. p. 128–139. 1989.

CINTRA, F. L. D.; RESENDE, R. S.; LEAL, M. L. S. Distribuição de raízes de coqueiro anão sob volumes de água em solo coeso dos tabuleiros. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 12, n. 6, p. 614–619, 2008.

CORLEY, R. H. V.; GRAY, B. S. **Growth and morphology**. In: Oil palm research. Elsevier, Amsterdam. p. 55-76. 1976.

COSTA, N. L. *et al.* Produção de forragem e composição química de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril. In: REUNIÃO

ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, Goiânia, 2005. **Anais...** Goiânia, 2005.

COSTA, K. A. P.; OLIVEIRA, I. P.; FAQUIN, V.; NEVES, B. P.; RODRIGUES, C.; SAMPAIO, F. M. T. Intervalo de corte da produção de massa seca e composição químico-bromatológica da *Brachiaria brizantha* cv. MG-5. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 31, n. 4, p. 1197-1202. 2007.

DANIEL, O.; COUTO, L.; VITORINO, A. C. T. Sistemas agroflorestais como alternativas sustentáveis à recuperação de pastagens degradadas. In: SIMPÓSIO – SUSTENTABILIDADE DA PECUARIA DE LEITE NO BRASIL, 1, Goiânia, 1999. **Anais...** Juiz de Fora: EMBRAPA – CNPGL, 1999. p. 151-170.

DIAS-FILHO, M. B. Growth and biomass allocation of tree grasses *Brachiaria brizantha* and *B. humidicola* under shade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 12, p. 2335-2341. 2000.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de Métodos de Análise de solos**. Rio de Janeiro. (Embrapa- CNPS. Documento,1), 212 p. 1997.

FERREIRA, T. N.; SCHWARZ, R. A.; STRECK, E. V. **Solos: manejo integrado e ecológico - elementos básicos**. Porto Alegre: EMATER/RS, 95 p. 2000.

FOALE, M. A. **Physiological basis for yield in coconut**. In: Advances in Coconut Research and Development Proc. of Intern. Sympos., Kasaragod., p.26–29. 1993.

FRANKE, I. L.; FURTADO, S. C. **Sistemas silvipastoris: fundamentos e aplicabilidade**. (Embrapa Acre. Documentos, 74). Rio Branco: Embrapa Acre, 2001.

FULCO, L. et al. Effects of nutrients and shade on tree-grass interactions in a East African savanna. **Journal of Vegetation Science**. v. 12, n. 1, p. 579-588. 2001.

GARRETT, H. E.; JONES, J. E.; KURTZ, W. B.; SLUSHER, J. P. Black walnut (*Juglans nigra* L.) its design and potential as a land-use alternative. **Forestry Chronicle**. v. 67, n. 3, p. 213-218. 1991.

GERRITSMA, W.; SOEBAGYO, F. X. An analysis of the growth of leaf area of oil palms in indonesia. **Experimental Agriculture**. v. 35, p. 293-308. 1999.

GIRALDO V. L. A. *et al.* Efecto de três densidades de árvores em el potencial forrajero de um sistema silvipastoril natural, em la Región Atlântica de Colômbia. **Agroforestería em Iãs Américas**. v. 8. 1995.

KABAKOFF, R. P.; CHAZDON, R. L. Effects of canopy species dominance on understory light availability in low, elevation secondary forest stands in Costa Rica. **Tropical Ecology**. v.12, p. 779-788. 1996.

KASTURIBAI, K. V.; VOLETI, S. R.; RAJAGOPAL, V. Water relations of coconut palms as influenced by environmental variables. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 43, p. 193–199. 1988.

LANG, A. R. G; MCMURTRIE, R. E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 58, p. 79-92. 1992.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima. 531 p. 2004.

LEAKEY, R. R. B. Definition of agroforestry revisited. **Agroforestry Today**. v. 8, n. 1, p. 5-7. 1996.

LEFROY, E. C.; STIRZAKER, R. J.; Agroforestry for water management in the cropping zone of southern Australia. *Agroforestry Systems*. v. 45 n. 1-3, p. 277-302. 1999.

LEME, T. M. S. P.; PIRES, M. F. Á.; VERNEQUE, R. S.; ALVIM, M. J.; AROEIRA, L. J. M. Behavior of holstein x zebu crossbreed cows grazing *Brachiaria decumbens* in a silvipastoral system. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 29, n. 3, p. 668-675. 2005.

LORENZI, G. M. A. C. ***Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart. - Areaceae: bases para o extrativismo sustentável**. 2006. 166f. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção Vegetal). Universidade Federal do Paraná, Paraná. 2006.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; DE MEDEIROS COSTA, J. T.; DE CERQUEIRA L. S. C.; FERREIRA E. **Palmeiras Brasileiras e Exóticas Cultivadas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 416 p. 2004.

LIVESLEY, S. J.; GREGORY, P. J.; BURESH, R. J. Competition in tree row agroforestry systems. 2. Distribution, dynamics and uptake of soil inorganic N. **Plant and Soil**. v. 247, p.177-187, 2002.

LLERAS, E.; CORADIN, L. 1985. Palmeras nativas como oleaginosas: situación actual y perspectivas para América Latina. In: CLEMENT, C. R.; LLERAS, PÉREZ, E. VAN LEEUWEN, J. O Potencial das palmeiras tropicais no Brasil: acertos e fracassos das últimas décadas. **Agrociências**, v.9, n.1-2, p. 67-71. 2005.

NAVARINI, F. C.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. A.; ALMEIDA, C. P. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**. v. 29, n. 4, p. 508-517. 2009.

NELLIAT, E. V., BAVAPPA, K. V., NAIR, P. V. R. Multi-storied cropping, a new dimension in multiple cropping for coconut plantations. **World Crops**. v. 26, n. 6, p. 262–266. 1974.

NELSON, P. N.; BANABAS, M.; SCOTTER, D. R.; WEBB, M. J. Using soil water depletion to measure spatial distribution of root activity in oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) plantations. **Plant Soil**. v. 286, p.109–121. 2006.

NOOR, M. R. MD; HARUN, M. H.; MUSTAKIN, S. N. A.; BADRISHAH, A.; AHMAD, M. Indirect methods for measuring oil palm leaf area index (LAI). **MPOB INFORMATION SERIES**, n. 130, MPOB TT. Malaysian Palm Oil Board, Malaysia. 2002.

MACDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. **Introduction of agroforestry**. In: MACDICKEN, K. G.; VERGARA, N. T. *Agroforestry: classification and management*, New York: Wiley Interscience Publication. 382 p. 1990.

MIRANDA, C. H. B. Ciclagem de nutrientes com vistas a sustentabilidade do sistema. **Pasturas Tropicais**. v. 64, 2003.

PAYNE, W.J.A. A review of the possibilities for integrating cattle and tree crop production systems in the tropics. **Forest Ecology and Management**. v. 12, p.1–36. 1985.

PEIRIS, T. S. G. **The degree of influence of rainfall on coconut**. In: **Advances in Coconut Research and Development**. Indian Soc. for Plantation Crops Proc. of Intern. Sympos., Kasaragod. p. 413–420. 1993.

PORTES, T. A.; CARVALHO, S. I. C.; OLIVEIRA, I. P.; KLUTHCOUSKI, J. Análise do crescimento de uma cultura de braquiária em cultivo solteiro e consorciado com cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 7, p. 1349-1328. 2000.

SAEG, **Sistema para análises estatísticas**, versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.

SARMENTO, P.; RODRIGUES, L. R. A.; LUGÃO, S. M. B.; CRUZ, M. C. P.; CAMPOS, F. P.; FERREIRA, M. E.; OLIVEIRA, R. F. Sistema radicular do *Panicum maximum* Jacq. cv. IPR-86 Milênio adubado com nitrogênio e submetido à lotação rotacionada. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 37, n.1, p.27-34, 2008.

SAMPSON, D. A.; SMITH, F. W. Influence of canopy architecture on light penetration in lodgepole pine (*Pinus contorta* var. *latifolia*) forests. *Agricultural and Forest Meteorology*. v. 1-2, n. 64, p. 63-79. 1993.

SCARIOT, A. O.; LLERAS, E.; HAY, J. D., Flowering and fruiting phenologies of the palm *Acrocomia aculeata*: patterns and consequences. **Biotropica**. v. 27, p. 168-173. 1995.

SILVA NETO, J. L. **Balço de radiação como subsídío ao cultivo do milho nos tabuleiros costeiros de Alagoas**. 2006. 53f. Dissertação (Mestrado/Meteorologia Processos de Superfície Terrestre). Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió. 2006.

SILVA, L. L. G. G.; RESENDE, A. S.; DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; AZEVEDO, B. C.; VIEIRA, M. S.; COLOMBARI, A. A.; TORRES, A. Q. A.; MATTA, P. M.; PERIN, T. B.; FRANCO, A. Evaluation of thermal comfort in a silvipastoral system in a tropical environment. Asociación Latinoamericana de Producción Animal. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**. v.18, n. 3-4, p. 87-95. 2010.

SCARIOT, A. **Consequences of forest fragmentation on palm communities in Central Amazonia**. SérieTécnica IPEF. v. 12, p. 71-86. 1998.

STEFANIA, S., CHANDRA, S.; ETHERINGTON, D. M. A review of recent research on intercropping under coconuts. **Fiji Agricultural Journal**. v. 44, n. 1, p. 31–36. 1982.

SIVAKUMAR, M. V. K .; VIRMANI, S. M. Growth and resource use of maize, pigeonpea and maize/pigeonpea intercrop in an operational research watershed. **Experimental Agriculture**. v. 16, p. 377-386. 1980.

TAYLOR, M.; CHINCHILLA, C.; RODRÍGUEZ, W. Leaf architecture and estimates of leaf area and leaf dry weight in young compact oil palm clones (*Elaeis guineensis* Jacq.). **ASD Oil Palm Papers**. v. 32, p. 27-47. 2008.

TOMLINSON, P. B. **The structural biology of palms**. Clarendon Press, Oxford. 1990.

VARGAS, L. A.; ANDERSEN, M. N.; JENSEN, C. R.; JORGENSEN, U. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* 'goliath' from radiation measurements. **Biomass and Bioenergy**. n. 22, p.1–14. 2002.

VEIGA, J. B; SERRÃO, E. A. S. Sistemas silvipastoris e produção animal nos trópicos úmidos: a experiência da Amazônia Brasileira. In: PEIXOTO, A. M. **Pastagens: Fundamentos da Exploração Racional**. p. 408-450. 1994.

WADT, P. G. S.; PEREIRA, J. E. S.; GONÇALVES, R. C.; SOUZA, C. B. da C.; ALVES, L. da S. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. Embrapa Acre. Documentos 90. 29 p. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003.

WANDECK, F. A.; JUSTO, P. G. A macaúba, fonte energética e insumo industrial: sua significação econômica no Brasil. In: Simpósio Sobre o Cerrado, Savanas, 6. 1988, Brasília. **Anais ... Planaltina: EMBRAPA, CPAC**, 1988. p. 541-577.

YUNUSA, I. A. M.; MEAD, D. J.; LUCAS, R. J.; POLLOCK, K. M. **Process studies in a *Pinus radiata*-pasture agroforestry system in a subhumid temperature environment. II. Analysis of dry matter yields in the third year. *Agroforestry Systems*. v. 32, n. 2, p. 185-204. 1995.**

CAPÍTULO 2

INFLUÊNCIA DOS ESPAÇAMENTOS DE PLANTAS JUVENIS DE MACAÚBA CONSORCIADAS COM BRAQUIÁRIA NAS RESPOSTAS DE ASSIMILAÇÃO DE CO₂, CRESCIMENTO, PRODUÇÃO DE BIOMASSA E ACÚMULO DE CARBONO

2.1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais para a geração de energia como petróleo, gás, carvão mineral e a madeira foram e são continuamente explorados pelo homem, auxiliando no rápido desenvolvimento e crescimento social e industrial. Contudo, paralelo ao desenvolvimento, esta exploração ocorreu raramente vinculada aos objetivos de preservação, promovendo ao longo dos anos alterações ambientais (SHREVE e BRINK JUNIOR, 1997; RODRIGUES, 2007).

Em meio a este contexto torna-se importante as atividades de pesquisa em busca por novas fontes alternativas de energia, que possam estar interligadas ao contexto sócio-político-econômico e baseadas nos princípios de preservação ambiental (YAMANE e SHIMAMOTO, 2001). Entre as várias espécies de plantas capazes de produzir matéria-prima para a produção de biodiesel, as palmeiras constituem um dos grupos promissores, destacando-se a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Martius) que com sua ampla distribuição geográfica nos trópicos, sendo que no Brasil, pode ser encontrada em diversos ecossistemas (LORENZI *et al.*, 2004).

A macaúba apresenta grande capacidade de produção por área plantada, os frutos podem gerar mais de 5 toneladas de óleo por hectare, (TICKEL, 2000), os subprodutos gerados a partir da extração do óleo, possuem vasta aplicabilidade agregando valor e caracterizando o processo como econômico e sustentável (ANDRADE *et al.*; 2009; CARNEIRO e PEREIRA, 2011).

Outra vantagem desta espécie é que, devido à sua grande rusticidade e plasticidade ecológica é possível cultivá-la em sistemas agroflorestais, como por exemplo, silvipastoris. Os sistemas agroflorestais surgem como alternativa ao sistema de monocultivo, principalmente por promoverem benefícios econômicos e biológicos de sustentabilidade.

Contudo, para que este sistema tenha sucesso é necessário definir adequadamente o espaçamento e arranjo das árvores de forma que possa permitir condições ótimas de luminosidade, melhor utilização da água e dos

nutrientes, contribuindo desta forma na obtenção de resultados satisfatórios na produção vegetal das espécies componentes.

A produtividade das plantas está intimamente vinculada às trocas gasosas, as quais são fortemente influenciadas pelas condições ambientais. Em situações de consórcio, quando as condições ambientais são favoráveis, as chances de ocorrer competição são pequenas. Contudo, quando esse panorama é contrário, a interação pode tornar-se competitiva, promovendo diversos níveis de estresse que em última instância afetam as trocas gasosas, refletindo na redução da assimilação de CO₂ e, por conseguinte na produtividade (SCHULZ *et al.*, 2002).

Competições por luz, água e nutrientes no solo, devem ser evitadas e gerenciadas adequadamente nos sistemas de consórcio (NAIR, 1993; THEVATHASAN *et al.*; 2004). Em situações de déficit hídrico no solo, ocorre indução de algumas respostas fisiológicas e morfológicas das plantas, como por exemplo, fechamento estomático, repressão do crescimento celular, diminuição da taxa fotossintética, redução da área foliar e aumento da densidade e profundidade de raízes. Mesmo sendo respostas necessárias para a aclimatação da planta à escassez de água, o fechamento estomático e a redução de área foliar são mecanismos que podem reduzir o crescimento e, por conseguinte limitar a produtividade (LUDLOW e MUCHOW, 1990; MATTOS *et al.*, 1999; NOGUEIRA *et al.*, 2001; SANTANA, 2012).

Informações acerca das características de trocas gasosas de sistemas agroflorestais são valiosas para compreender a atividade fotossintética das espécies componentes, e como a sazonalidade na disponibilidade de recursos pode afetar a produtividade das espécies envolvidas (SCHULZE *et al.*, 2002). A produção de fotoassimilados é dependente do total de radiação luminosa interceptada pelas plantas. Desta forma a taxa fotossintética, a fenologia foliar a arquitetura da copa, e a densidade de plantio são fortes agentes da produtividade (KABAKOFF e CHAZDON, 1996).

Outro potencial apresentado pelos SAF's refere-se a capacidade de sequestrar carbono, sendo que uma fração significativa do carbono atmosférico pode ser captado e armazenado na biomassa das plantas e no

solo, principalmente quando o manejo das espécies componentes é realizado de forma adequada e as mesmas não apresentam níveis elevados de competição por recursos (CHAUHAN *et al.*, 2009; RIZVI *et al.*, 2011).

O sequestro de carbono envolve a remoção e armazenamento de carbono da atmosfera em sumidouros de carbono (tais como oceanos, vegetação ou solos) através de processos físicos ou biológicos. A incorporação de árvores ou arbustos lenhosos em sistemas agroflorestais pode aumentar a quantidade de carbono sequestrado e armazenado em comparação com um campo de monocultura de plantas cultivadas ou pastagens, uma vez que componentes arbóreo-lenhosos apresentam ciclo de vida mais longo (SHARROW e ISMAIL, 2004; KIRBY e POTVIN, 2007; JANSSON *et al.*, 2010). Nas plantas o armazenamento do carbono, através da assimilação do CO₂, reflete na produtividade das mesmas. Portanto, o conhecimento das respostas do acúmulo de biomassa contribui para o entendimento do funcionamento da biologia do vegetal e seu crescimento, constituindo uma base sólida para a quantificação de respostas das plantas às condições ambientais (NIKLAS e ENQUIST, 2002; POSCHLOD *et al.*, 2000; CORNELISSEN *et al.*, 2003).

Plantações comerciais de macaúba no Brasil ainda estão em sua fase primária (MOTTA *et al.*, 2002), sendo necessário desta forma, buscar informações acerca do comportamento desta espécie em associação com pastagens, e de como esta associação irá influenciar no seu crescimento e acúmulo de carbono.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a interferência dos espaçamentos e o consórcio com braquiária nas variáveis de trocas gasosas, crescimento, produção de biomassa e acúmulo de carbono de plantas juvenis de macaúba.

Para atender estes objetivos, os seguintes pontos foram estudados:

Avaliar a influência dos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciadas ou não com braquiária na eficiência do uso da luz em função da disponibilidade hídrica.

Avaliar a influência dos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciadas ou não com braquiária nas variáveis de trocas gasosas (em

especial a eficiência na assimilação de CO₂) em função da disponibilidade hídrica.

Avaliar a influência dos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciadas ou não com braquiária nas variáveis de crescimento, produção de biomassa e acúmulo de carbono em função da idade de plantio e disponibilidade hídrica.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Local do experimento, material vegetal e condições de cultivo estão descritos na metodologia geral (p. 5).

Período de avaliação

As avaliações de todas as variáveis foram realizadas em duas épocas distintas de disponibilidade hídrica (Figura 14):

- ✓ Estação seca 2011 (ES 2011) - período de estiagem (plantas de macaúba com 42 meses de idades).
- ✓ Estação chuvosa 2012 (EC 2012) - período de chuvas e plantas estabelecidas no campo (plantas de macaúba com 48 meses de idades).

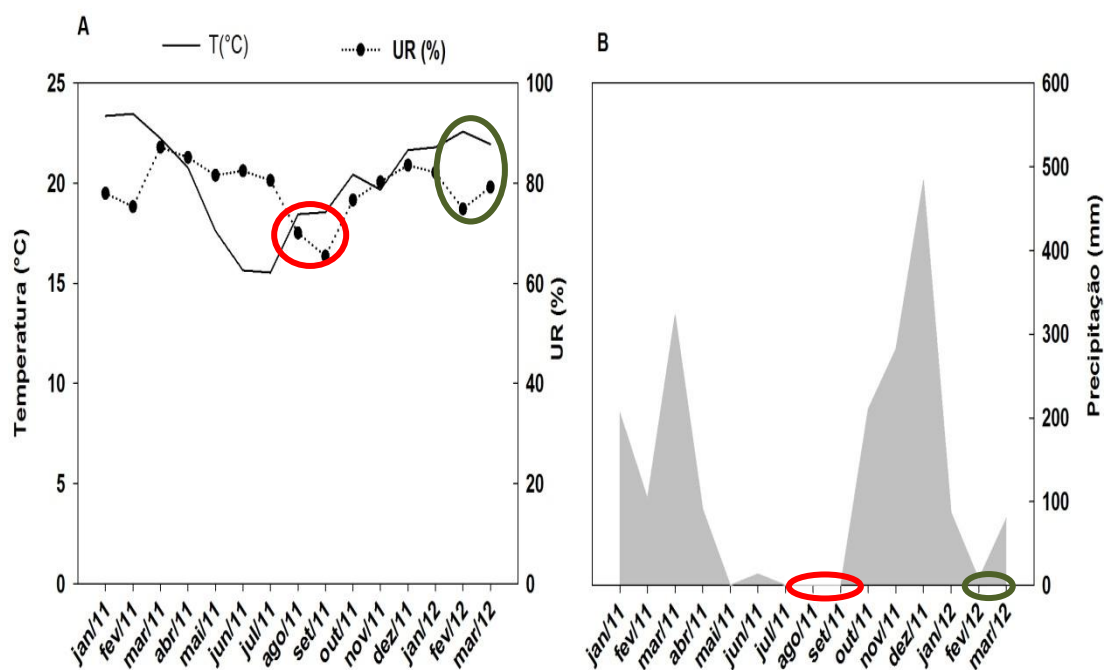


Figura 14. Dados médios mensais de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (A) e precipitação (B) durante o período de 01/2011 a 03/2012. Os dados de T (°C) e UR (%) foram fornecidos pela UFV, Departamento de Engenharia Agrícola, Estação Climatológica Principal de Viçosa. Boletim meteorológico 2011. Viçosa, 2011. E os dados de precipitação (mm) foram fornecidos pelo Laboratório de Hidrologia Florestal/DEF/UFV. Círculos: vermelho e verde = são referentes às avaliações da ES 2011 e EC 2012 respectivamente.

Avaliação ecofisiológica de plantas juvenis de macaúba

As avaliações ecofisiológicas foram compostas de medições da eficiência do uso da luz e trocas gasosas

As medições para obtenção da curva de luz e trocas gasosas foram realizadas em sistema aberto, com um analisador de gases a infravermelho portátil LC-PRO (ADC, BioScientific Ltd. Hoddesdon, UK). As avaliações foram feitas sob concentração de CO₂, temperatura e vapor de água ambiental no momento e local de estudo, sendo o ar de referência coletado a 1,50 m de altura do solo e homogeneizado em um galão de 20 litros antes de alcançar a câmara foliar. As medidas foram realizadas entre às 08h - 11h, em folíolos da porção mediana na segunda folha completamente expandida.

a) Avaliação da eficiência do uso da luz

As leituras de trocas gasosas em resposta a diferentes níveis de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foram realizadas em ordem decrescente de irradiância, utilizando os seguintes valores: 0, 40, 80, 120, 160, 200, 400, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800 e 2000 $\mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, sendo que em cada nível de RFA foram utilizados dois minutos para estabilização das leituras e posteriormente as mesmas foram tomadas.

O dados foram ajustados para um modelo hipérbolico não-retangular usando o programa Photosyn Assistant (Dundee Scientific Co., UK) com base na equação quadrática proposta por Prioul e Chartir (1977) conforme fórmula abaixo:

$$A = \frac{\alpha \cdot Q + A_{max} - \sqrt{(\alpha \cdot Q + A_{max})^2 - 4 \cdot \alpha \cdot Q \cdot k \cdot A_{max}}}{2k} - R_{dia}$$

A - Taxa da fotossíntese líquida;

α - Eficiência quântica aparente da assimilação de CO₂ ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mmol}^{-1} \text{ fótons}$);

Q – Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (PPDF) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

A_{max} - Taxa fotossintética saturada pela irradiância ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

k – convexidade da curva

R_d - Taxa de respiração no escuro ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)

O programa também permitiu estimar o ponto de compensação de luminoso (PCL) e ponto de saturação luminosa (PSL).

b) Avaliação das trocas gasosas pontuais e eficiência do uso da água em plantas juvenis de macaúba

A taxa de assimilação líquida de carbono (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentrações interna e ambiente de CO_2 (C_i/C_a), taxa transpiratória (E - $\mu\text{mol mmol}^{-1}$) foram realizados sob luz saturante artificial de $1200 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ fornecida pelo pr\u00f3prio aparelho.

A efici\u00eancia do uso da \u00e1gua (EUA) foi obtida atrav\u00e9s da raz\u00e3o entre a taxa de fotoss\u00edntese líquida (A) e a taxa transpiratória (E).

$$\text{EUA} = A/E$$

Estimativa da fotoss\u00edntese do dossel das plantas juvenis de macaúba

A partir dos valores de curva de luz e trocas gasosas foi estimada a fotoss\u00edntese do dossel.

O c\u00e1lculo da fotoss\u00edntese do dossel das plantas de macaúba foi baseado na f\u00f3rmula abaixo, desenvolvida por Campbell e Norman (1998).

$$A_D = IAF_{(s)} \times A_F$$

Onde:

A_D = Fotoss\u00edntese do dossel ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ folha s}^{-1}$)

$IAF_{(s)}$ = \u00cdndice de \u00e1rea foliar das folhas ensolaradas

$$IAF_{(s)} = [1 - e^{-K \times IAF}] / K$$

$$K = [-\text{Ln}(RFA_t \div RFA_i) / IAF]$$

A_F = Fotossíntese da folha

$$A_F = (\alpha \times I \times A_{max}) / (\alpha \times I + A_{max})$$

$$I = I_0 \times K$$

Onde:

K= coeficiente de extinção para folhas com ângulo desconhecido (Lunagaria e Shekh, 2006).

*IAF = Índice de área foliar

**RFA t = Radiação fotossinteticamente ativa abaixo do dossel

***RFA i = Radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel

α = eficiência quântica

I= RFA absorvido pela folha

I₀ = RFA acima do dossel

Tabela 3. Valores médios do IAF, RFA t, RFA i, α e A_{max} utilizados para realização dos cálculos da estimativa da fotossíntese do dossel em plantas de macaúba.

ESPAÇAMENTOS (m x m)	ÉPOCA SECA					ÉPOCA CHUVOSA				
	*IAF	**RFA i	***RFA t	α	A _{MAX}	*IAF	**RFA i	***RFA t	α	A _{MAX}
ESP 1 (4,5 x 4,5)	2,27	1871,33	495,02	0,047	16,9	2,72	1640,90	285,30	0,072	19,35
ESP 2 (5 x 4)	1,82	1866,38	641,88	0,047	16,90	2,43	1704,02	353,82	0,072	19,35
ESP 3 (6 x 4)	2,03	1896,25	643,04	0,068	17,95	2,26	1718,00	393,98	0,070	20,00
ESP 4 (7 x 4)	2,51	1998,75	509,60	0,047	14,10	2,56	1585,56	260,77	0,067	19,50
ESP 5 (8 x 4)	2,51	1993,50	561,49	0,059	12,70	2,64	1727,23	355,71	0,074	19,30

*, **, *** Valores obtidos a partir de dados do capítulo 1.

Avaliação dos pigmentos foliares das plantas juvenis de macaúba

Os teores de clorofila *a*, clorofila *b* e de carotenóides foram determinados, utilizando-se dois discos de folíolos retirados da porção mediana da segunda folha completamente expandida de plantas de macaúba. Os discos foliares (60 mm²) foram incubados em 7 mL de dimetilsulfóxido (DMSO) saturado com carbonato de cálcio (CaCO₃), à

temperatura de 65 °C por 24 horas no escuro. Após esse período, uma alíquota de 1 ml do extrato foi colocado em uma cubeta de quartzo para leitura da absorbância (clorofila *a*: 665,1 nm, clorofila *b*: 649,1 nm e carotenóides: 480 nm) usando o espectrofotômetro UV-vis (Shimadzu Co., Japão).

O conteúdo de cada pigmento foi calculado como descrito por Wellburn (1994) e expressado em $\mu\text{g mm}^{-2}$.

Avaliação da altura e número de folhas de plantas juvenis de macaúba

Foram avaliadas as seguintes variáveis:

- Altura de planta (cm) – essa medida foi obtida através de medição com uma trena do colo da planta até a altura da primeira folha completamente expandida (Figura 15).
- Contagem do número total de folhas

Essas avaliações foram realizadas desde o estabelecimento das plantas de macaúba no campo, com um ano de idade (2009) até os quatro anos de idade (2012).



Figura 15. Fotografia detalhando a medição da altura nas plantas de macaúba

Estimativa da biomassa da parte aérea

A biomassa da parte aérea ($t\ ha^{-1}$) da macaúba foi estimada através da equação ($r^2=0,96$) proposta por Frangi e Lugo (1985) considerada padrão para análise não destrutiva de palmeiras arbóreas, conforme fórmula abaixo:

$$Y \text{ (biomassa seca, kg)} = 10,0 + 6,4 * \text{altura total de planta (m)}$$

Através desta fórmula foram realizadas estimativas do acúmulo de biomassa desde o estabelecimento das plantas de macaúba no campo, com um ano de idade até os quatro anos. E também em duas épocas distintas de disponibilidade de água (chuvas), sendo a primeira em agosto de 2011 (época seca) e a segunda em fevereiro de 2012 (época chuvosa).

Estimativa do carbono estocado e CO₂ assimilado

A estimativa do carbono estocado foi obtida com base em Chauhan *et al.* (2009) através da fórmula:

$$\mathbf{C = 0,455 \times B}$$

onde:

C = conteúdo de carbono

*B = biomassa seca (t ha⁻¹)

*Os valores de biomassa seca foram obtidos pela equação proposta por Frangi e Lugo (1985), descrita anteriormente.

A partir dos os valores obtidos de carbono estocado foi realizada a estimativa de CO₂ assimilado com base em Rizvi *et al.*, (2011) utilizando a fórmula:

$$\mathbf{CO_2 (t ha^{-1}) = [C] \times 44/12}$$

Onde:

[C] = conteúdo de carbono

Delineamento experimental

a) Para as variáveis de trocas gasosas pontuais, eficiência do uso da água, estimativa da fotossíntese do dossel e pigmentos foliares em plantas juvenis de macaúba.

O experimento foi constituído por vinte tratamentos com arranjo em parcelas sub-subdivididas, sendo as parcelas principais compostas pela macaúba consorciada ou não com braquiária e as sub-parcelas compostas pelos 5 espaçamentos e as sub-sub parcelas compostas por 2 períodos de avaliação.

b) Para as variáveis de crescimento em função da idade de plantas juvenis de macaúba.

O experimento foi constituído por vinte tratamentos com arranjo em parcelas sub-divididas, sendo as parcelas principais compostas pelos 5 espaçamentos e as sub-parcelas compostas por 4 períodos de avaliação (idade das plantas de macaúba).

Para os fatores quantitativos (idade das plantas) foram realizadas análises de regressão.

c) Para as estimativas da biomassa da parte aérea, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado em plantas juvenis de macaúba em função da idade.

O experimento foi constituído por vinte tratamentos com arranjo em parcelas sub-divididas, sendo as parcelas principais compostas pelos 5 espaçamentos e as sub-parcelas compostas por 4 períodos de avaliação (idade das plantas de macaúba).

d) Para as estimativas da biomassa da parte aérea, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado em plantas juvenis de macaúba em função da disponibilidade hídrica.

O experimento foi constituído por dez tratamentos com arranjo em parcelas sub-divididas, sendo as parcelas principais compostas pelos 5 espaçamentos e as sub-parcelas compostas por 2 períodos de avaliação.

Em todas as situações foram utilizados foram utilizados quatro blocos, sendo que cada bloco foi representado pela média de quatro avaliações, no delineamento em blocos casualizados.

Os dados quantitativos foram analisados por meio da análise de variância e as médias comparadas utilizando o teste TUKEY, adotando o nível de 5% de probabilidade.

Independente da interação de maior grau ser ou não significativa optou-se pelo desdobramento da mesma devido ao interesse do estudo.

As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico SAEG, Versão 9.1 (SAEG, 2007).

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Eficiência do uso da luz pelas plantas juvenis de macaúba

Na figura 16 são apresentados os resultados da taxa fotossintética líquida (A) das plantas juvenis de macaúba em função do incremento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) para estação seca (ES 2011) e chuvosa (EC 2012). Nos dois períodos as respostas da taxa de assimilação foram similares, demonstrando um padrão crescente da fotossíntese em função do aumento da RFA até aproximadamente $270 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$, sendo que para valores acima deste, não houve incremento da taxa fotossintética. Entretanto, durante a EC 2012 pode-se observar valores mais elevados de A_{max} ($19,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência quântica (α) (0,071).

Diversos autores relatam redução nas taxas de fotossíntese devido a limitações na difusão de CO_2 nos espaços intercelulares da folha em consequência do fechamento estomático ocasionado pelo déficit de água e/ou pelo impedimento do metabolismo pela inibição do processo bioquímico (COLOM e VAZZANA, 2003; LAMADE e BOUILLET, 2005; GOMES et al., 2008). Apesar da EC 2012 apresentar valores mais altos, a estabilização na fotossíntese das plantas juvenis de macaúba mesmo com o incremento na RFA poderia representar uma possível incapacidade bioquímica do aparato fotossintético. Contudo, os valores elevados observados nos parâmetros obtidos a partir curva de luz refletem eficiência na utilização de luz por manter taxas fotossintéticas elevadas nos dois períodos estudados (Tabela 4).

Os valores da taxa de respiração no escuro (R_d), ponto de compensação (PCL) e saturação luminoso (PSL) (Tabela 4) obtidos neste trabalho foram similares aos de Pires et al, (2013) estudando plantas de macaúba em coleção ex-situ. Segundo estes autores, o baixo PCL indica que a planta de macaúba é capaz de iniciar o processo de assimilação de CO_2 com pouca luminosidade, além de reduzir os custos respiratórios por meio de baixas taxas respiratórias (-0,157 e -0,214) (Tabela 4).

Os valores obtidos no PCL (2,4 e 2,92 para ES 2011 e EC 2012 respectivamente), juntamente com o rápido aumento nas taxas de

assimilação de CO₂ indicam que a macaúba é eficiente na captura e uso da luz. Isso é corroborado pelos valores no rendimento quântico (0,058 na ES 2011 e 0,071 EC 2012), o qual reflete a eficiência da planta em utilizar energia luminosa absorvida na produção de fotoassimilados. Esses valores foram semelhantes aos valores encontrados por outros autores em dendê, espécies arbóreas tropicais e árvores pioneiras ou secundárias e tende a apresentar um padrão conservativo sendo pouco influenciado pelas variações ambientais (LAMADE e SETIYO, 2002; MIELKE et al., 2005; SAGE e MCKOWN, 2006; PORTES et al., 2010; DOS ANJOS et al., 2012; PIRES et al., 2013).

Apesar da taxa fotossintética máxima (A_{max}) na ES 2011 ter decrescido 21% em relação a estação chuvosa, os valores médios absolutos em ambas as estações (15,38 e 19,5 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ respectivamente) (Tabela 4) indicam que o processo assimilatório de CO₂ em macaúba é contínuo e suficiente para manter o seu desenvolvimento e crescimento. Este fato pode ser observado pela ininterrupta emissão de folhas ao longo do ano. Para espécies de ciclo supra anual, como esta palmeira, este padrão é vantajoso, uma vez que para sustentar um longo período de desenvolvimento e maturação dos frutos é necessário um aporte prolongado de fotoassimilados (STEPHENSON, 1981; SCARIOT, 1987)

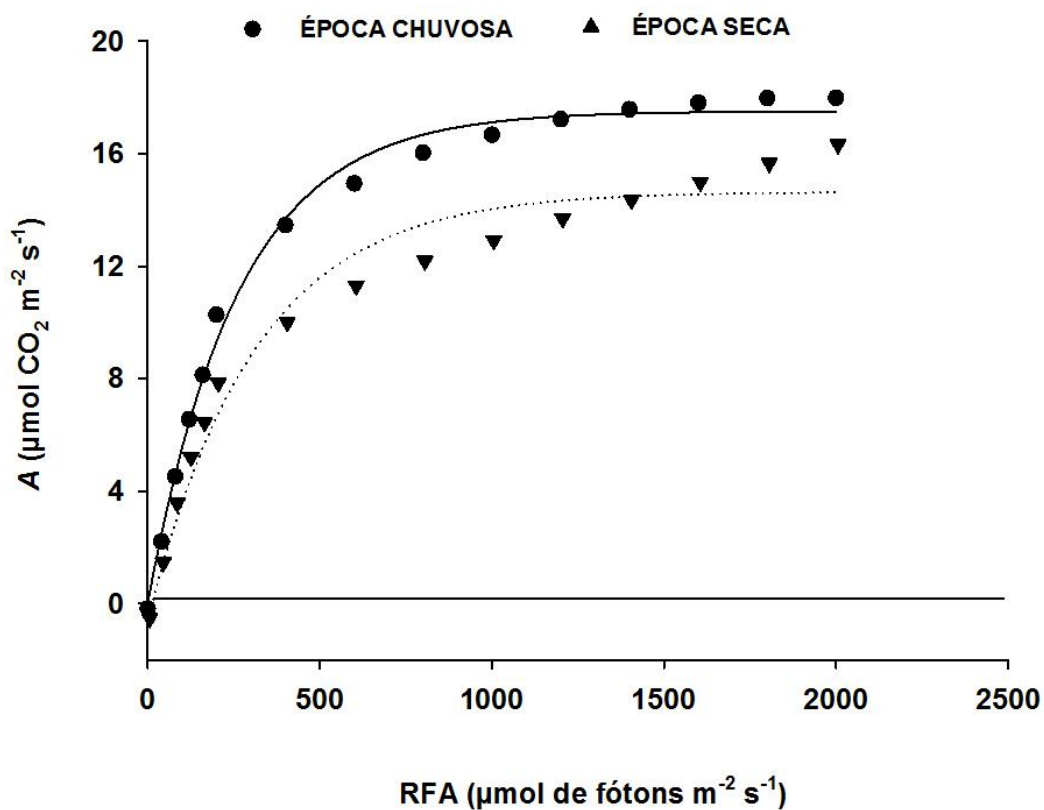


Figura 16. Curva de resposta da fotossíntese líquida (A) de plantas juvenis de macaúba em função do aumento da radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

Tabela 4. Parâmetros obtidos a partir da curva de luz. Os pontos representam a média dos espaçamentos e sistemas de cultivos.

PARÂMETROS	ESTAÇÃO	
	SECA	CHUVOSA
Taxa de respiração no escuro (R_d)	-0,157	- 0,214
Eficiência quântica (α)	0,058	0,071
Fotossíntese máxima (A_{max})	15,38	19,5
Ponto de compensação luminoso (PCL)	2,40	2,92
Ponto de saturação luminoso (PSL)	271,5	275,4
R^2	0,97	0,98

Trocas gasosas e eficiência do uso da água pelas plantas juvenis de macaúba

Na tabela 5 são apresentados os resultados das trocas gasosas de plantas de macaúba das respectivas combinações de espaçamentos, sistemas de cultivo e estação de avaliação.

Analisando estação e fixando espaçamentos e sistemas de cultivo foi observada diferença significativa entre as estações para taxa fotossintética (A) em todos os espaçamentos e sistemas de cultivo, com maiores valores na EC 2013. Para condutância estomática (g_s) foi verificado diferença significativa no ESP 5 consorciado com braquiária na ES 2011. Para a relação C_i/C_a foi verificado diferença com maiores valores nos ESP 2 e ESP 5 consorciados com braquiária na ES 2011. Enquanto que, para taxa transpiratória (E) foi observado diferença nos ESP 3 e ESP 4 consorciados com braquiária com maiores valores na ES 2011.

Verificando sistemas de cultivo e fixando estação e espaçamentos, maiores valores para A foram observados no ESP 4 sem braquiária na ES 2011. Para g_s maiores valores foram obtidos nos ESP 4 e ESP 5 sem braquiária na ES 2011. Para a relação C_i/C_a maiores valores foram observados nos ESP 1 sem braquiária na ES 2011 e nos ESP 1, ESP 2, ESP 4 e ESP 5, com maiores valores na EC 2012.

Realizando uma análise geral, é possível verificar que as plantas juvenis de macaúba apresentaram melhores resultados de trocas gasosas na época chuvosa. Pelos dados obtidos é possível verificar que ocorreu uma redução de 28% na taxa de assimilação líquida de CO_2 na época seca quando comparada com a época chuvosa, indicando que as plantas foram afetadas pelas condições ambientais, em especial pela disponibilidade de água e temperatura ambiental. A fotossíntese é um dos primeiros processos a serem afetados pela deficiência hídrica em plantas, com os primeiros efeitos deste comprometimento refletindo-se na redução do crescimento (CHAVES e OLIVEIRA, 2002; ANYIA e HERZOG, 2004; CHAVES *et al.*, 2009).

Tabela 5. Taxa de assimilação líquida de carbono (A); condutância estomática (gs); taxa transpiratória (E); concentração interna e ambiente (Ci/Ca) de plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos consorciada com braquiária (MB) e sem braquiária (MS).

ESPAÇAMENTOS (m x m)	ESTAÇÃO	A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		gs ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		E ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$)		Ci/Ca	
		MS	MB	MS	MB	MS	MB	MS	MB
ESP 1 (4,5 x 4,5)	SECA	11,59 bA	13,96 bA	0,58 aA	0,67 aA	3,17 aA	3,57 aA	0,75 aA	0,73 aB
	CHUVOSA	15,65 aA	17,66 aA	0,77 aA	0,87 aA	3,8 aA	4,11 aA	0,77 aA	0,75 aB
ESP 2 (5 X 4)	SECA	13,1 bA	11,42 bA	0,71 aA	0,56 aA	3,77 aA	3,18 aA	0,74 aA	0,75 aA
	CHUVOSA	17,17 aA	18,08 aA	0,76 aA	0,73 aA	4,23 aA	4,01 aA	0,75 aA	0,73 aB
ESP 3 (6 X 4)	SECA	12,94 bA	11,44 bA	0,60 aA	0,48 aA	3,57 aA	3,14 bA	0,73 aA	0,72 bA
	CHUVOSA	18,26 aA	15,87 aA	0,79 aA	0,75 aA	3,76 aA	4,34 aA	0,76 aA	0,77 aA
ESP 4 (7 X 4)	SECA	13,68 bA	9,8 Bb	0,70 aA	0,35 aB	3,61 aA	2,83 bA	0,73 aA	0,73 aA
	CHUVOSA	18,13 aA	16,6 aA	0,92 aA	0,59 aA	4,06 aA	3,95 aA	0,76 aA	0,74 aB
ESP 5 (8 X 4)	SECA	13,51 bA	14,75 bA	0,81aA	0,40 bB	3,61aA	3,23 aA	0,73 aA	0,71 bA
	CHUVOSA	17,01 aA	17,46 aA	0,81aA	0,77 aA	4,19 aA	3,69 aA	0,76 aA	0,75 aB

Letras iguais minúsculas na coluna (comparam estação) e maiúsculas na linha (comparam sistemas de cultivo) não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Essa grande sensibilidade na taxa de assimilação de CO_2 em função da deficiência hídrica foi também observada em outras palmeiras, como dendê, coqueiro-anão, pupunheira e açai (CALBO *et al.*, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 2008; SURESH e NAGAMANI, 2006). Diversos fatores podem estar relacionados a estas reduções sendo que podem decorrer de limitações estomáticas e não estomáticas (YORDANOV *et al.*; 2003).

A limitação estomática irá depender da intensidade do déficit hídrico, sendo que, em estresse moderado, o fechamento estomático seria um evento primário (CORNIC e BRIANTAIS, 1991). Em nosso estudo não foi verificado diferenças estatísticas na condutância estomática entre as duas estações, contudo é possível verificar tendência de menores valores médios de gs ($0,57 \mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) na ES 2011. Isto pode ter ocorrido em função da variabilidade genética das plantas, pois as mesmas ainda não passaram

por processo de domesticação. Neste sentido, durante condições ambientais desfavoráveis certos mecanismos fisiológicos, como a abertura dos estômatos, podem apresentar respostas mais heterogêneas refletindo numa maior variação. Como não foi detectada diferença significativa na condutância estomática, é possível que a redução da taxa fotossintética nas plantas de macaúba tenha sido em função de limitações no aparato fotossintético. Durante o período seco, a temperatura média ambiental foi consideravelmente menor (18 °C), o que pode ter influenciado na atividade da ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase-oxigenase (rubisco), uma vez que a mesma apresenta maior atividade em temperaturas entre 24°C a 27°C (STITT e SCHULZE, 1994; TAIZ e ZEIGER, 2004).

As limitações impostas pela redução de g_s são normalmente acompanhadas pela redução da relação entre a concentração intercelular e a atmosférica de CO_2 (C_i/C_a), sugerindo que o aparato fotossintético não foi afetado – apenas C_i foi reduzido. Contudo, em déficit hídrico mais severo a relação C_i/C_a pode aumentar, indicando que, além da limitação estomática, o déficit hídrico está limitando a taxa de assimilação em outros níveis fisiológicos e bioquímicos (BAKER e ROSENQVIST, 2004; CHAVES e OLIVEIRA, 2004; PESSARAKLI, 2004).

Os resultados da relação C_i/C_a para plantas juvenis de macaúba não apresentaram diferenças entre as estações estudadas para maioria dos espaçamentos e sistemas de cultivo, indicando que a diminuição da atividade fotossintética não ocorreu devido à limitação da disponibilidade de CO_2 , mas possivelmente devido a menor atividade da rubisco (CHAVES *et al.*; 2002; MAROCO *et al.*; 2002). Outro fator que pode ter influenciado a redução na taxa fotossintética entre as estações, foi a atividade do fotossistema 2 (FS II), visto que em situações de déficit hídrico o aproveitamento energético representado pela eficiência quântica máxima do FS II e o rendimento quântico de conversão de energia fotoquímica são afetados (THOMAS e TURNER, 2001; NAUMANN *et al.*, 2007; SAVITCH *et al.*, 2009). Corrobora com esta suposição os valores obtidos na análise da eficiência do uso da luz (Figura 4), em que a eficiência quântica aparente (α) foi sensivelmente reduzida na época seca.

Condições de estresse abiótico podem levar à redução de eficiência do FSII; conseqüentemente, a energia luminosa absorvida pelos pigmentos cloroplastídicos será dissipada pelo aumento da emissão de fluorescência da clorofila *a* ou na forma de calor através da participação de pigmentos do ciclo da xantofila, representado principalmente pelo coeficiente de dissipação não fotoquímica (NPQ) (PAPAGEORGIU e GOVINDJEE, 2004; CALATAYUD *et al.*, 2006). Em nosso trabalho foram observados elevados valores nos pigmentos foliares, principalmente nos carotenoides na época seca (Tabela 6) podendo ser um indicativo que energia absorvida no FSII foi dissipada, para evitar danos ao fotossistema.

As taxas de transpiração (*E*) mesmo não havendo diferença significativa também acompanharam a mesma tendência da condutância estomática (*g_s*), com redução de 16% na ES 2011. A redução de *E* como efeito da diminuição de *g_s*, tem sido relatado por diversos autores como mecanismo de proteção contra a desidratação foliar (OLIVEIRA *et al.*, 2002; FERERES e SORIANO, 2007; POMPELLI *et al.*, 2010).

Tabela 6. Clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenóides de plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos consorciada com braquiária (MB) e sem braquiária (MS).

ESPAÇAMENTOS (m x m)	ESTAÇÃO	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g mm}^{-2}$)		Clorofila <i>b</i> ($\mu\text{g mm}^{-2}$)		Clorofila total ($\mu\text{g mm}^{-2}$)		Carotenóides ($\mu\text{g mm}^{-2}$)	
		MS	MB	MS	MB	MS	MB	MS	MB
ESP 1 (4,5 x 4,5)	SECA	0,50 bB	0,57 aA	0,39 aA	0,32 aB	0,89 aA	0,90 aA	0,17 Ab	0,20 aA
	CHUVOSA	0,59 aA	0,51 aB	0,27 bA	0,25 aB	0,88 aA	0,76 aA	0,14 aA	0,11 bB
ESP 2 (5 X 4)	SECA	0,54 aA	0,49 bB	0,27 aB	0,31 aA	0,80 aA	0,80 aA	0,19 Ab	0,21 aA
	CHUVOSA	0,60 aA	0,60 aA	0,28 aA	0,28 aA	0,88 aA	0,88 aA	0,13 bA	0,13 Ba
ESP 3 (6 X 4)	SECA	0,51 aA	0,50 aA	0,30 aA	0,27 Ab	0,81 aA	0,77 aA	0,15 aB	0,17 aA
	CHUVOSA	0,54 aA	0,53 aA	0,26 aA	0,26 aA	0,80 aA	0,79 aA	0,12 aA	0,13 bA
ESP 4 (7 X 4)	SECA	0,59 aA	0,57 aA	0,36 aA	0,32 aB	0,95 aA	0,89 aA	0,20 aA	0,19 aA
	CHUVOSA	0,59 aA	0,55 aB	0,26 bA	0,27 aA	0,81 aA	0,87 aA	0,11 bB	0,14 bA
ESP 5 (8 X 4)	SECA	0,60 aA	0,45 bB	0,32 aA	0,25 aB	0,93 aA	0,70 aA	0,21 aA	0,16 aB
	CHUVOSA	0,59 aA	0,56 aB	0,23 bA	0,27 aA	0,82 aA	0,83 aA	0,14 bA	0,13 aA

Letras iguais minúsculas na coluna (comparam estação) e maiúsculas na linha (comparam sistemas de cultivo) não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o estudo da eficiência no uso da água (EUA) verificando estação e fixando sistemas de cultivo e espaçamentos foi observado diferença significativa. O ESP 5 consorciado com braquiária e o ESP 3 sem braquiária apresentaram maiores valores de EUA na EC 2012 (Figura 17).

Para o desdobramento verificando sistemas, fixando espaçamentos e estação de disponibilidade hídrica não foi observado diferença significativa nos espaçamentos e sistemas de cultivo. Assim como, no desdobramento verificando espaçamentos e fixando sistemas de cultivo e estação.

A eficiência do uso da água (EUA) é um indicativo do nível de aporte de CO₂ para o mesófilo em relação a perda de água através da transpiração. Uma elevada razão EUA revela que a abertura estomática foi favorável a uma eficiente entrada de gás carbônico na câmara subestomática sem grande comprometimento na perda de vapor d'água pela folha (SILVA *et al.*, 2006; BLUM, 2009). Em situações de estresse hídrico moderado o *gs* tende a reduzir primeiramente antes da taxa fotossintética, assim, é possível que a

planta assimile mais moléculas de CO₂ para cada unidade de água transpirada, sendo mais eficiente na utilização da água disponível (MEDRANO *et al.*, 2002).

De forma geral, os resultados da EUA em plantas juvenis de macaúba não foram diferentes entre a ES 2011 e EC 2012, indicando que a espécie é capaz de manter a taxa de assimilação constante. Acredita-se que as condições de espaçamentos e sistemas de cultivo aos quais as plantas juvenis de macaúba estiveram submetidas não foram suficientemente restritivas ao seu desenvolvimento. As alterações obtidas nas respostas de trocas gasosas foram possivelmente ocasionadas pela sazonalidade de recursos, em especial a disponibilidade de água.

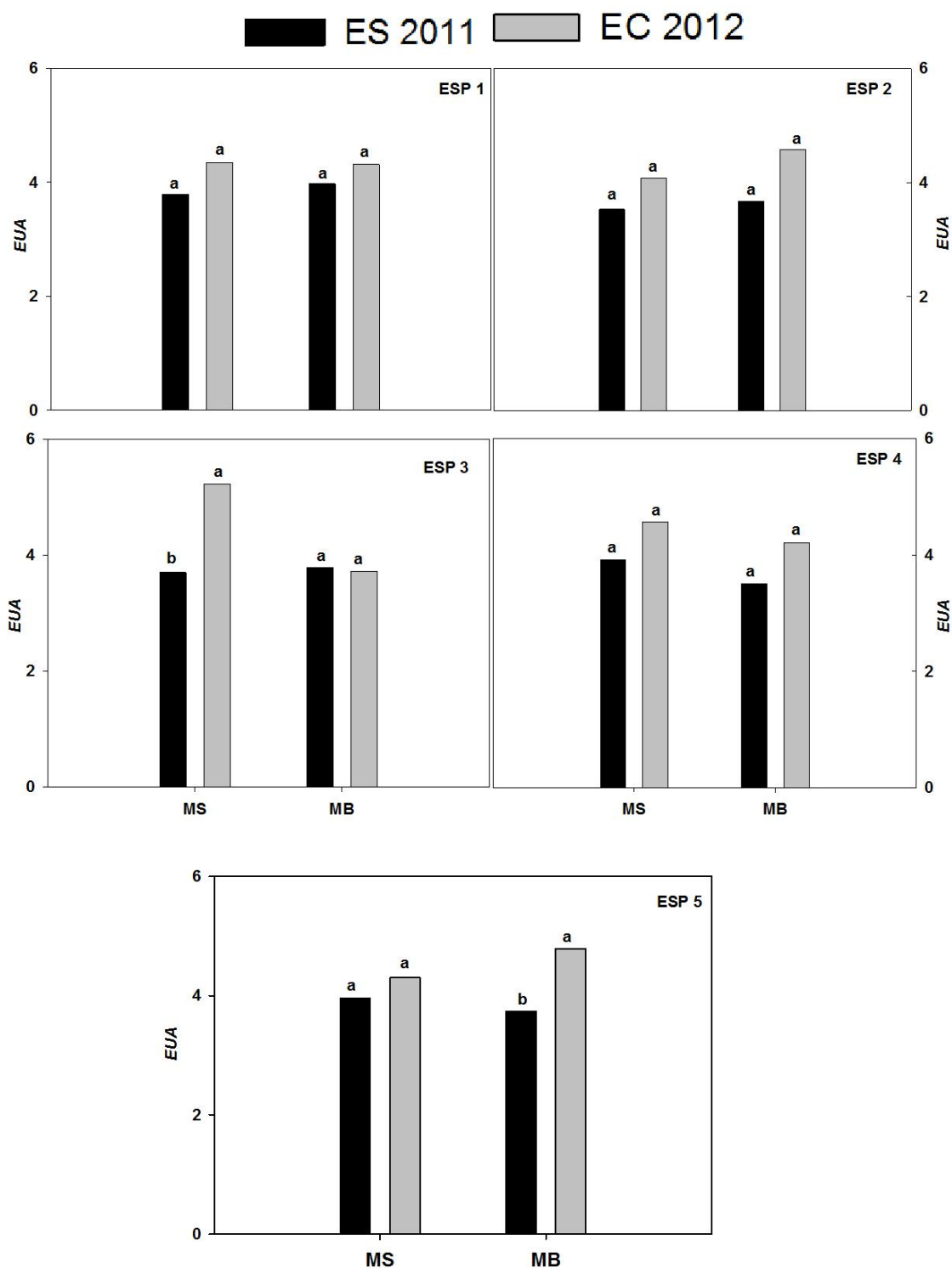


Figura 17. Eficiência do uso da água (EUA) de plantas juvenis de macaúba. Verificando estações, fixando espaçamentos e sistemas de cultivo. Letras minúsculas iguais (comparam estação seca e chuvosa) não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Legenda: ESP 1 (4,5m x4,5m); ESP 2 (5m x4m); ESP 3 (6m x 4m); ESP 4 (7m x 4m); ESP 5 (8m x 4m). EC 2011 – estação chuvosa 2011; ES – estação seca 2011; EC 2012 – estação chuvosa 2012. MS – macaúba sem braquiária; MB – macaúba consorciada com braquiária.

Estimativa da fotossíntese do dossel (A_D) de plantas juvenis de macaúba

Foi observada diferença significativa entre as estações com maiores valores obtidos na EC 2012 para fotossíntese do dossel (A_D) (Figura 18).

A fotossíntese do dossel é determinada pelo produto da eficiência da fotossíntese das folhas individuais e da absorção de RFA pela copa. Na ES 2011 o IAF das plantas foi menor do que na EC 2012, enquanto que RFA_t apresentou padrão inverso, indicando um dossel de tamanho reduzido na ES 2011. Segundo Wells *et al.* (1986), em algodão a redução da A_D foi atribuída em parte ao menor desenvolvimento dossel.

Considerado como um dos parâmetros ecofisiológicos relacionados diretamente à produtividade vegetal, a A_D reflete a capacidade fotossintética total da planta independente das variações inerentes à folha (ângulo, idade, filotaxia, etc.) (BALDOCCHI e AMTHOR, 2001). Apesar dos menores valores da A_D terem sido observados na ES 2011, tal quais aqueles encontrados para folha isolada, ainda assim asseguraram uma eficiente captura de carbono atmosférico, contribuindo para o crescimento ininterrupto das palmeiras. A produção da maioria das culturas agrícolas é vinculada a fotossíntese da folha, contudo a melhor representatividade da relação produção/ fotossíntese deveria ser baseada na A_D (ZELITCH, 1982; LAWLOR, 1995).

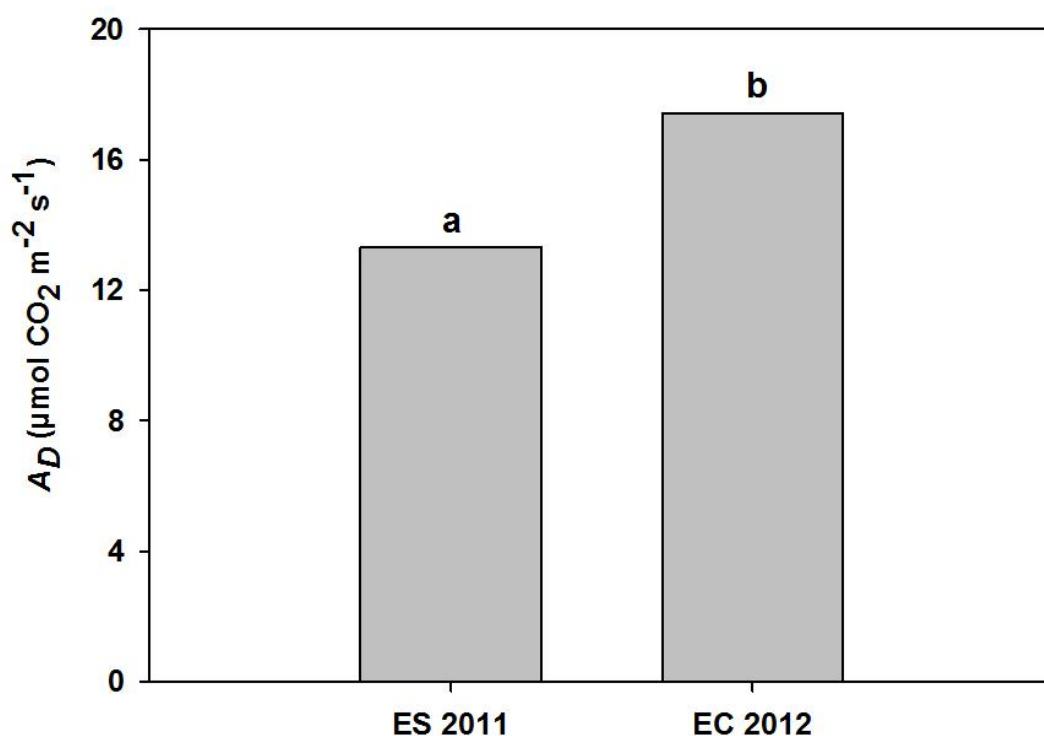


Figura 18. Fotossíntese do dossel (A_D) de plantas juvenis de macaúba. Letras minúsculas comparam estação seca (ES 2011) e chuvosa (EC 2012), pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Influência dos espaçamentos e sistemas de cultivo no crescimento de plantas juvenis de macaúba em função da idade de plantio

De acordo com a equação de regressão observou-se um acréscimo linear para altura (m) em plantas de macaúba em todos os espaçamentos e sistemas de cultivo em função do aumento da idade (Figura 19A-19B). Em geral o ganho médio em altura foi de $0,75 \text{ m ano}^{-1}$, tendo ao final do período de análise alcançado 5 vezes mais a altura média inicial da muda introduzida que foi de 0,50 m.

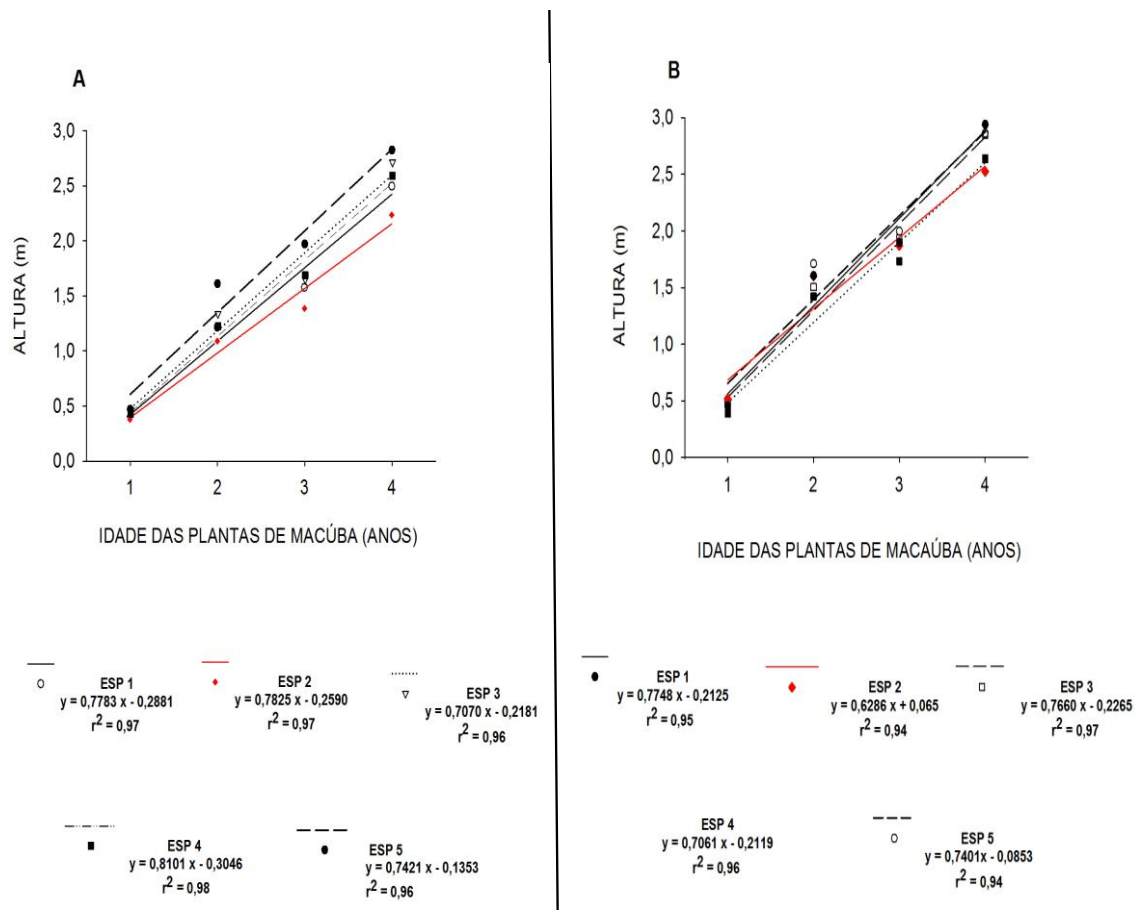


Figura 19. Altura (m) de plantas de macaúba em diferentes espaçamentos e sistemas de cultivo em função da idade. 19 A: plantas de macaúba sem braquiária (MS); 19 B: plantas de macaúba consorciadas com braquiária (MB).

Os resultados do teste de média para altura (m) e número de folhas apresentaram diferença significativa com maiores valores nas plantas de macaúba com quatro anos de idade, com incremento na altura de 2,4 m e de 5 folhas, independente dos espaçamentos e sistemas de cultivos (Tabela 7 e 8).

Verificando sistemas de cultivo, fixando idade e espaçamentos houve diferença significativa para o sistema sem braquiária no ESP 2 com maior altura nas plantas com 4 anos de idade. Enquanto que, no ESP 4 foi observado diferença no consórcio com braquiária com maior altura nas plantas de macaúba com idade de 4 anos (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios de altura das plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos consorciadas com braquiária (MB) ou sem braquiária (MS) e idades. Desdobramento comparando idade e sistemas de cultivo.

IDADE (ANO)	ESP 1 (4,5 m x 4,5 m)		ESP 2 (5 m x 4 m)		ESP 3 (6 m x 4 m)		ESP 4 (7 m x 4 m)		ESP 5 (8 m x 4 m)	
	MS	MB	MS	MB	MS	MB	MS	MB	MS	MB
1	0,46 dA	0,46 cA	0,50 dA	0,53 cA	0,47 cA	0,45 dA	0,49 dA	0,40 aA	0,47 dA	0,49 cA
2	1,42 cA	1,61 bA	1,45 cA	1,61 bA	1,35 bA	1,51 cA	1,42 cA	1,43 bA	1,61 cA	1,71 bA
3	1,84 bA	1,90 bA	1,85 bA	1,88 bA	1,66 bA	1,94 bA	1,96 bA	1,74 bA	1,97 bA	2,00 bA
4	2,91 aA	2,94 aA	2,98 aA	2,53 aB	2,72 aA	2,87 aA	3,01 aA	2,65 aB	2,82 aA	2,86 aA

Letras iguais minúsculas na coluna (comparam idades) e maiúsculas na linha (comparam sistemas de cultivo) não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para número de folhas foi observado diferença somente para ESP 5 com maiores número de folhas no sistema sem braquiária em plantas com 4 anos de idade (Tabela 8).

Tabela 8. Valores médios do número de folhas em plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos consorciada com braquiária (MB) ou sem braquiária (MS) e idades. Desdobramento comparando idade e sistemas de cultivo.

Espaçamentos (m x m)	IDADE DAS PLANTAS DE MACAÚBA (ANOS)							
	1		2		3		4	
	MS	MB	MS	MB	MS	MB	MS	MB
1 (4,5 x 4,5)	0,46 A	0,46 A	1,42 A	1,61 A	1,84 A	1,90 A	2,91 A	2,94 A
2 (5 x 4)	0,50 A	0,53 A	1,45 A	1,61 A	1,85 A	1,88 A	2,98 A	2,53 B
3 (6 x 4)	0,47 A	0,45 A	1,35 A	1,51 A	1,66 A	1,94 A	2,72 A	2,87 AB
4 (7 x 4)	0,49 A	0,40 A	1,42 A	1,43 A	1,96 A	1,74 A	3,01 A	2,65 AB
5 (8 x 4)	0,47 A	0,49 A	1,61 A	1,71 A	1,97 A	2,00 A	2,82 A	2,86 AB

Letras iguais minúsculas na coluna (comparam idades) e maiúsculas na linha (comparam sistemas de cultivo) não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Desdobrando espaçamentos para altura das plantas de macaúba foi observado que o ESP 1 diferiu do ESP 2, ambos no consórcio com braquiária para idade de 4 anos, sendo que o ESP 1 apresentou maiores valores (2,94 m) (Tabela 9). Enquanto que, para número de folhas o ESP 4 diferiu significativamente do ESP 5 ambos no consórcio com braquiária para idade de 4 anos com maiores valores ESP 4 (Tabela 10).

Tabela 9. Valores médios de altura das plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos consorciada com braquiária (MB) ou sem braquiária (MS) e idades. Desdobramento verificando espaçamentos.

IDADE (ANO)	ESP 1 (4,5 m x 4,5 m)		ESP 2 (5 m x 4 m)		ESP 3 (6 m x 4 m)		ESP 4 (7 m x 4 m)		ESP 5 (8 m x 4 m)	
	MS	MB	MS	MB	MS	MB	MS	MB	MS	MB
1	6 cA	6 cA	6 cA	6 cA	5 cA	5 cA	6 cA	5 dA	6 dA	6 cA
2	7 cA	6 cA	7 cA	7 cA	6 cA	7 cA	6 cA	7 cA	7 cA	7 bA
3	8 bA	8 bA	8 bA	8 bA	8 bA	8 bA	9 bA	9 bA	9 bA	8 abA
4	11 aA	10 aA	10 aA	10 aA	10 aA	10 aA	10 aA	11 aA	11 aA	9 aB

Letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 10. Valores médios do número de folhas em plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos consorciada com braquiária (MB) ou sem braquiária (MS) e idades. Desdobramento verificando espaçamentos.

Espaçamentos (m x m)	IDADE DAS PLANTAS DE MACAÚBA (ANOS)							
	1		2		3		4	
	MS	MB	MS	MB	MS	MB	MS	MB
1	6 A	6 A	7 A	6 A	8 A	8 A	11 A	10 AB
2	6 A	6 A	7 A	7 A	8 A	8 A	10 A	10 AB
3	5 A	5 A	6 A	7 A	8 A	8 A	10 A	10 AB
4	6 A	5 A	6 A	7 A	9 A	9 A	11 A	11 A
5	6 A	6 A	7 A	7 A	9 A	9 A	11 A	9 B

Letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A análise de crescimento não destrutiva possibilita a mensuração dos indivíduos durante o ciclo biológico. Esse método tem sido bastante utilizado para investigação do efeito de fenômenos ecológicos sobre o crescimento na adaptabilidade de espécies em ecossistemas diversos, efeito de competição de cultivares e influência de práticas agronômicas sobre o crescimento (MAGALHÃES, 1979; SILVA *et al.*, 2000).

De forma geral, as plantas juvenis de macaúba não foram afetadas pelos espaçamentos e sistemas de cultivo, demonstrando crescimento efetivo ao longo do período de análise. Em muitos casos, situações de espaçamentos inadequados ou até mesmo competições decorrentes da presença do outro componente vegetal provocam reduções no crescimento das espécies envolvidas, principalmente no início do seu estabelecimento no campo (LEMAIRE e MILLARD, 1999; ZANINE e SANTOS, 2004). Apesar da presença da braquiária, a qual apresenta crescimento rápido, o que poderia conferir uma situação potencial de competição, não foi observado efeito negativo do sistema de cultivo no crescimento em altura e número de folhas da palmeira. Em espécies arbóreas tropicais cultivadas em sistema de consórcio com *Brachiaria brizantha*, Andrade *et al.* (2008) observaram que nas espécies que apresentavam crescimento mais rápido não houve efeito da pastagem.

A quantidade similar de folhas observada em todas as situações no presente estudo indica que não só o crescimento, mas o desenvolvimento das plantas não foi afetado pelos espaçamentos e sistemas de cultivo. De certa forma, este padrão é um indicativo de que a produção e partição de fotoassimilados requisitados para o crescimento vegetativo foi mantido em taxas satisfatórias. Em dendê a produção de folhas tende a declinar com o aumento da densidade de plantio, sem afetar significativamente a área foliar e o peso seco (CORLEY e DONOUGH, 1992). Breure (1988) sugere que a menor taxa fotossintética resultante de um maior adensamento de plantas de dendê é acompanhado por proporcional redução da respiração de manutenção, garantindo um equilíbrio na partição e uso de carboidratos.

Espécies vegetais, arbóreas em especial, que apresentam hábito de crescimento ininterrupto, sem período de dormência ou latência, como parece ser o caso da macaúba, estão agregando continuamente novas

estruturas. Isso é refletido num maior ganho de biomassa e consequentemente maior acúmulo de carbono.

Influência dos espaçamentos e sistemas de cultivo na estimativa da produção de biomassa, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado de plantas juvenis de macaúba em função da idade de plantio e sazonalidade hídrica.

Verificando os valores estimados da produção de biomassa aérea, carbono acumulado e CO₂ assimilado de plantas juvenis de macaúba, observou-se diferença significativa aos 4 anos de idade em todos espaçamentos (Figura 20). Os ESP 1 e ESP 2 apresentaram maiores valores estimados de biomassa (Figura 20 A), carbono acumulado (Figura 20 B) e CO₂ assimilado (Figura 20 C). Esse mesmo comportamento foi observado quando analisado os espaçamentos em função da idade (Figura 20)

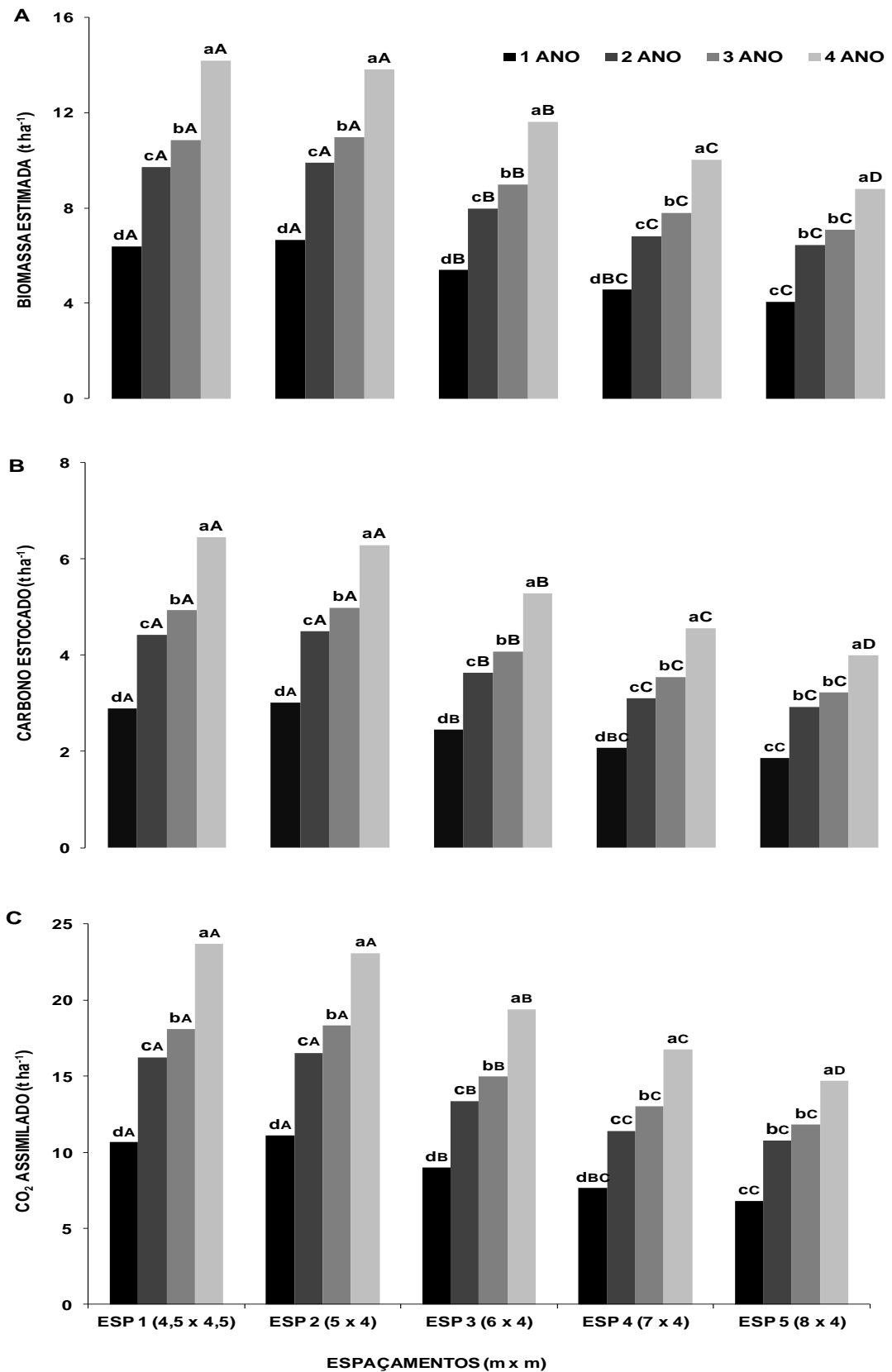


Figura 20. Biomassa aérea seca, carbono estocado e CO₂ assimilado (t ha⁻¹) de plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos e idades. Letras iguais minúsculas (comparam idade em função de cada espaçamento) e maiúsculas (comparam espaçamentos em função da idade) não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O ganho de biomassa aérea, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado pela macaúba mantiveram, entre as idades dentro de cada espaçamento, um padrão similar, entre as plantas. O aumento deste três parâmetros obtidos nos menores espaçamentos (ESP 1 e ESP 2) foi certamente em decorrência do maior número de plantas ha⁻¹. Em muitas situações o adensamento de plantas em associações ou não com outra espécie tende a causar efeitos negativos no crescimento e, como consequência, no acúmulo de biomassa de um ou dos dois componentes (WILSON, 1988). Em nosso experimento, verificou-se que tal comportamento não foi observado. Possivelmente isto decorreu de uma homeostase na produção, partição e uso dos fotoassimilados pela macaúba, em todas as situações de cultivo, como proposto por Breure (1988) para dendê.

Em geral o ganho anual de biomassa seca da parte área na macaúba foi em média de 2,9 t ha⁻¹. Em duas arbóreas lenhosas tropicais de crescimento rápido, *Dalbergia retusa* e *Diphysea robinoides*, o incremento de biomassa da parte aérea apresentou um ganho de aproximadamente 1,5 e 3,25 t ha⁻¹ ano⁻¹ (ANDRADE *et al.*, 2008). Considerando-se que as plantas de macaúba não apresentam crescimento secundário verdadeiro, como toda palmácea arbórea (GEHRING, 2011), os valores de biomassa acumulada indicam que a mesma é capaz de estocar de forma eficiente uma considerável quantidade de carbono se comparadas a espécies verdadeiramente arbóreas.

Ao final dos 4 anos de plantio, considerando-se todos os espaçamentos, as plantas de macaúba acumularam e assimilaram em média 5,3 t carbono ha⁻¹ e 19,5 t CO₂ ha⁻¹, respectivamente. Em estudo conduzido na Índia com 12 espécies de árvores lenhosas com 3 anos de idade de plantio, obteve-se uma variação no carbono estocado de 3 a 8 t ha⁻¹ e de CO₂ assimilado entre 11 e 30 t CO₂ ha⁻¹ (CHAUHAN *et al.*, 2009). Em *Populus deltoides*, árvore lenhosa originária da América do Norte, observou-se que aos 4 anos de plantio o carbono armazenado e o CO₂ assimilado alcançaram aproximadamente 10 t ha⁻¹ e 40 t ha⁻¹, respectivamente (RIZVI *et al.*, 2011). Levando-se em conta a juvenildade das plantas de macaúba e sua natureza não lenhosa, os valores obtidos demonstram que espécie encontra-se dentro da faixa para plantas lenhosas,

comprovando a eficiência da palmeira em assimilar e sequestrar carbono atmosférico. De fato palmeiras arbóreas apresentam-se como potenciais repositórios de carbono, como proposto por Lamade e Bouillet (2005) para plantios melhorados de dendê. Entretanto, os mesmos autores reforçam a necessidade de estudos mais profundos que levem em consideração metodologias mais amplas (ex. eddy covariância) em diferentes tipos ecológicos e idades.

Em situações em que as plantas já passaram por processos de melhoramento genético, como o dendê, geralmente o adensamento é utilizado para a obtenção de maior produtividade (CORLEY e TINKER, 2003), o que não é o caso das plantas de macaúba, uma vez que programas de melhoramento estão em fase inicial. Em populações nativas de macaúba observa-se uma grande diversidade morfológica e de arquitetura da planta em função da sua condição não domesticada. Portanto, isso pode gerar possíveis diferenças nas estimativas de acúmulo e sequestro de carbono. Desta forma, o estudo destas características (biomassa, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado) podem contribuir no momento da seleção, uma vez que estes parâmetros são fortes indicativos do panorama futuro destas plantas em relação à produção de frutos (LAMADE e BOUILLET, 2005).

Além de fatores intrínsecos à planta influenciando os padrões de acúmulo de biomassa e carbono, fatores externos como a sazonalidade na disponibilidade de recursos também provocam alterações.

Verificando valores estimados da produção de biomassa, carbono acumulado e CO₂ assimilado de plantas juvenis de macaúba em função da sazonalidade hídrica, observou-se diferença significativa (Figura 21). Os ESP 1 e ESP 2 apresentaram maiores valores de biomassa acumulada, carbono acumulado e CO₂ assimilado) (Figura 21A - 21C).

Entre as estações, foi observada diferença significativa, com maiores valores estimados nos mesmos parâmetros na EC 2012 em todos os espaçamentos (Figura 21A - 21C).

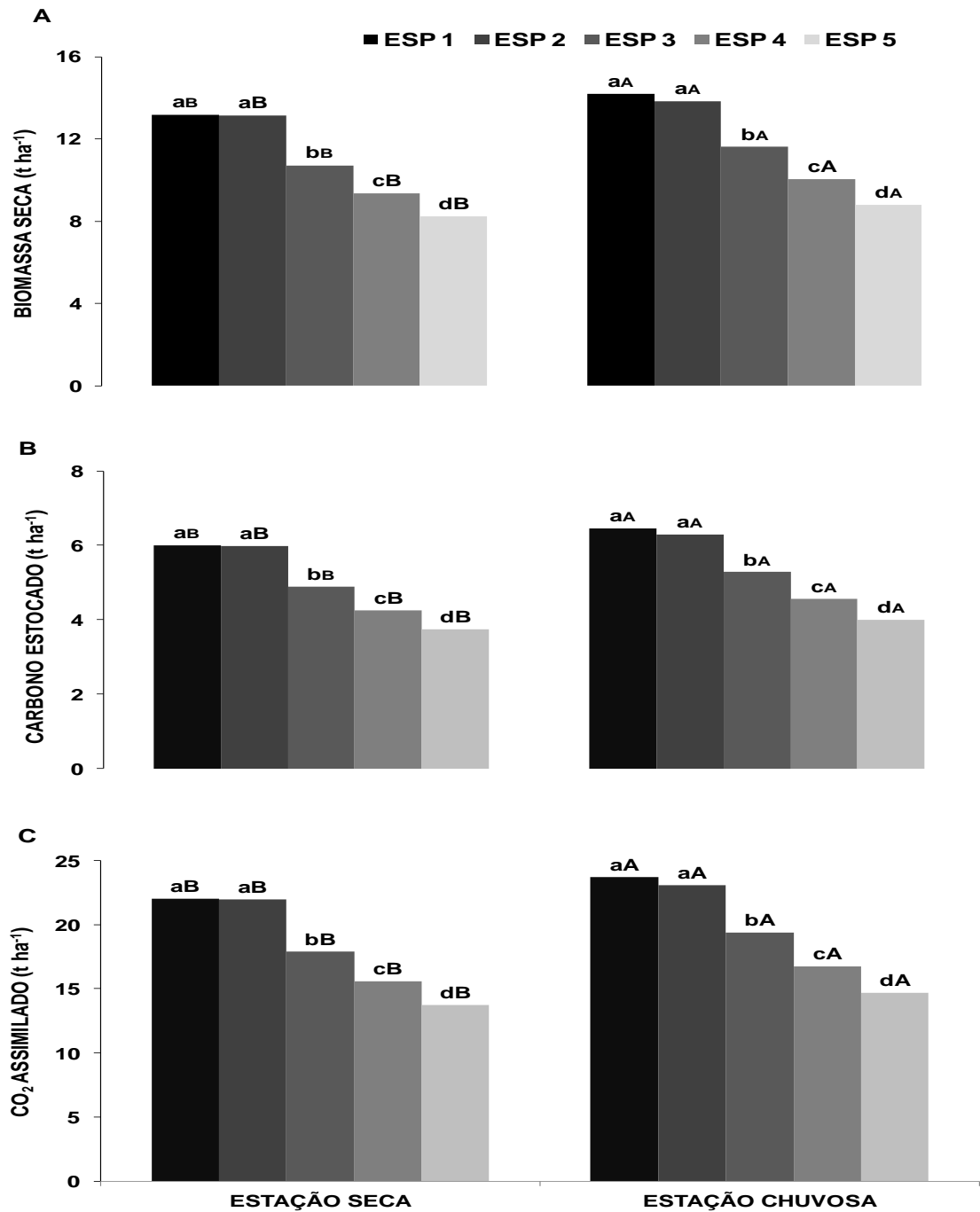


Figura 21. Biomassa seca (A), carbono acumulado (B) e CO₂ assimilado (C) em t ha⁻¹ de plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos e estação de avaliação. Letras iguais minúsculas (comparam espaçamentos em cada estação) e maiúsculas (comparam espaçamentos entre estações) não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Legenda: ESP 1 (4,5m x 4,5m); ESP 2 (5m x 4m); ESP 3 (6m x 4m); ESP 4 (7m x 4m); ESP 5 (8m x 4m).

No presente estudo a produção de biomassa na parte aérea, acúmulo de carbono e CO₂ em função da sazonalidade hídrica apresentaram diferenças, contudo é possível verificar que as plantas de macaúba não sofreram reduções acentuadas nesses três parâmetros na época seca. Em várias espécies vegetais a restrição hídrica destaca-se como um dos fatores ambientais que efetivamente contribuem para um menor crescimento, em decorrência das reduções que ocasiona nas taxas fotossintéticas (CALBO *et al.*, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2002; GOMES *et al.*, 2008; SURESH e NAGAMANI, 2006). Todavia, o grau de tolerância a este tipo de estresse apresenta variações inter e intra espécie (VERSLUES *et al.*, 2006).

A macaúba destaca-se como uma espécie rústica, adaptada a diversas condições edafoclimáticas, sendo possível encontrá-la com frequência povoando ambiente onde a restrição hídrica sazonal é regra (LORENZI *et al.*, 2004; LORENZI, 2006). Os resultados demonstram a grande capacidade desta planta em tolerar condições adversas, em especial a falta de água, mesmo em condições de consórcio, possivelmente por manter seu aparato fisiológico em níveis satisfatórios de funcionamento (dados referentes ao 2º capítulo). Visto que, o principal mecanismo de sequestro de carbono, e de longe o mais eficiente, é a fotossíntese (BUCKERIDGE e AIDAR, 2002), quanto menos susceptível for este processo às variações ambientais, maiores condições de manter um crescimento adequado e contínuo a espécie apresentará. Portanto, existe um paralelismo entre a fotossíntese e o armazenamento de carbono (HENSON e CHAI, 1997; LAMADE e SETIYO, 2002; JANSON *et al.*, 2010).

Os resultados de crescimento, biomassa, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado pelas plantas juvenis de macaúba indicam a grande capacidade desta em desenvolver-se nos primeiros anos de estabelecimento no campo, em associação com pastagem, indicando que possivelmente não ocorreu situação de competição entre os componentes envolvidos.

2.4 CONCLUSÕES

Os espaçamentos e sistemas de cultivos não influenciam nas trocas gasosas de plantas juvenis de macaúba. Contudo, as variações temporais observadas foram decorrentes da sazonalidade na disponibilidade dos recursos ambientais. A análise da taxa fotossintética e da curva de luz indica que o processo assimilatório de CO₂ é contínuo e suficiente para manter o desenvolvimento e crescimento da macaúba o ano inteiro.

As plantas juvenis de macaúba não foram afetadas pelos espaçamentos e consócio com braquiária, apresentando crescimento contínuo, com elevada produção de biomassa, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado ao longo dos quatro anos de idade.

Os maiores valores dos parâmetros estudados verificados nos menores espaçamentos são decorrentes do adensamento.

Em resumo a implantação da macaúba em sistemas agroflorestais apresentou considerável potencial para o sequestro tornando seu cultivo uma atividade ambientalmente sustentável.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H. J.; BROOK, R.; IBRAHIM, M. Growth, production and carbon sequestration of silvopastoral systems with native timber species in the dry land of Costa Rica. **Plant Soil**. v. 308; p.11-22, 2008.

ANYIA, A. O.; HERZOG, H., Genotypic variability in drought performance and recovery in cowpea under controlled environment. **Journal Agronomy and Crop Science**. v. 109, p. 151-159. 2004.

BALDOCCHI, D. D.; AMTHOR, J. S.. Canopy Photosynthesis: History, measurements and models. In: Terrestrial Global Productivity: Past, Present and Future. Eds. J. Roy, B. Saugier and H. Mooney. Academic Press: San Diego. p. 9-31. 2001.

BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**. v. 55, p. 1607-1621. 2004.

BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**. v. 112, p. 119-123. 2009.

BREURE, C. J. The effect of different planting densities on yield trends in oil palm. **Experimental Agriculture**. v. 24, p. 37-52. 1988.

BUCKERIDGE, M. S. AIDAR, M. P. M., Carbon sequestration in the rain forest: alternatives using environmentally friendly biotechnology. **Biota Neotropica**. v. 2, n. 1, p. 1-5. 2002.

CARNEIRO, H.; PEREIRA, J. C. **Macaúba: co-produtos de biodiesel na alimentação animal.** Disponível em: <<http://www.cileite.com.br/panorama/produtos29.html>> Acesso em: 30/08/2011.

CALATAYUD, A.; ROCA, D.; MARTINEZ, P. F. Spatial-temporal variations in rose leaves under water stress conditions studied by chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 44, p. 564-573. 2006.

CALBO, M. E. R.; MORAES, J. A. P. V. Efeitos da deficiência hídrica em plantas de *Euterpe oleracea* (açai). **Revista Brasileira de Botânica**. v. 23, p. 225-230. 2000.

CAMPBELL, G. S., J. M. NORMAN. **An Introduction to Environmental Biophysics**.. Springer-Verlag, New York. 286 p. 1998.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**. v. 55, p. 2365-2384. 2002.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**. v. 55, p. 2365-2384. 2004.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**. v. 103, p. 551-560. 2009.

CHAUHAN, S. K.; GUPTA, N.; YADAV, R. S.; CHAUHAN, R. Biomass and carbon allocation in different parts of agroforestry tree species. **Indian Forester**. v. 135, n. 7, p. 981-993. 2009.

COLOM, M. R.; VAZZANA, C. Photosynthesis and PSII functionality of drought-resistant and drought-sensitive weeping lovegrass plants. **Environmental and Experimental Botany**. v. 49, p. 135-144. 2003.

CORLEY, R. H. V.; DONOUGT, C. R. **Potential yield of oil palm clones – the importance of planting density**. In: Proc. Workshop “Yield potential in the oil palm. Int. Soc. Oil Palm Breeders, Kuala Lumpur. p. 58-70. 1992.

CORLEY, R. H. V.; TINKER, P. B. H., **The Oil Palm**. Blackwell Publishing. Malden, USA. 562 p. 2003.

CORNELISSEN, J. H. C.; LAVOREL, S.; GARNIER, E.; DIAZ, S.; BUCHMANN N. A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. **Australian Journal of Botany**. v. 51, p. 335–380. 2003.

CORNIC, G.; J. M BRIANTAIS. Partitioning of photosynthetic electron flow between CO₂ and O₂ reduction in a C₃ leaf (*Phaseolus vulgaris* L.) at different CO₂ concentrations and during drought stress. **Planta**. v. 183, p. 178–184. 1991.

DOS ANJOS, L., OLIVA, M. A., KUKI, K. N. Fluorescence imaging of light acclimation of brazilian atlantic forest tree species. **Photosynthetica**. v. 50, p. 95–108. 2012.

FRANGI, J. L.; A. E. LUGO. Ecosystem dynamics of a subtropical floodplain forest. **Ecological Monographs**. v. 55, p. 351-369. 1985.

FERERES, E.; SORIANO, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**. v. 58, n. 2, p. 147-159, 2007.

GEHRING, C.; ZELARAYÁN, M. L. C.; ALMEIDA, R. B.; MORAES, F. H. R., Allometry of the babassu palm growing on a slash-and-burn agroecosystem of the eastern periphery of Amazonia. **Acta amazonica**. v. 41, n. 1, p. 127 - 134. 2011.

GOMES, F. P.; OLIVA, M. A.; MIELKE, M. S.; ALMEIDA, A. A. F.; LEITE, H. G.; AQUINO, L. A. Photosynthetic limitations in leaves of Young Brazilian

Green Dwarf coconut (*Cocos nucifera* L. 'nana') palm under well-watered conditions or recovering from drought stress. **Environmental and Experimental Botany**. v. 62, p. 195-204. 2008.

HENSON, I. E.; CHAI, S. Analysis of oil palm productivity. II. Biomass, distribution, productivity and turn-over of the root system. **Elaeis**. v. 9, p. 78-92. 1997.

JANSSON, C.; WULLSCHLEGER, S. D.; KALLURI, U. C.; TUSKAN, G. A., Phytosequestration: carbon biosequestration by plants and the prospects of genetic engineering. **Bio Science**. v. 60, n. 9, p. 685-696. 2010.

KABAKOFF, R. P.; CHAZDON, R. L Effects of canopy species dominance on understory light availability in low, elevation secondary forest stands in Costa Rica. **Tropical Ecology**. v.12, p. 779-788. 1996.

LAMADE, E.; BOUILLET, J. P. Carbon storage and global change: the role of oil palm. **Oléagineux**. v. 12, n. 2, p.154-160. 2005.

LAMADE, E.; SETIYO, I. **Characterisation of carbon pools and dynamics for oil palm and forest ecosystems: application to environmental evaluation**. In: International Oil Palm Conference. Indonésie: Nusa Dua, Bali, p. 8–12. 2002.

LAWLOR, D. W. Photosynthesis, productivity and environment. *Journal of Experimental Botany*. v. 46, p. 1449-1461. 1995

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; DE MEDEIROS COSTA, J. T.; DE CERQUEIRA L. S. C.; FERREIRA E. **Palmeiras Brasileiras e Exóticas Cultivadas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 416 p. 2004.

LUDLOW, M. M.; MUCHOW, R. C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advances in Agronomy**. v. 43, p. 107-153. 1990.

LUNAGARIA, M. M.; SHEKH, A. M. Radiation interception, light extinction coefficient and leaf area index of wheat (*Triticum aestivum* L.) crop as influenced by row orientation and row spacing. **The Journal of Agricultural Sciences**. v. 2, n. 2, p.43-54. 2006.

MIELKE, M. S.; DE ALMEIDA, A. A. F.; GOMES, F. P. Photosynthetic traits of five neotropical rainforest tree species: interactions between light response curves and leaf to-air vapour pressure deficit. **Brazilian Archives of Biology and Technology**. v. 48, p. 815–824. 2005.

NAIR, P. K. R. State – of – the - art of agroforestry systems. **Forest Ecology and Management**. v. 45, n. 1-4, p. 3 - 30, 1991.

KIRBY, K. R.; POTVIN, C. Variation in carbon storage among tree species: implications for the management of a smallscale carbon sink project. **Forest Ecology and Management**. v. 246, p. 208–221. 2007.

MAGALHÃES, A. C. N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M. G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: EPU. Ed. da Universidade de São Paulo. v.1, p.331-350. 1979.

MAROCO. J. P., RODRIGES, M. L., LOPES C., M. M. CHAVES. Limitation to leaf photosynthesis in grapevine under drought – metabolic and modelling approaches. **Functional Plant Physiology**. v. 29, p. 1–9. 2002.

MATTOS, E. A. *et al.* Chlorophyll fluorescence during CAM-phases in *Clusia minor* L. under drought stress. **Journal of Experimental Botany**. v. 50, n. 331, p. 253-261, 1999.

MEDRANO, H. *et al.* Regulation of photosynthesis of C₃ plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**. v. 89, p. 895-905, 2002.

NIKLAS, K. J.; ENQUIST, B. J. On the vegetative biomass partitioning of seed plant leaves, stems, and roots. **American Naturalist**. v. 159, p. 482–497. 2002.

NOGUEIRA, R. J. M. C. *et al.* Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. M. A.; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J. D. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**. v. 59, p. 59-63. 2002.

PAPAGEORGIU, G. C.; GOVINDJEE. **Chlorophyll a Fluorecence: A Signature of Photosynthesis**. Springer, 818 p. 2004.

PESSARAKLI, M. **Handbook of Photosynthesis**. CRC Press, 928 p. 2004.

POMPELLI, M. F. *et al.* Photosynthesis, photoprotection and antioxidant activity of purging nut under drought deficit and recovery. **Biomass and Bioenergy**. v. 34, p. 1207-1215, 2010.

PORTES, M. T., DAMINELI, D. S. C., RIBEIRO, R. V. Evidence of higher photosynthetic plasticity in the early successional *Guazuma ulmifolia* Lam. compared to the late successional *Hymenaea courbaril* L. grown in contrasting light environments. **Brazilian Journal of Biology** v. 70, p. 75–83. 2010.

POSCHLOD, P. KLEYER, M.; JACKEL, A. K.; DANNEMANN, A.; TACKENBERG, O. BIOPOP – a database of plant traits and Internet

application for nature conservation. **Folia Geobotanica**. v. 38, p. 263–271. 2003.

PIRES, T. P.; SOUZA, E. S.; KUKI, K. N.; MOTOIKE, S. Y. Ecophysiological traits of the macaw palm: A contribution towards the domestication of a novel oil crop. **Industrial Crops and Products**. v. 44, p. 200– 210. 2013.

PRIOUL, J. L., CHARTIER, P. Partitioning of transfer and carboxylation components of intracellular resistance to photosynthetic CO₂ fixation: A critical analysis of the methods used. – **Annals of Botany**. v.41, p. 789-800, 1977.

RODRIGUES, H. S. **Obtenção de ésteres etílicos e metílicos, por reações de transesterificação, a partir do óleo da palmeira latino americana macaúba - *Acrocomia aculeata***. 241f. 2007. Tese (Doutorado/Química). Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto/USP, Ribeirão Preto. 2007.

RIZVI, R. H.; DHYANI, S. K.; YADAV, R. S.; SINGH, R. H. Biomass production and carbon stock of poplar agroforestry systems in Yamunanagar and Saharanpur districts of northwestern India . **Current Science**. v. 100, p. 5 - 10. 2011.

SAEG, **Sistema para análises estatísticas**, versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes – UFV – Viçosa, 2007.

SAGE, R. F., MCKOWN, A. D. Is C₄ photosynthesis less phenotypically plastic than C₃ photosynthesis? **Journal of Experimental Botany**. v. 57, p. 303–317. 2006.

SANTANA, T. A. **Relações hídricas e assimilação de carbono em plantas jovens de *jatropha curcas* I. sob deficiência hídrica**. 60 f. 2012. Dissertação (Mestrado/Produção Vegetal) Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus – BA.

SCARIOT, A. O. **Biologia reprodutiva de *Acrocomia aculeata* (Jacquin) Loddiges ex Martius (Palmae) no Distrito Federal**. Brasília : UNB, 108 p. 1987.

SCHULZE, E. D.; BECK, E.; MÜLLER-HOHENSTEIN, K., **Plant ecology**. Berlin/Heidelberg: Springer. 702 p. 2005.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. M.; AMORIM NETO, M. S. **Análise de crescimento de comunidades vegetais.** (EMBRAPA-CNPA, Circular Técnica, 34) Campina Grande: 47 p. 2000.

SILVA, M. M. P., VASQUEZ, H. M., BRESSAN-SMITH, R., SILVA, J. F. C., ERBESDOBLER, E. D., ANDRADE JUNIOR, P. S. C. Eficiência fotoquímica de gramíneas forrageiras tropicais submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Zootecnia.** v. 35, n. 1, p. 67-74. 2006.

SHARROW, S. H.; ISMAIL, S. Carbon and nitrogen storage in agroforests, tree plantations, and pastures in western Oregon, USA. **Agroforestry Systems.** v. 60, p. 123–130. 2004.

SHREVE, N. R.; BRINK JUNIOR, B. A. J. **Indústria de Processos Químicos,** Guanabara: p. 615-637. 1997.

STEPHENSON, A. G. Flower and Fruit Abortion: Proximate Causes and Ultimate Functions. **Annual Review of Ecology and Systematics.** v. 12, p. 253-279. 1981.

STITT, M.; SCHULZE, E. D. Does Rubisco control the rate of photosynthesis and plant growth? An exercise in molecular ecophysiology. **Plant, Cell and Environment.** v. 17, p. 465–487. 1994.

SURESH, K.; NAGAMANI, C. Variations in photosynthetic rate and associated parameters with age of oil palm leaves under irrigation. **Photosynthetica.** v. 44, n. 2, p. 309-311. 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal.** 3 ed. Piracicaba, Artmed. 720 p. 2004.

THEVATHASAN, N. V., GORDON, A. M., SIMPSON, J. A., REYNOLDS, P. E., PRICE, G. W., ZHANG, P. Biophysical and ecological interactions in a temperate tree-based intercropping system. **Journal of Crop Improvement.** v. 12, p. 339–363. 2004.

TICKEL, J. **From the fryer to the fuel tank: the complete guide to using vegetable oil as an alternative fuel.** Tallahassee, FL: Tickel Energy Consulting. 155 p. 2000.

VERSLUES, P. E.; AGARWAL, M.; KATIYAR-AGARWAL, S.; ZHU, J.; ZHU, J. K. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. **The Plant Journal.** v. 45, p. 523–539. 2006.

WELLBURN, A. R. The spectral determination of chlorophylls *a* and *b*, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal Plant Physiology.** v. 144, p.307–3134, 1994.

WELLS, R.; MEREDITH JR., W. R.; WILLIFORD, J. R. Canopy photosynthesis and its relationship to plant productivity in near-isogenic cotton lines differing in leaf morphology. **Plant Physiology**. v. 82, p. 635-640. 1986.

WILSON, B. J. Shoot competition and root competition. **Journal of Applied Ecology**. v. 25, n. 2, p. 279-296. 1988.

YAMANE, K.; UETA, A.; SHIMAMOTO, Y., Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuel on injection. **The Fifth International Symposium on Diagnostics and Modeling of Combustion in Internal Combustion Engines**. Nagoya, p. 402-409. 2001.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Journal Plant Physiology**. p. 187–206. 2003.

ZANINE, A. M.; SANTOS, E. M. Competition among species of plants – a review. **Revista da FZVA**. v. 11, n. 1, p.10-30. 2004.

ZELITCH, I. The close relationship between net photosynthesis and crop yield. **BioScience**. v. 32, p. 796-802. 1982

CONCLUSÃO GERAL

Nas condições que foram desenvolvidas este estudo, pode-se concluir que a umidade do solo e o índice de área foliar não foram influenciados pelos espaçamentos de plantas juvenis de macaúba consorciadas ou não com braquiária, assim como, a passagem de radiação fotossinteticamente ativa para o sub-bosque. Mesmo ocorrendo variação da mesma, a disponibilidade de matéria seca da braquiária não foi afetada.

Em relação aos parâmetros de trocas gasosas, apesar da taxa fotossintética na estação seca ter decrescido em relação à estação chuvosa, os valores médios absolutos em ambas as épocas indicam que o processo assimilatório de CO₂ é contínuo e suficiente para manter o desenvolvimento e crescimento das plantas de macaúba, não sendo os mesmos influenciados pelos espaçamentos e o consórcio com braquiária, visto que as variações temporais observadas foram decorrentes da sazonalidade na disponibilidade dos recursos ambientais.

As variáveis de crescimento, biomassa, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado não foram afetadas negativamente devido aos espaçamentos, demonstrando crescimento contínuo, assim como, elevadas produção de biomassa, acúmulo de carbono e CO₂ assimilado ao longo dos quatro anos de idade das plantas de macaúba. Apesar das diferenças existentes nas variáveis estudadas em alguns espaçamentos em função da sazonalidade hídrica é possível verificar que isso não influenciou o desenvolvimento e crescimento das plantas.

Portanto é possível realizar o consórcio de plantas juvenis de macaúba com braquiária, uma vez que não foi observado efeitos negativos que possam restringir o crescimento e desenvolvimento dos dois componentes vegetais. A escolha do espaçamento para um plantio racional dependerá do objetivo da prática agrícola. Adicionalmente a implantação da macaúba em sistemas agroflorestais apresentou considerável potencial para o sequestro de carbono, tornando seu cultivo uma atividade ambientalmente sustentável.

APÊNDICES

Apêndice A. Quadro resumido da análise de variância para umidade do solo (kg kg^{-1}), índice de área foliar (IAF) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA) abaixo do dossel, na entre linha das plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos e sistemas de cultivo e épocas distintas de disponibilidade hídrica. Viçosa, MG.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		Umidade	IAF	RFA abaixo do dossel	RFA na entre linha
BLO	3	0,01424	2,149816	252537,2	296896,5
SIST	1	0,00081 ^{ns}	0,47502 ^{ns}	18957,82 ^{ns}	56,59507 ^{ns}
ERRO A	3	0,00084	0,12670	15293,50	7861,844
ESP	4	0,00046 ^{ns}	1,00231*	72785,82*	26222,61 ^{ns}
ESP*SIST	4	0,00070 ^{ns}	0,30787 ^{ns}	14147,87 ^{ns}	8637,580 ^{ns}
ERRO B	24	0,00102	0,28310	19791,99	39066,87
EPO	2	0,08162**	18,73877**	1814688**	2110025**
EPO*SIST	2	0,00155 ^{ns}	0,216060 ^{ns}	68,82970 ^{ns}	46489,49 ^{ns}
EPO*ESP	8	0,00048 ^{ns}	0,17010 ^{ns}	41907,51 ^{ns}	67858,45 ^{ns}
EPO*SIS*ESP	8	0,00013 ^{ns}	0,08557 ^{ns}	5049,314 ^{ns}	26785,33 ^{ns}
ERRO C	60	0,00073	0,21253	29380,51	43934,61

Legenda: ns = não significativo; * = significativa a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Média Geral (**Umidade**)= 0,19

CV (SIST) = 15,25%

CV (ESP) = 16,80%

CV (EPO) = 13,66%

Média Geral (**IAF**)= 1,98

CV (SIST) = 17,97%

CV (ESP) = %

CV (EPO) = 23,29%

Média Geral (**RFA abaixo**)= 551,45

CV (SIST) = 22,42%

CV (ESP) = 25,51%

CV (EPO) = 12,40%

Média Geral (**RFA entre linha**)= 1689,1

CV (SIST) = 5,24 %

CV (ESP) = 11,70 %

CV (EPO) = 31,08%

Apêndice B. Quadro resumido da análise de variância para disponibilidade de matéria seca (MS) de braquiária ($t\ ha^{-1}$), abaixo do dossel e na entre linhas das plantas juvenis de macaúba em função da disponibilidade hídrica (época seca e chuvosa). Viçosa, MG.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Peso seco da braquiária (abaixo do dossel)	Peso seco da braquiária (na entre linha)
BLO	3	4814209	6195626
ESP	4	3122957 ^{ns}	4670315 [*]
ERRO A	12	2798407	1462996
EPO	2	0,1377728E+09 ^{**}	0,7543058E+08 ^{**}
ESP*EPO	8	2611336 ^{ns}	1233307 ^{ns}
ERRO B	30	3408447	3127770

Legenda: ns = não significativo; * = significativa a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Média Geral (MS abaixo do dossel)= 4241,8	Média Geral (MS abaixo do dossel)= 3328,1
--	--

CV (ESP) = 39,43%
CV (EPO) = 43,52%

CV (ESP) = 36,23 %
CV (EPO) = 23,29%

Apêndice C. Quadro resumido da análise de variância para disponibilidade de matéria seca (MS) de braquiária ($t\ ha^{-1}$), comparando locais de avaliação (abaixo do dossel e na entre linhas) das plantas juvenis de macaúba. Viçosa, MG.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio
		Peso seco da braquiária ($t\ ha^{-1}$)
BLO	3	0,1011868E+08
LOCAIS	1	0,24408899E+08**
ERRO A	3	433826,3
ESP	4	5729326*
ESP*SIST	4	2063947 ^{ns}
ERRO B	24	2130701
EPO	2	0,2014230E+09**
EPO*SIST	2	0,1178032E+08** 0,00155*
EPO*ESP	8	2677556 ^{ns}
EPO*SIS*ESP	8	1167087 ^{ns}
ERRO C	60	3268109

Legenda: ns = não significativo; * = significativa a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Média Geral (peso seco braquiária) = 3750

CV (LOCAL) = 17,56 %

CV (ESP) = 38,92%

CV (EPO) = 47,69%

Apêndice D. Quadro resumido da análise de variância para taxa de assimilação líquida de carbono ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($gs - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentrações interna e ambiente de CO_2 (Ci/Ca), taxa transpiratória ($E \mu\text{mol mmol}^{-1}$) e eficiência do uso da água (EUA) em plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos e sistemas de cultivo e épocas disponibilidade hídrica. Viçosa, MG.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio				
		A	gs	Ci/Ca	E	EUA
BLO	3	2,7036	0,0168	0,00023	1,5255	3,5980
SIST	1	11,400 ^{ns}	0,3323 ^{ns}	0,00168 ^{ns}	0,5952 ^{ns}	0,2711 ^{ns}
ERRO A	3	4,3978	0,11606	0,00058	0,88637	0,6534
ESP	4	0,7503 ^{ns}	0,0176 ^{ns}	0,00035 ^{ns}	0,0745 ^{ns}	0,1161 ^{ns}
ESP*SIST	4	14,894 [*]	0,10602 ^{ns}	0,00016 ^{ns}	0,5330 ^{ns}	0,7190 ^{ns}
ERRO B	24	2,3826	0,05308	0,00080	0,59097	0,8424
EPO	1	464,34 ^{**}	0,7189 [*]	0,00975 [*]	8,3708 ^{**}	8,6011 [*]
EPO*SIST	1	6,1117 ^{ns}	0,0722 ^{ns}	0,00011 ^{ns}	0,6674 ^{ns}	0,0937 ^{ns}
EPO*ESP	4	1,5376 ^{ns}	0,0085 ^{ns}	0,00076 ^{ns}	0,0407 ^{ns}	0,0525 ^{ns}
EPO*SIS*ESP	4	2,6027 ^{ns}	0,0200 ^{ns}	0,00035 ^{ns}	0,2453 ^{ns}	0,7890 ^{ns}
ERRO C	30	3,2349	0,0522	0,00073	0,34530	0,4711

Legenda: ns = não significativo; * = significativa a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Média Geral (A)= 14,73	Média Geral (gs)= 0,68	Média Geral (Ci/Ca)= 0,74
CV (SIST) = 14,23%	CV (SIST) = 50,10 %	CV (SIST) = 3,26%
CV (ESP) = 10,48%	CV (ESP) = 33,88%	CV (ESP) = 3,82 %
CV (EPO) = 12,20%	CV (EPO) = 33,53%	CV (EPO) = 3,64%

Média Geral (E)= 3,69	Média Geral (EUA)= 4,08
CV (SIST) = 25,51%	CV (SIST) = 19,81%
CV (ESP) = 20,83%	CV (ESP) = 22,49%
CV (EPO) = 15,91%	CV (EPO) = 16,79%

Apêndice E. Quadro resumido da análise de variância para os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total (*Cl a+b*) e de carotenóides ($\mu\text{g mm}^{-2}$) em plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos e sistemas de cultivo e épocas disponibilidade hídrica. Viçosa, MG.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio			
		<i>Cl a</i>	<i>Cl b</i>	<i>Cl a+b</i>	Carotenóides
BLO	3	0,008726	0,00449	0,00799	0,00176
SIST	1	0,01224 ^{ns}	0,00443 [*]	0,03140 [*]	0,00011 ^{ns}
ERRO A	3	0,003821	0,00051	0,00662	0,00013
ESP	4	0,00636 ^{ns}	0,00563 ^{ns}	0,01748 ^{ns}	0,00154 [*]
ESP*SIST	4	0,00696 ^{ns}	0,00258 ^{ns}	0,00780 ^{ns}	0,00132 ^{ns}
ERRO B	24	0,00496	0,00215	0,01062	0,00557
EPO	1	0,02276 [*]	0,04216 [*]	0,00296 ^{ns}	0,06089 ^{**}
EPO*SIST	1	0,00119 ^{ns}	0,00641 ^{ns}	0,01312 ^{ns}	0,00010 ^{ns}
EPO*ESP	4	0,00468 ^{ns}	0,00445 ^{ns}	0,01662 ^{ns}	0,00073 ^{ns}
EPO*SIS*ESP	4	0,01077 ^{ns}	0,00318	0,01834 ^{ns}	0,00186 ^{ns}
ERRO C	30	0,00545	0,00378	0,01224	0,00091

Legenda: ns = não significativo; * = significativa a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Média Geral (***Cl a***)= 0,54
 CV (SIST) = 11,44%
 CV (ESP) = 13,04%
 CV (EPO) = 13,43%

Média Geral (***Cl b***)= 0,28
 CV (SIST) = 8,06%
 CV (ESP) = 16,56%
 CV (EPO) = 21,33%

Média Geral (***Cl a +b***)= 0,83
 CV (SIST) = 9,80%
 CV (ESP) = 12,41%
 CV (EPO) = 13,20%

Média Geral (**Carotenóides**) = 0,15
 CV (SIST) = 7,60%
 CV (ESP) = 49,75%
 CV (EPO) = 19,36%

Apêndice F. Quadro resumido da análise de variância para estimativa da fotossíntese do dossel (A_D - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos e épocas disponibilidade hídrica. Viçosa, MG.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio	
		A_D	
BLO	3	4,721492	
EPO	1	113,9640*	
ERRO A	3	19,97025	
ESP	4	10,21697 ^{ns}	
ESP*EPO	4	17,64145 ^{ns}	
RESÍDUO	24	9,266927	

Legenda: ns = não significativo; * = significativa a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Média Geral (A_D)= 14,98 CV (ESP) = 20,31% CV (EPO) = 29,83%

Apêndice G. Quadro resumido da análise de variância para altura (m) e de número de folhas em plantas juvenis de macaúba com diferentes idades, espaçamentos e sistemas de cultivo. Viçosa, MG.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio	
		Altura	nº de folhas
BLO	3	0,737570	2,315625
SIST	1	0,000906 ^{ns}	0,625000 ^{ns}
ERRO A	3	0,181115	1,386458
ESP	4	0,075202 ^{ns}	1,591515 ^{ns}
ESP*SIST	4	0,114725 ^{ns}	1,071723 ^{ns}
ERRO B	24	0,080422	1,090299
EPO (IDADE)	3	37,96686**	169,1396**
EPO*SIST	3	0,106557*	0,975000 ^{ns}
EPO*ESP	12	0,025096 ^{ns}	1,075456*
EPO*SIS*ESP	12	0,034218 ^{ns}	0,466427 ^{ns}
ERRO C	90	0,0294754	0,424739

Legenda: ns = não significativo; * = significativa a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Média Geral (**Altura**)= 1,67
 CV (SIST) = 25,48%
 CV (ESP) = 16,98%
 CV (EPO) = 10,27%

Média Geral (**nº de folhas**)= 7,67
 CV (SIST) = 15,35%
 CV (ESP) = 13,61%
 CV (EPO) = 8,49%

Apêndice H. Quadro resumido da análise de variância para biomassa aérea seca estimada ($t\ ha^{-1}$), carbono acumulado ($t\ ha^{-1}$) e CO_2 assimilado ($t\ ha^{-1}$) de plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos e idades. Viçosa, MG.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio		
		Biomassa	Carbono acumulado	CO_2 assimilado
BLO	3	0,5340734	0,110566	1,489210
ESP	4	46,13114**	9,550300**	128,6320**
ERRO A	12	0,389999	0,080739	1,087475
EPO (IDADE)	3	134,3995**	27,82405**	374,7594**
ESP*EPO	12	1,098028**	0,227319**	3,061740**
RESÍDUO	45	0,120868	0,025022	0,337030

Legenda: ns = não significativo; * = significativa a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Média Geral (Biomassa)= 8,60	Média Geral (Carbono acumulado)= 3,91
CV (ESP) = 7,26%	CV (ESP) = 79,03%
CV (EPO) = 4,04%	CV (EPO) = 4,64%

Média Geral (CO_2 assimilado)= 14,36
CV (ESP) = 78,97%
CV (EPO) = 4,64%

Apêndice I. Quadro resumido da análise de variância para biomassa aérea seca estimada ($t\ ha^{-1}$), carbono acumulado ($t\ ha^{-1}$) e CO_2 assimilado ($t\ ha^{-1}$) de plantas juvenis de macaúba em diferentes espaçamentos e disponibilidade hídrica (época seca e chuvosa). Viçosa, MG.

Fontes de Variação	GL	Quadrado Médio		
		Biomassa	Carbono acumulado	CO_2 assimilado
BLO	3	0,830610	0,171957	2,316074
ESP	4	41,74691**	8,642654**	116,407**
ERRO A	12	0,4336021	0,089766	1,209056
EPO	1	5,932099**	1,228093**	16,5410**
ESP*EPO	4	0,064523 ^{ns}	0,013357 ^{ns}	0,179916 ^{ns}
RESÍDUO	15	0,108498	0,022461	0,302536

Legenda: ns = não significativo; * = significativa a 5% de probabilidade; ** = significativo a 1% de probabilidade.

Média Geral (Biomassa)= 11,31	Média Geral (Carbono acumulado)= 5,15
CV (ESP) = 57,12%	CV (ESP) = 57,08%
CV (EPO) = 2,91%	CV (EPO) = 2,91 %

Média Geral (CO_2 assimilado)= 18,88
CV (ESP) =57,14%
CV (EPO) = 2,91 %