
ECOLOGIA

AMANDA NAVES BERALDO

**VERTICALIDADE FOLIAR E INTERCEPTAÇÃO
DE LUZ: EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO EM
BIOMASSA**



Rio Claro
2016

AMANDA NAVES BERALDO

VERTICALIDADE FOLIAR E INTERCEPTAÇÃO DE LUZ:
EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO EM BIOMASSA

Orientador: PROF. DR. GUSTAVO HABERMANN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de
Rio Claro, para obtenção do grau de Ecóloga

Rio Claro
2016

581.1 Beraldo, Amanda Naves
B482v Verticalidade foliar e interceptação de luz : eficiência de
conversão em biomassa / Amanda Naves Beraldo. - Rio
Claro, 2016
24 f. : il., figs., gráfs., tabs., fots.

Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade
Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Gustavo Habermann

1. Fisiologia vegetal. 2. Ângulo de inserção da folha. 3.
Arquitetura de copa. 4. Eficiência de uso da luz. 5. Eficiência
fotossintética. 6. Fotossíntese. I. Título.

*Aos meus pais, irmãos e marido,
pelo incentivo, suporte e motivação dados à minha vida.*

RESUMO

A captação e processamento da luz pelas plantas é pouco eficiente, visto que apenas 8% da luz é aproveitada. Um melhor aproveitamento da luz é observado em plantas com folhas verticais (paraheliotrópicas e/ou verticais estáticas) porque a luz incide nas faces adaxial e abaxial. Desta forma, a fotoinibição, o déficit hídrico, o aquecimento foliar, o excesso de irradiância e o auto sombreamento são minimizados. Todas essas respostas têm sido estudadas usando variáveis momentâneas (trocas gasosas e fluorescência da clorofila), porém pouco se conhece sobre os efeitos das diferentes disposições foliares na conversão de energia luminosa em biomassa. Testamos a hipótese de que a biomassa de plantas com folhas artificialmente dispostas na vertical é maior que naquelas em que as folhas são forçadas na horizontal. Cultivamos em vasos (50 L) 30 plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L. cv 'IACSP95-5000'), em que 10 plantas tiveram suas folhas mantidas na vertical, 10 mantidas na horizontal e 10 cresceram naturalmente (controle). Durante o cultivo, as folhas foram contadas a cada quinze dias. Após sete meses de cultivo, todas as plantas tiveram sua área foliar (AF, cm²) determinada, e seus diferentes órgãos (folhas, colmos, bainhas e raízes), foram separados e secos (60°C) até obtenção de massa seca constante (g). Os dados foram submetidos à análise de variância (one-way ANOVA) e as médias, comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 5\%$). Não houve diferença significativa na altura entre as plantas controle e as com folhas dispostas verticalmente; entretanto, a altura das plantas com folhas dispostas na horizontal foi inferior a ambos os tratamentos. A biomassa da parte aérea foi superior nas plantas com folhas dispostas verticalmente em relação aos outros tratamentos, resultando em 22,9% e 15% a mais de massa em relação às plantas com folhas dispostas na horizontal e às plantas controle, respectivamente. A AF das plantas com folhas na vertical foi cerca de 20,7% e 15,6% maior que as plantas com folhas na horizontal e que as controle, respectivamente. O aumento significativo tanto na produção de biomassa, quanto na área foliar causado pela disposição vertical das folhas corrobora nossa hipótese, indicando que a verticalidade foliar promove maior eficiência de uso da luz pelas plantas.

Palavras-chave: Ângulo de inserção da folha. Arquitetura de copa. Eficiência de uso da luz. Eficiência Fotossintética. Fotossíntese.

ABSTRACT

The light capture is a low efficiency process in plants, as they effectively use only 8% sunlight. A better distribution and penetration of sunlight within the plant canopy is observed in plants with vertical leaves (paraheliotropic and/or static vertical leaves) because light may be intercepted by both leaf surfaces (adaxial and abaxial sides). By doing so, photoinhibition, water deficit, leaf heating, irradiance excess, and auto-shading are minimized. These responses have been studied using momentary measured parameters (leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence), however little is known about the effects of different leaf angles on the conversion of sunlight into biomass. We have tested the hypothesis that the biomass production in plants with leaves artificially maintained at the vertical position is higher than those with leaves forced at the horizontal position. We used pots (50 L) to cultivate 30 sugar-cane plants (*Saccharum officinarum* L. cv. IACSP95-5000), of which ten had their leaves kept at the vertical position, ten had their leaves kept at the horizontal position and ten grew naturally (control). During cultivation, the leaves were counted every two weeks. After seven months, leaves area (AF, cm²) were determined and the distinct plant organs (Leaves, stems, sheaths and roots) were set apart and oven-dried (60°C) until obtaining constant dry mass (g). Data was submitted to a one-way analysis of variance (ANOVA), and mean results accompanied by the Tukey test ($\alpha = 5\%$). There was no significant difference in height between control plants and those with leaves arranged vertically; however, the height of the plants with leaves arranged horizontally was lower than both treatments. The aerial biomass was higher in plants with leaves arranged vertically in relation to other treatments, resulting in 22.9% and 15% more mass in relation to plants with leaves set to horizontally and control plants, respectively. The AF of plants with leaves in vertical was about 20.7% and 15.6% higher than plants with leaves horizontally and the control, respectively. The significant increase in biomass production and leaf area caused by the vertical arrangement of the leaves corroborates our hypothesis, indicating that leaf verticality promotes greater efficiency of use of light by plants.

Keywords: Angle of leaf insertion. Canopy architecture. The light use efficiency. Photosynthetic efficiency. Photosynthesis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	6
2. OBJETIVO.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
3.1 Material vegetal e condições experimentais.....	10
3.2 Estratégia experimental.....	12
3.3 Análise dos Resultados.....	14
4. RESULTADOS	15
5. DISCUSSÃO.....	20
6. CONCLUSÃO.....	22
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	23

1. INTRODUÇÃO

A luz solar fornece a energia (irradiância) necessária para a fotossíntese e crescimento das plantas, e estes processos variam em resposta à intensidade da luz incidente nas folhas (WALTERS, 2005), já que as mesmas são os órgãos especializados na captação e processamento da luz (LAWLOR, 2001).

Porém, cerca de 80% da luz interceptada pelas plantas é desperdiçada (MELIS, 2009). Dessa forma, maior eficiência de uso da luz poderia propiciar às plantas maior aproveitamento na transformação da irradiância em energia química (contida nas ligações entre átomos de esqueletos de carbono do metabolismo) e, portanto, maior produção de biomassa.

Como a atividade fotossintética está intimamente relacionada ao crescimento e produtividade das plantas (LONG et al., 2006), e a mesma possui baixa eficiência de aproveitamento de luz (MELIS, 2009) isso pode explicar o fato da máxima conversão da irradiância em biomassa ser de apenas 4,6% nas plantas C3 (ZHU et al., 2008) e 6% nas plantas C4 (ZHU et al., 2008).

Considerando o tamanho da folha e sua distribuição na parte aérea, a arquitetura de copa pode causar mudanças na incidência de luz e consequente alteração nas respostas fotossintéticas (LONG et al., 2006; MARCHIORI et al., 2010). O excesso de irradiância incidente sobre as folhas ativa mecanismos de fotoproteção (aumento de emissão de calor e fluorescência, extinção não fotoquímica da luz e fotorrespiração) até fotoinibição, que impedem maior eficiência fotoquímica (ZHU et al., 2008). Esse problema pode ser contornado com uma arquitetura da parte aérea que proporcione melhor distribuição da luz (LONG et al., 2006; ZHU et al., 2008). Assim, folhas com maior ângulo em relação ao solo (folhas na posição vertical) evitariam a saturação das respostas fotossintéticas, podendo melhorar em até 45% a eficiência fotossintética em relação a folhas dispostas na horizontal (ZHU et al., 2008).

Além disso, a verticalidade foliar pode reduzir o excesso de luz incidindo diretamente na face adaxial e permitir que a luz incidente sobre a face abaxial seja aproveitada, no caso de cloroplastos localizados nesta face (DELUCIA et al., 1991). Isso pode também minimizar a transpiração, sem comprometer a captação da energia luminosa (DELUCIA et al., 1991; SMITH et al., 1998).

Existe um fenômeno chamado heliotropismo foliar, em que as folhas de algumas plantas se movimentam de acordo com a posição dos raios solares

(DARWIN; DARWIN, 1898). Quando a folha se movimenta perpendicularmente aos raios solares, o movimento é chamado diaheliotropismo e quando segue orientação paralela aos raios solares, paraheliotropismo (DARWIN; DARWIN, 1898).

Os movimentos paraheliotrópicos podem ser causados por diversos fatores ambientais, como déficit hídrico (PASTENES et al., 2005), fotoinibição (BAWHEY; GRANT; GAO, 2003), aquecimento foliar e excesso de irradiância (BIELENBERG; MILLER; BERG, 2003). A menor interceptação de luz e reduzido superaquecimento foliar, proporcionado pelo paraheliotropismo, faz com que o desempenho fotoquímico seja maior em folhas paraheliotrópicas do que diaheliotrópicas de espécies leguminosas (CALDAS et al., 1997; ARENA; VITALE; DE SANTO, 2008).

Alguns estudos (ARENA; VITALE; DE SANTO, 2008) mostram que as folhas paraheliotrópicas evitam o excesso de luz, diminuem a temperatura da folha e a transpiração (E), melhorando a eficiência fotoquímica (oxidação da água nos tilacóides por unidade de luz - fótons). Esses autores mostraram que isso evita a fotoinibição (diminuição da eficiência fotoquímica) e, por causa disso, aumenta a condutância estomática (g_s) e a assimilação de CO_2 (A).

Existem ainda espécies de metabolismo fotossintético C_3 que apresentam folhas verticais estáticas (FALSTER; WESTOBY, 2003; FEISTLER; HABERMANN, 2012), que além de evitarem o excesso de luz, podem manter altos valores de A durante períodos com maior irradiância (meio-dia e verão), bem como proporcionar boa interceptação diária de luz solar quando o sol está em ângulos menores (manhã, tarde e inverno) (FALSTER; WESTOBY, 2003). Além disso, folhas verticais reduzem o auto sombreamento causado em folha horizontais, permitindo que maior irradiância alcance posições mais baixas do dossel, melhorando a distribuição da irradiância, por exemplo em plantas de cana-de-açúcar (MARCHIORI et al., 2010).

Estudo com planta de metabolismo C_3 sugere que a posição vertical estática da folha de um arbusto da vegetação do Cerrado não está relacionada com fotoproteção nesta espécie, mesmo quando sujeita a condições de seca (FEISTLER; HABERMANN, 2012). A exclusão do papel fotoprotetor nesta espécie pode levantar hipóteses alternativas para a verticalidade foliar: (i) folhas verticais promovem maior eficiência de uso da luz (FALSTER; WESTOBY, 2003) e (ii) folhas verticais promovem maior penetração de luz na copa (FEISTLER; HABERMANN, 2012).

Desta forma, parece haver uma relação entre o posicionamento vertical das folhas, a penetração de luz pela copa, a fotoproteção em folhas verticais e um melhor

aproveitamento da luz. Entretanto, a ideia de fotoproteção pela verticalidade foliar parece ser uma ideia quase universal (TAKAHASHI; BADGER, 2011).

Todos esses efeitos e respostas são estudados em variáveis momentâneas (trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e composições foliares de pigmentos), que têm pouca relação com o desempenho ecofisiológico vegetal (ACKERLY et al., 2000). O que pouco se conhece são os efeitos das diferentes disposições foliares na conversão de energia luminosa em biomassa. Assim, testamos a hipótese de que a produção de biomassa pelas plantas com as folhas dispostas verticalmente é maior do que naquelas com folhas dispostas horizontalmente, para que desta forma, programas de melhoramento genético e biotecnologia possam usar essas informações em prol de genótipos mais produtivos, sobretudo de plantas voltadas à produção de biomassa e bioenergia.

2. OBJETIVO

Testar a hipótese de que a produção de biomassa de plantas com as folhas dispostas verticalmente é maior do que daquelas plantas com folhas dispostas horizontalmente. Isso porque, além da disposição vertical evitar a fotoinibição, pode também conferir maior ganho fotossintético pela maior distribuição da irradiância diária na copa da planta.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material vegetal e condições experimentais

Foram utilizados 30 vasos de 50L de volume, com 30 cm de diâmetro e 60 cm de altura. Os vasos foram dispostos em local aberto, com distância de 1,7 m entre si (**Figura 1**). Como substrato, foi utilizado oxisolo e substrato orgânico (Tropostrato®) na proporção de 1:1 (v:v). O solo foi analisado pelo laboratório de Ciência do Solo da ESALQ, USP (Piracicaba, SP) para verificação dos parâmetros de fertilidade (**Tabela 1**). Após diagnóstico e cálculo da necessidade de calagem e adubação, o substrato já acondicionado aos vasos recebeu correção, com adição de 40,5g de calcário por vaso (**Tabela 2**).



Figura 1 – Detalhe da disposição dos vasos no local experimental

Tabela 1 - Parâmetros de fertilidade do solo utilizado para o plantio de cana-de-açúcar: pH, Fósforo (P), Enxofre (S), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio trocável (Al), Acidez potencial (H+Al), Soma de bases trocáveis (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Saturação da CTC por bases (V) e Saturação por Al (m), antes da correção.

Amostra de solo	pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
		--(mg.dm ⁻³)--		----- (mmolc.dm ⁻³)-----							-----(%)----	
Amostra 1	4,2	1	14	<0,2	<1	<1	<1	25	1,2	26,1	5	4
Amostra 2	4,3	1	19	<0,2	<1	<1	<1	22	1,2	23,6	5	4
Amostra 3	4,6	1	<4	<0,2	<1	<1	<1	8	1,2	9,0	13	4

Tabela 2 - Parâmetros de fertilidade do solo utilizado para o plantio de cana-de-açúcar: pH, Fósforo (P), Enxofre (S), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Alumínio trocável (Al), Acidez potencial (H+Al), Soma de bases trocáveis (SB), Capacidade de Troca de Cátions (CTC), Saturação da CTC por bases (V) e Saturação por Al (m), após a correção com adição de calcário.

Amostra de solo	pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
		--(mg.dm ⁻³)--		----- (mmolc.dm ⁻³)-----							-----(%)----	
Amostra 1	5,0	118	<4	7,4	170	65	<1	11	241,7	252,4	96	0

Após esta correção inicial do solo, foram plantados dois toletes (5 cm) de cana-de-açúcar cv. 'IACSP95-5000' em cada vaso, para que desta forma houvesse uma maior segurança em relação ao brotamento, tomando-se o devido cuidado de manter a gema axilar voltada para cima (**Figura 2**). Os toletes foram enterrados na horizontal, com uma profundidade de 5 ± 1 cm. Após o brotamento, no caso de os dois toletes terem sido germinados, foi feito a retirada de um deles aleatoriamente, deixando que apenas um em cada vaso continuasse a se desenvolver.



Figura 2 – Detalhes dos toletes de cana-de-açúcar e procedimento de plantio

3.2 Estratégia experimental

As plantas de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* cv. 'IAC-SP 95-5000') foram diariamente ajustadas na seguinte configuração: (1) dez plantas tiveram suas folhas mantidas na vertical por meio de um clip preso à sua extremidade. O clip foi amarrado a um fio de nylon® e preso verticalmente em fios de arame dispostos transversalmente acima dos vasos. (2) Dez plantas tiveram suas folhas mantidas na horizontal através de um clip preso à sua extremidade. O clip foi amarrado a um fio de nylon®, que por sua vez foi amarrado a blocos de madeira no chão, impedindo que as folhas ficassem eretas. (3) Dez plantas foram mantidas como controle, crescendo sem nenhum tipo de manipulação (**Figura 3**).



Figura 3 - Detalhe do experimento (após três meses de plantio) e das plantas com folhas dispostas na vertical (a esquerda, com um V em branco), horizontal (a direita, com um H em branco) e controle (ao fundo, com um C em branco).

A cada quinze dias foram medidas com trena as alturas (cm) de todas as plantas, do solo do vaso até o meristema apical caulinar. Nos mesmos dias que foram medidas as alturas das plantas, as mesmas tiveram suas folhas contabilizadas manualmente e anotadas em planilha.

Após sete meses de cultivo (210 dias), as plantas foram retiradas dos vasos e os diferentes órgãos (folhas, colmos, bainhas e raízes) foram separados, lavados, e todas as plantas tiveram sua área foliar (AF; cm^2) determinada por meio de um integrador de área foliar (LI-3100C, Area Meter; LI-COR, EUA) do Departamento de Botânica, da Unesp de Rio Claro. Depois, os diferentes órgãos foram acondicionados em sacos de papel e levados para secagem em estufa com circulação forçada de ar à 60°C , até a obtenção de massa (g) constante. Todas as amostras foram pesadas em balança de precisão, e desta forma foram obtidas a massa seca de folhas (MSF), colmos (MSC), bainhas (MSB) e raízes (MSR) para determinação da produção de massa seca da parte aérea (MSA), da massa seca total (MST) da planta e a porcentagem de distribuição da massa seca entre os diferentes órgãos.

3.3 Análise dos Resultados

Os dados de altura, quantidade de folhas, área foliar, massa seca dos diferentes órgãos (MSF, MSC, MSB e MSR), massa seca total (MST) e massa seca da parte aérea (MSA) foram analisados por meio de análise de variância (one-way ANOVA), e os resultados médios, acompanhados dos respectivos desvios padrões puderam ser comparados pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$).

4. RESULTADOS

Não houve diferença significativa entre as alturas das plantas com folhas dispostas na vertical e as plantas controle (sem manipulação). Entretanto, a altura das plantas com folhas dispostas na horizontal foi significativamente inferior à das plantas dos outros dois tratamentos ($p=0,004$ em relação às plantas controle e $p=0,0001$ em relação às verticais) (**Figura 4**).

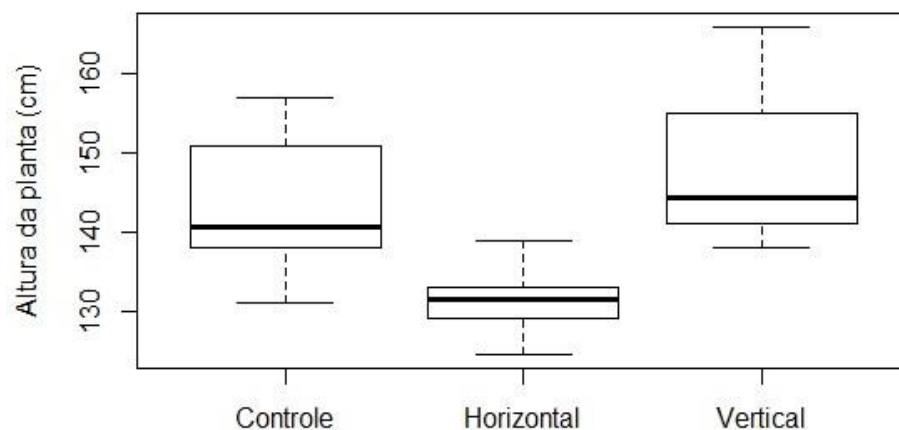


Figura 4 – Boxplots da altura (cm) das plantas controle, das plantas com folhas dispostas na horizontal e na vertical.

Os três tratamentos não apresentaram diferença em relação ao número de folhas (**Figura 5**). Por outro lado, a área foliar (AF) das plantas com folhas dispostas na vertical foi significativamente maior do que nos outros dois tratamentos ($p=0,01$ em relação às plantas controle e $p=0,001$ em relação às horizontais) (**Figura 6**), enquanto que entre as plantas controle e as com folhas dispostas na horizontal a AF foi semelhante.

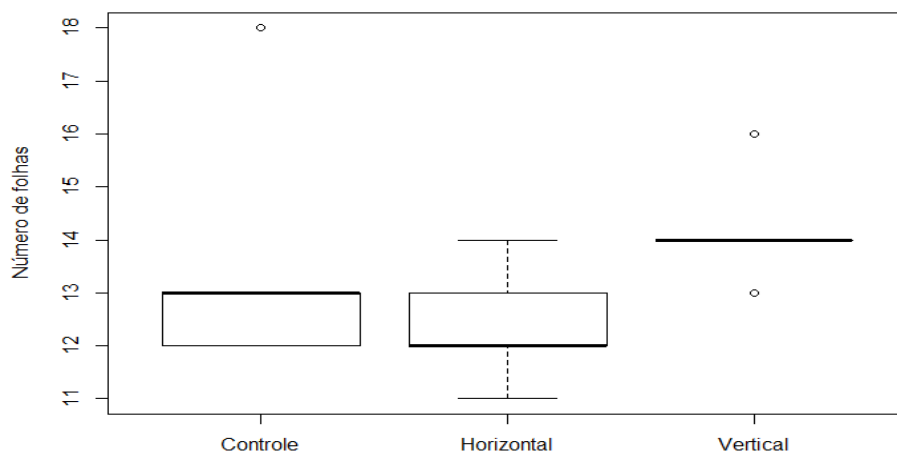


Figura 5 – Boxplots do número de folhas das plantas controle, das plantas com folhas dispostas na horizontal e na vertical.

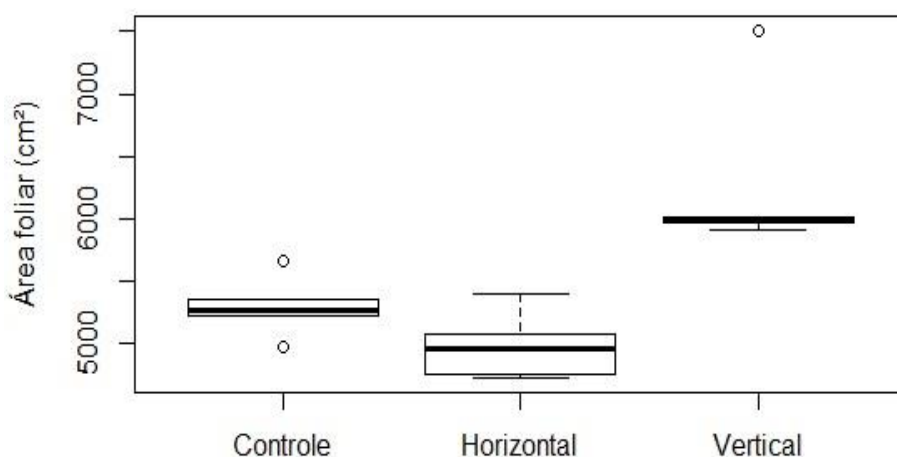


Figura 6 – Boxplots da área foliar (cm²) das plantas controle, das plantas com folhas dispostas na horizontal e na vertical.

As plantas com folhas dispostas na vertical apresentaram biomassa de órgãos significativamente maior em relação aos outros tratamentos, tanto na bainha ($p=0,002$ em relação às plantas controle e $p=0,006$ em relação às horizontais) (**Figura 7a**), como no colmo ($p=0,07$ em relação às plantas controle e $p=0,002$ em relação às horizontais) (**Figura 7b**) e nas folhas ($p=0,01$ em relação às plantas controle e $p=0,003$ em relação às horizontais) (**Figura 7c**); consequentemente, sua biomassa da parte aérea (**Figura 7d**) também foi maior. Não houve diferença entre os valores de biomassa das plantas controle e daquelas com folhas dispostas na horizontal em nenhum dos diferentes órgãos (bainha, colmo ou folhas).

Entre os três tratamentos, a biomassa de raiz foi estatisticamente igual (**Figura 7e**). Desta forma, ao se considerar a biomassa total (**Figura 7f**) (biomassa da parte

aérea mais a biomassa da raiz), não se observou diferença entre nenhum dos três tratamentos.

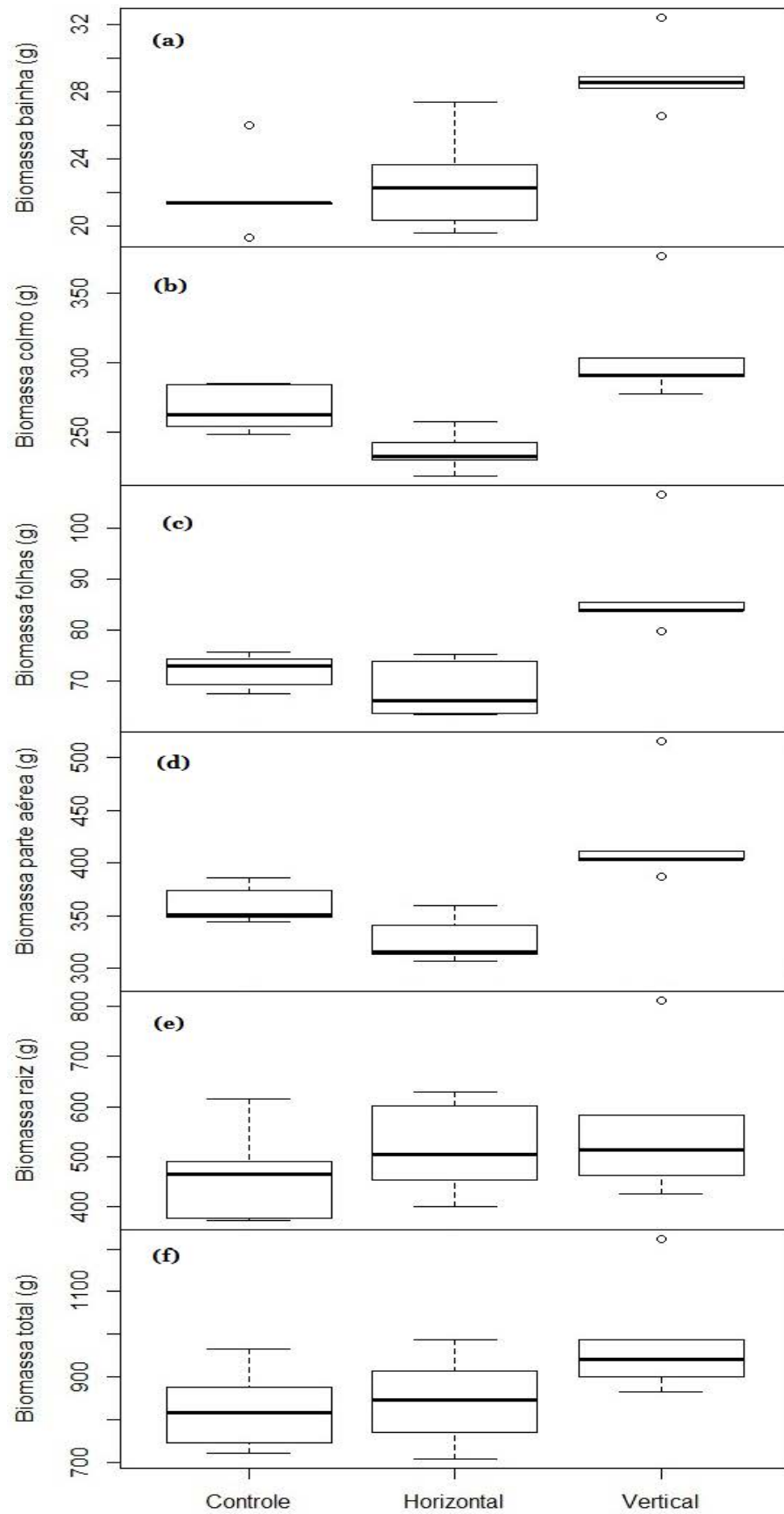


Figura 7 - Boxplots das biomassas de bainhas (a), colmos (b), folhas (c), parte aérea (d), raiz (e) e biomassa total (f) das plantas controle, das plantas com folhas dispostas na horizontal e na vertical.

A porcentagem de distribuição da massa seca entre os diferentes órgãos (**Figura 8**) foi semelhante para todas as plantas, independentemente de sua conformação (Controle, Horizontal ou Vertical). Em todas elas, a maior parte da biomassa se acumulou nos colmos, seguidos pelas folhas e, em menor proporção, nas bainhas.

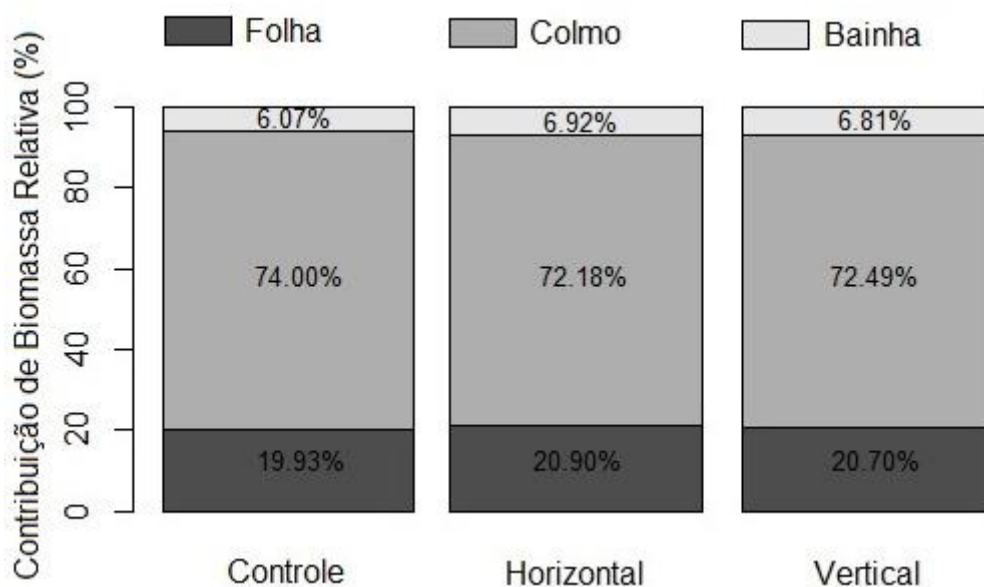


Figura 8 – Biomassa relativa (%) nos diferentes órgãos (Folhas, Colmos e Bainhas) das plantas controle, das plantas com folhas dispostas na horizontal e das plantas com folhas dispostas na vertical.

5. DISCUSSÃO

O menor crescimento em altura das plantas com folhas dispostas na horizontal em relação às plantas com folhas na vertical e às plantas controle indica que a disposição foliar vertical (seja pela manipulação ou pela natureza inerente ao genótipo) é vantajosa para o crescimento em altura das plantas. De fato, estudos mostram que a arquitetura de copa, incluindo o tamanho das folhas e sua disposição, pode causar mudanças na incidência de luz, proporcionando um maior crescimento em altura e taxa fotossintética nas plantas (MARCHIORI et al., 2010). Em uma situação de lavoura, com competição entre as plantas por luz e manutenção de copa interceptadora de luz, maior crescimento em altura pode impor maior benefício à comunidade de plantas, visto que pode promover alterações na interceptação de luz ao longo do eixo vertical da planta (LONG et al., 2006), aumentando a taxa fotossintética das folhas inferiores (MARCHIORI et al., 2010).

Uma vez que a medida de altura das plantas foi computada da superfície do solo até o meristema apical caulinar, seria de se esperar que os resultados fossem iguais para os três tratamentos, visto se tratar do mesmo genótipo (cv. 'IAC-SP 95-5000'). Portanto, nossos resultados só reforçam que as disposições das folhas não só influenciam a biomassa das plantas, mas também seu crescimento em altura, desta forma, podendo também influenciar na competição por luz.

A área foliar está intimamente relacionada ao potencial produtivo da planta (OLIVEIRA et al., 2007), visto que a folha é o órgão responsável por produzir a maior parte dos carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento vegetal. Desta forma, o fato de as plantas controle e as plantas com folhas dispostas horizontalmente não terem tido diferença entre suas áreas foliares, enquanto que as plantas com folhas dispostas verticalmente terem tido uma área foliar superior a ambos os tratamentos é um indício de que a verticalidade foliar tem potencial para promover extensão da área foliar e, conseqüentemente, maior produção de biomassa, visto que a área interceptadora de luz é essencial para a biossíntese de carboidratos (MARCHIORI et al., 2010). O fato de os três tratamentos terem emitido a mesma quantidade de folhas corrobora a hipótese pois mesmo tendo a mesma quantidade de folhas dos outros dois tratamentos, as plantas com folhas dispostas na vertical mostraram área foliar 26% maior que a das plantas com folhas dispostas na horizontal e 18,5% maior que a das plantas controle.

A diferença na produção de biomassa foi observada apenas na parte aérea das plantas, visto que as raízes dos três tratamentos tiveram a mesma biomassa ao final do experimento. Isto pode ter ocorrido devido as raízes terem ficado limitadas pelo volume dos vasos (efeito de vaso), não podendo crescer além. Em situação de lavoura, o resultado obtido poderia ser diferente.

Considerando-se apenas a parte aérea das plantas, as plantas com folhas dispostas na vertical produziram maior biomassa do que os outros dois tratamentos nos três diferentes órgãos (folhas, colmos e bainhas), resultando em 29,7% a mais de biomassa que as plantas com folhas dispostas na horizontal e 17,7% a mais de biomassa que as plantas controle. Por outro lado, as plantas com folhas dispostas na horizontal produziram 9,24% a menos de biomassa em relação às plantas controle (**Tabela 3**).

Tabela 3 - Porcentagem da biomassa (g) obtida após 210 dias de cultivo de cana-de-açúcar (cv. 'IAC-SP 95-5000') nas folhas, colmos, bainhas e a porcentagem de biomassa total da parte aérea nas plantas com folhas dispostas na vertical e horizontal, em relação às plantas controle, e nas plantas com folhas dispostas na vertical em relação às horizontais.

	Folha	Colmo	Bainha	Total Parte Aérea
Vertical em relação a Controle	22,23%	15,33%	32,24%	17,72%
Horizontal em relação a Controle	-4,82%	-11,47%	3,44%	-9,24%
Vertical em relação a Horizontal	28,44%	30,28%	27,68%	29,72%

6. CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos, podemos inferir que a verticalidade foliar não só influencia no crescimento das plantas como também promove maior eficiência de uso da luz com consequente aumento na produção de biomassa. Contudo, devemos reconhecer que o presente experimento foi conduzido com espaçamento entre plantas muito amplo (**Figura 1**), diferindo significativamente de uma condição de lavoura de cana-de-açúcar. Logo, recomenda-se que nossa hipótese seja testada sob espaçamento usual para esta cultura, respeitando condições de cultivo comercial.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERLY, D.D. et al. **The evolution of plant ecophysiological traits: recent advances and future directions**. BioScience, v.50, p.979-995, 2000.

ARENA, C.; VITALE, L.; DE SANTO, A.V. **Paraheliotropism in Robinia pseudocacia L.: an efficient strategy to optimise photosynthetic performance under natural environmental conditions**. Plant Biology, v.10, p.194-201, 2008.

BAWHEY, C.; GRANT, R.H.; GAO, W. **Digital measurement of heliotropic leaf response in soybean cultivars and leaf exposure to solar UVB radiation**. Agricultural and Forest Meteorology, v.120, p.161-175, 2003.

BIELENBERG, D.G.; MILLER, J.D.; BERG, V.S. **Paraheliotropism in two Phaseolus species: combined effects of photon flux density and pulvinus temperature, and consequences for leaf gas exchange**. Environmental and Experimental Botany, v.49, p.95-105, 2003.

CALDAS, L.S. et al. **Leaf heliotropism in Pterodon pubescens, a woody legume from the Brazilian Cerrado**. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v. 9, p.1-7, 1997.

DARWIN, C.; DARWIN, F. **The power of movement in plants**. New York: D. Appleton and company, 1898. 567p.

DELUCIA, E.H. et al. **Photosynthetic symmetry of sun and shade leaves of different orientations**. Oecologia, v. 87, p. 51-57, 1991.

FALSTER, D.S.; WESTEROBY, M. **Plant height and evolutionary games**. Trends in Ecology & Evolution, v.18, p.337-343, 2003.

FEISTLER, A.M.; HABERMANN, G. **Assessing the role of vertical leaves within the photosynthetic function of Styax camporum under drought conditions**. Photosynthetica, v.50, p.613-622, 2012.

LAWLOR, D.W. **Light harvesting and energy capture in photosynthesis**. Photosynthesis, v.3, p.31-52, 2001.

LONG, S.P. et al. **Can improvement in photosynthesis increase crop yields?**. Plant, Cell and Environment v.29, p. 315-330, 2006.

MARCHIORI, P.E.R. et al. **Plant growth, canopy photosynthesis and light availability in three sugarcane varieties**. Sugar Tech, v. 12, p.160-166, 2010.

MELIS, A. **Solar energy conversion efficiencies in photosynthesis: Minimizing the chlorophyll antennae to maximize efficiency**. Plant Science, v.177, p.272-280, 2009.

OLIVEIRA, R. A. et al. **Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa.** Agricultural Research in the Tropics, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

PASTENES, C.; PIMENTEL, P.; LILLO, J. **Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans.** Journal of Experimental Botany, v.56, p.425-433, 2005.

SMITH, W.K.; BELL, D.T.; SHEPHERD, K.A. **Associations between leaf structure, orientation and sunlight exposure in five western Australian Communities.** American Journal of Botany, v. 85, p.56-63, 1998.

TAKAHASHI, S.; BADGER, M.R. **Photoprotection in plants: a new light on photosystem II damage.** Trends in Plant Science, v.16, p.53-60, 2011.

WALTERS, R.G. **Towards an understanding of photosynthetic acclimation.** Journal of Experimental Botany, v. 56, p.435-447, 2005.

ZHU, X.G.; LONG, S.P.; ORT, D.R. **What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?** Current Opinion in Biotechnology, v. 19, p.153-159, 2008.