

MARIANA BONACELLI MONTELATTO

**CRESCIMENTO DE *Bambusa vulgaris* EM PLANTIO ADENSADO A PARTIR DE
ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS**

Botucatu

2019

MARIANA BONACELLI MONTELATTO

**CRESCIMENTO DE *Bambusa vulgaris* EM PLANTIO ADENSADO A PARTIR DE
ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestra em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Saulo Philipe S. Guerra

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva

Botucatu

2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M776c	Montelatto, Mariana Bonacelli, 1989- Crescimento de <i>Bambusa vulgaris</i> em plantio adensado a partir de índices morfofisiológicos / Mariana Bonacelli Montelatto. - Botucatu: [s.n.], 2019 69 p.: fots. color., grafs., tabs. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2019 Orientador: Saulo Philipe S. Guerra Coorientador: Marcelo de Almeida Silva Inclui bibliografia 1. Bambu - Crescimento. 2. Bambu - Espaçamento. 3. Biomassa vegetal. 4. Ecofisiologia vegetal. 5. Alometria. I. Guerra, Saulo Philipe S. II. Silva, Marcelo de Almeida. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.
-------	--

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: “CRESCIMENTO DE *Bambusa vulgaris* EM PLANTIO ADENSADO A PARTIR DE ÍNDICES MORFOFISIOLÓGICOS”

AUTORA: MARIANA BONACELLI MONTELATTO
ORIENTADOR: SAULO PHILIFE SEBASTIÃO GUERRA
COORIENTADOR: MARCELO DE ALMEIDA SILVA

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. MARCELO DE ALMEIDA SILVA
Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Prof.ª Dr.ª CARMEN SILVIA FERNANDES BOARO
Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP


Prof. Dr. OTÁVIO CAMARGO CAMPOE
Agricultura, Biodiversidade e Florestas / Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Curitibanos

Botucatu, 24 de janeiro de 2019.

*Aos meus pais,
por todo amor e suporte incondicional,
dedico.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Maria Cecília e Almir, que mesmo diante de toda e qualquer dificuldade, foram os primeiros que me apoiaram a realizar esse mestrado. Aos meus irmãos, Rodolfo e Marcelo, por toda a ajuda, risadas, brigas, comemorações e companheirismo, principalmente, nesses últimos dois anos. A vocês quatro, obrigada por serem sinônimos de garra e perseverança.

Aproveito também para agradecer a Letícia Montelatto, Thiago Lima e a Rafaela Gasparotto por tirarem um fim de semana para virem a Botucatu medir folhas de bambu. Isso não tem preço, obrigada!

Ao meu orientador Prof. Dr. Saulo Philipe Sebastião Guerra e ao meu co-orientador Prof. Dr. Marcelo de Almeida Silva por toda a paciência e orientação para que esse projeto fosse concluído.

Ao Prof. Dr. Juliano Carlos Calonego por me ceder um espaço em seu laboratório para que eu utilizasse o medidor de área foliar. A Profa. Dra. Maria Márcia Sartori pelo auxílio nas análises estatísticas, estando disponível sempre que precisei. E aos Professores Doutores Carmen Silvia Boaro, Luciano Barbosa e Otávio Campoe pelas considerações e contribuições a esse estudo.

Agradeço ao grupo LABB - Laboratório Agroflorestral de Biomassa e Bioenergia - pelo acolhimento, parceria, por toda a estrutura disponível para que as avaliações ocorressem e pelos mutirões de medição de folhas. Agradeço também por todos os momentos de descontração aos finais de tarde.

O meu mais profundo agradecimento às minhas amigas Gabriela Villamagua Vergara e Carla Brito que, além de me receberem de braços abertos em Botucatu, foram parte fundamental para a conclusão desse projeto. Gabi e Carlinha, sem vocês tudo isso não seria possível, gratidão a vocês sempre!

A Fabiana Castanho e ao Breno Kawakami que foram os melhores estagiários que alguém poderia ter. Obrigada por toda a ajuda e por terem tanta dedicação, pessoal! Torço muito por vocês!

Ao Breno Kennedy e ao Felipe Giroto que sempre estiveram disponíveis para tirar dúvidas e me ajudar. Muito obrigada! Vocês agregaram muito a essa dissertação.

Aos meus amigos de todas as horas Daniel Oliveira, Diana Villota, Maurício Silva, Emanuel Spadim, Dany Caldeira, Joyce Cortes e, novamente, Gabriela Villamagua Vergara e Carla Brito, agradeço, imensamente, o companheirismo, a ajuda e a amizade. Vocês fizeram dos meus dias em Botucatu muito mais felizes.

Agradeço a República Toma Conta por ser minha base em Botucatu e à velha guarda, principalmente Maristella Carpaneti, Izabela Carvalho e Fernanda Franzotti,

pela irmandade de sempre e por serem compreensivas com minha ausência em alguns momentos.

Agradeço ao meu namorado, André Sewell Butolo, que mesmo chegando ao final de todo esse processo, soube ser companheiro, me dar incentivo, respeito e espaço para a conclusão dessa dissertação. Obrigada por tudo, sempre!

A Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP – Campus de Botucatu, pela estrutura e ensino, aos docentes e, especialmente, aos funcionários do Departamento de Economia, Sociologia e Tecnologia, Departamento de Produção e melhoramento Vegetal, da Biblioteca e da Seção de Pós-Graduação. Ao Programa Energia na Agricultura e ao coordenador do programa, Prof. Dr. Marco Biaggione.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

Com o aumento da demanda por fontes de energia renováveis, a biomassa vegetal tem ganhado cada vez mais visibilidade no cenário mundial como fonte de energia limpa e renovável. A fonte de biomassa mais utilizada no Brasil é o eucalipto, entretanto, o bambu, com seu rápido crescimento, apresenta-se como uma potencial opção à utilização do eucalipto. Estudos evidenciam seu potencial energético, vezes similares ou até maiores que os encontrados para o eucalipto, entretanto ainda há pouca informação na literatura. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi de obter modelos para a estimativa da área foliar (AF) do *Bambusa vulgaris*, índice ecofisiológico fundamental para estudos de produtividade; e realizar sua análise de crescimento, para entender seu desenvolvimento, ambos durante o segundo ano após o plantio, em um sistema florestal de curta rotação (SFCR). Em cada avaliação era realizado inventário florestal para seleção de uma touceira representativa com a população naquele momento. Feito isso, uma touceira de *B. vulgaris* era cortada e caracterizados um colmo jovem, intermediário e velho. Da massa vegetal verde foi obtida a massa seca total. Paralelamente, um quarto de folhas de cada colmo caracterizado foi separado para o estudo da área foliar. Foram obtidos altura (A), diâmetro a altura do peito (D) dos colmos, comprimento (C) e largura (L) da folha e número de colmos da touceira (N), baseado nisso foram gerados modelos lineares múltiplos individuais e para as avaliações agrupadas. Independente do modelo gerado, os coeficientes de determinação ajustados foram superiores a 60%. As equações geradas apenas com as variáveis C e L são as mais recomendadas. O índice de área foliar (IAF) médio em *B. vulgaris* foi igual a $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. Sobre a análise de crescimento o *B. vulgaris* evidenciou seu rápido crescimento pela taxa de assimilação líquida (TAL) e taxa de crescimento relativo (TCR), assim como sua relação direta com a precipitação, uma vez que AF e IAF tiveram desenvolvimento proporcional com essa variável. Esse estudo poderá ser referência para os estudos posteriores sobre esse assunto, uma vez que é o primeiro a trazer esse tipo de informações sobre a ecofisiologia do *Bambusa vulgaris*.

Palavras-chaves: Modelos de regressão linear, área foliar, índice de área foliar, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida.

ABSTRACT

The biomass has gained more and more visibility in the world as clean energy in the last few years, and, therefore the renewable energy sources demands. Eucalyptus trees is the more used source in Brazil for bioenergy, however, bamboo shows a big potential in biomass production turn into an option to eucalyptus or any other forest source. Some studies evidence bamboo energetic potential, sometimes similar or even bigger than eucalyptus. In the other hand is still rare to find any kind of study about this specie, specially about their ecophysiology. The aim of this study was to obtain models to estimate *Bambusa vulgaris* leaf area (LA), an important index to productivity studies, as well as, conduce a growth analysis to understand their development, both during the second year after planting, in a short rotation coppice (SRC) with bioenergetic aim. On each evaluation, it was done a forest inventory to select a representative clump of *B. vulgaris* to that moment. The selected one was cut and the stems were characterized as young, intermediate and old. From the fresh matter was obtained the total dry matter. At the same time, a quarter of leaves from each characterized stem were separate to leaf area study. It was evaluated in the stems the height (H), diameter at breath high (D) of stem, length (L) and width (W) of leaves and number of clump's stems (N), based on it was generate the linear multiples models to each evaluation and grouped ones as well. All generated models, individual or grouped evaluation, had coefficient of determination adjusted (R^2 adjusted) higher than 60%. The models with only L and W are the most indicated one. The average leaf area index (LAI) was $3 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. About the growth analysis, it was evident the *B.vulgaris* fast-growing observing net assimilation rate (NAR) and relative growth rate (RGR), as well as your direct relationship with rainfall, once LA as LAI had a proportional development with this variable. This way, this study can be a reference to other studies about this subject, once it is the first study to bring this kind of information about *Bambusa vulgaris* or bamboos in general.

Key-words: Regression linear models, leaf area, leaf area index, relative growth rate, net assimilation rate.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
REVISÃO DE LITERATURA	17
Bambusoideae: <i>Bambusa vulgaris</i>	17
Área foliar e índice de área foliar	18
Análise de crescimento de plantas	20
CAPÍTULO 1: Estimativa da área foliar de <i>Bambusa Vulgaris</i> a partir de modelos lineares	22
1.1 INTRODUÇÃO	23
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	25
1.2.1 Descrição da área de estudo	25
1.2.2 Variáveis avaliadas	26
1.2.3 Ajuste de modelo para estimativa da AF	28
1.2.4 Análise entre datas de amostragem	29
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
1.4 CONCLUSÕES	40
1.5 REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO 2: Análise de crescimento de <i>Bambusa Vulgaris</i> em um sistema florestal de curta rotação	43
2.1 INTRODUÇÃO	44
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	46
2.2.1 Descrição da área de estudo	46
2.2.2 Variáveis avaliadas	47
2.2.3 Análise de crescimento	48
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
2.4 CONCLUSÕES	60
2.5 REFERÊNCIAS	60
CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	65

INTRODUÇÃO GERAL

Com o aumento da população e da demanda cada vez maior por fontes de energia renováveis, a biomassa tem apresentado mais expressão no cenário mundial como fonte de energia limpa e renovável (SOARES et al., 2006), podendo ser convertida em outras formas como: elétrica, calor e combustível (SZARKA et al., 2016), sendo responsável atualmente por 15% do consumo de energia primária no mundo (VHATHVAROTHAI et al., 2014).

No Brasil, a matriz energética é fundamentada no uso de energias renováveis, sendo a hidráulica a principal fonte, responsável por 46% da geração de energia elétrica (VICHI & MANSOR, 2009), entretanto, de acordo com a EPE (2016), pelo quarto ano consecutivo, houve um decréscimo de energia hidráulica, sendo de 3,2% de 2014 para 2015, tornando vulnerável a geração de energia elétrica a partir do recurso hídrico, especialmente em períodos de estiagem. Neste contexto, uma ampliação da diversificação de fontes alternativas para a geração de energia é imprescindível. Projeta-se que para 2030 quatro fontes serão necessárias para satisfazer 77% do consumo energético brasileiro: 30% de petróleo, 18% de biomassa, 16% de gás natural e 13% de energia hidráulica (TOLMASQUIM et al., 2007). De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2016, houve um consumo de 25% de biomassa para geração de bioenergia, sendo 17% derivada da cana-de-açúcar e 8% do eucalipto.

Segundo IBÁ (2016), 72% das florestas plantadas no Brasil são de eucalipto, resultando em 7,74 milhões de hectares. Desse número, 17% são destinados ao plantio de florestas de curta rotação para geração de energia, de onde são derivados lenha, cavaco e resíduos florestais no geral que abastecem, por exemplo, comércios com forno a lenha e indústrias (GUERRA et al., 2014).

As florestas de curta rotação têm o objetivo de produzir biomassa em menores áreas e ciclos de corte (ANSELMO FILHO & BADR, 2004; GARCIA et al., 2016), são plantios com maior densidade populacional, ou seja, menor espaçamento entre plantas que competem entre si precocemente, tendo maior número de biomassa por área em menor tempo (ELOY et al., 2015).

No Brasil, além do eucalipto, culturas agrícolas como a cana-de-açúcar, são as principais fontes de bioenergia (GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2012; SOARES et al., 2015). Entretanto, outras fontes de biomassa com potencial para geração de bioenergia vêm sendo estudadas, como, por exemplo, resíduos agroflorestais e gramíneas (SANTOS et al., 2016).

Nesse mesmo panorama encontra-se o bambu que possui elevada taxa de crescimento e produção acelerada de biomassa (SCURLOCK et al., 2000). Visto sua gama de opções para utilização, no Brasil é pouco explorado. No Nordeste brasileiro, nos estados do Maranhão, Paraíba e Pernambuco, encontra-se o maior plantio comercial de bambu no Brasil, aproximadamente 110 km² de *Bambusa vulgaris*, produzindo 86 000 Mg de fibra por ano, destinadas à produção de celulose e papel, sendo essa a maior utilização do bambu como matéria prima no país (ANSELMO FILHO & BADR, 2004; GUIMARAES et al., 2010; PROTÁSSIO et al., 2013).

Além disso, alguns estudos já realizados evidenciam que espécies de bambu apresentam características energéticas similares ou superiores ao do eucalipto, indicando seu potencial como fonte de energia (BRITO et al. 1987; SCURLOCK et al., 2000; VARANDA et al., 2010; MOREIRA, 2012, SANTOS et al., 2016).

Apesar dos resultados estarem crescendo em torno do bambu, poucos são os estudos existentes na área de produção de biomassa para bioenergia. De acordo com ANSELMO FILHO & BADR (2004), a primeira rotação do bambu ocorre aos três anos após o plantio e as seguintes, no intervalo de dois em dois anos. Sendo assim, há necessidade de pesquisas que estudem sua rotação completa em relação a espécies de maior valor econômico, como eucalipto. A falta de estudos dificulta a obtenção de dados morfológicos e fisiológicos, sendo, portanto necessário o preenchimento de uma lacuna de informações em torno da cultura, de extrema importância para análises e modelagem de crescimento e produtividade dos plantios (LANDSBERG, 2003).

Visto que 90% de toda a massa seca acumulada resultam da fotossíntese, torna-se importante o estudo dos índices morfofisiológicos como a área foliar, índice de área foliar e taxa de assimilação líquida. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi avaliar o crescimento do *Bambusa vulgaris* a partir de dados morfológicos e fisiológicos visando: a) determinar modelos para estimar a área

foliar do bambu; b) avaliar o desenvolvimento e a produção de biomassa a partir da análise de crescimento.

REVISÃO DE LITERATURA

Bambusoideae: *Bambusa vulgaris*

Os bambus pertencem taxonomicamente à subfamília Bambusoideae, família Poaceae, denominados de “gramíneas lenhosas”, por possuírem hábitos arborescentes. Segundo a FAO (2007), pertencem à classificação de “produtos florestais não-madeireiros”, dessa forma, são considerados espécies florestais.

São plantas C₄, ou seja, a assimilação do CO₂ resulta em um composto de quatro carbonos, tornando esse tipo de plantas mais eficientes na fotossíntese. Também possuem vantagens em ambientes com alta temperatura e luminosidade o que aumenta sua produtividade em relação a plantas C₃ (MACEDO, 2015).

Sendo assim, o bambu, apresenta características vantajosas em relação a algumas espécies madeireiras no que se refere à captura e fixação de carbono atmosférico devido sua alta absorção de carbono e rápido crescimento (DELGADO, 2011).

Florestas naturais de bambu e plantios cobrem uma área de 22 milhões de hectares em todo o mundo, com mais de 1200 espécies, 80% dessas espécies encontram-se na Ásia, mais precisamente na China, Índia e Myanmar. No Brasil existem 34 gêneros de bambus, com 232 espécies nativas, sendo 18 desses gêneros considerados lenhosos, que crescem até uma altura de 35 m, apresentando cerca de 160 espécies (FILGUEIRAS & GONÇALVES, 2004; GUIMARÃES et al., 2010).

De acordo com SEVALIA (2013), os bambus são o recurso natural de mais rápido crescimento. Nos primeiros 30 dias após o plantio, algumas espécies crescem de 4 a 6 cm de altura em um dia, esse número crescendo após 90 dias, em média entre 9 e 11 cm por dia (GARCÍA et al., 2009). Estudos realizados por

AZZINI et al. (1989), verificam na espécie *Dendrocalamus giganteus* crescimento diário médio igual a 22 cm. De acordo com SILVA et al. (2011), em touceiras estabelecidas de *Bambusa vulgaris*, novos brotos crescem em média 17 cm por dia. Devido ao rápido crescimento e abundância em folhas, o bambu retorna ao solo aporte de biomassa média de 30 a 35 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, o que representa 10 a 14% de sua biomassa total (GARCÍA et al., 2009).

No gênero *Bambusa* spp., uma das espécies com maior importância econômica é o *Bambusa vulgaris*, originado da Ásia, é a espécie mais plantada comercialmente no Brasil, destinada à produção de celulose e papel e também para a produção de carvão (GUIMARÃES et al., 2010; GRECO & CROMBERG, 2011; GUARNETTI, 2013). Estudos relacionados ao seu potencial energético, BRITO et al. (1987) evidenciam que *B. vulgaris* apresenta poder calorífico similar ao do *Eucalyptus urophylla*. Desde então, foram poucos os estudos avaliando características energéticas do *B. vulgaris* e todos mostram o potencial da espécie para a geração de energia (SCURLOCK et al., 2000; VARANDA et al., 2010; MOREIRA, 2012; SANTOS et al., 2016).

Área foliar e índice de área foliar

O desenvolvimento da área foliar (AF) permite a interceptação da luz, que é utilizada como energia e transformada em biomassa por meio da fotossíntese, portanto a AF está diretamente relacionada com o crescimento da planta (LINHARES et al., 2000; VILLA NOVA et al., 2003; XAVIER & VETTORAZZI, 2003).

Para a estimativa da AF é necessária definição de variáveis e coeficientes que podem ser obtidos por métodos diretos ou indiretos, destrutivos ou não destrutivos à planta. São exemplos: medidas da lâmina foliar na planta, coleta destrutiva de folhas ou a utilização de medidor portátil de área foliar, sem ter a necessidade de destacar folhas, obtendo valor de AF indiretamente (BENINCASA, 2003).

Para facilitar o cálculo da AF são desenvolvidas equações alométricas a partir de variáveis morfológicas e fisiológicas, obtendo AF por método indireto,

sendo uma função empírica baseada, geralmente, em uma ou duas variáveis por meio de análises de regressão (SOLTANI et al., 2006; RÜGNITZ et al., 2009; SOLTANI & SINCLAIR, 2012).

No geral, os métodos diretos apresentam grande exatidão, entretanto, são extremamente trabalhosos para a execução da coleta de dados. Por conta disso, são frequentemente utilizados como ferramenta de calibração para os métodos indiretos (OLIVAS et al., 2013).

A partir da área foliar podemos obter o Índice de Área Foliar (IAF) que expressa a área foliar útil da planta, relacionando a área foliar total (m^2 de folha) e a área sombreada pelas folhas (m^2 de solo) (BENINCASA, 2003). O IAF é um parâmetro chave envolvido em muitos processos como luz e chuva interceptadas, transpiração, fotossíntese e respiração (SOARES-FILHO et al., 2006; MAIRE et al., 2011; RYU et al., 2012; ALMEIDA et al., 2015).

O IAF é um índice essencial para a parametrização de modelos 3PG (*Physiological Principles Predicting Growth*) que quantificam carbono, água e fluxos de energia na planta estimando sua produtividade, seja agrícola ou florestal (STAPE et al., 2004; MAIRE et al., 2010; LANDSBERG & SANDS, 2011). Segundo PEIXOTO et al. (2010), o baixo IAF limita a produção vegetal, visto que quanto maior o IAF, maior a interceptação da radiação e conseqüentemente maior conversão em biomassa por (FANG & LIANG, 2008; CARON et al., 2012; SANQUETTA et al., 2014).

Entretanto, MESQUITA et al. (2014) citam que geralmente é possível encontrar o IAF ótimo da cultura, que permite o máximo de fotossíntese e, assim, elevada taxa de crescimento. Citam ainda que o IAF ótimo ocorre, geralmente, nos primeiros estágios de crescimento da cultura, antes do auto-sombreamento começar a ocorrer, diminuindo a taxa fotossintética.

O IAF também pode ser obtido por método direto ou indireto, destrutivo ou não destrutivo. Na área florestal é comum, atualmente, a utilização de equipamentos que avaliam o dossel da floresta, como o AccuPAR LP-80 e o LAI-2000, aparelhos portáteis que medem o ambiente de radiação interceptada pelo dossel, gerando indiretamente o valor de IAF (CAMPOE, 2008).

Existem pesquisas sobre IAF em espécies de gêneros de bambu, como por exemplo, *Phyllostachys* spp., que apresenta IAF igual $7,20 \pm 1,70 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, conhecido por apresentar elevada produtividade anual de biomassa em regiões temperadas. Essa espécie, *Phyllostachys humilis* pode ser cultivada na Europa, mas ainda não se sabe como é seu comportamento em outros ambientes (GOETHEM et al., 2013), entretanto, no geral, informações sobre AF e IAF em bambu são escassas.

Análise de crescimento de plantas

A metodologia da análise de crescimento descreve, quantitativamente, condições morfofisiológicas da planta ao longo do tempo, estudando intervalos de tempo. Acompanha a produção fotossintética avaliando o acúmulo de matéria seca, ou seja, é a medida sequencial do acúmulo de matéria orgânica e a sua determinação é realizada considerando a massa seca da planta e também a área foliar, que também é calculada (BENINCASA, 2003). Pode ser utilizada para investigar a adaptação ecológica a novos ambientes, condições de estresse e o potencial produtivo das culturas em condições ótimas (DUARTE, 2009; SØNSTEBY et al., 2016).

A análise de crescimento permite avaliar, em função do tempo, os efeitos de diferentes formas de adubação, tratos culturais, espaçamento, arranjos espaciais diferentes e sistemas de produção, descrevendo alterações na produção vegetal (URCHEI et al., 2000; GAVA et al., 2001; CARDOSO et al., 2006; CIVIERO, 2014).

De acordo com RADFORD (1967), as principais variáveis de crescimento são: taxa de crescimento da cultura (TCC); taxa de crescimento relativo (TCR); taxa de assimilação líquida (TAL); razão de área foliar (RAF), área foliar específica (AFE) e índice de área foliar (IAF).

Em plantas C₄, como cana-de-açúcar e bambu, por serem fotossinteticamente mais eficientes, TCC, TCR, TAL e IAF, são importantes para melhor compreensão do desenvolvimento da parte aérea (SILVA et al., 2005; CIVIERO et al., 2014).

Segundo COSTA et al. (2011), em cana-de-açúcar, a análise de crescimento tem permitido identificar as fases de desenvolvimento da cultura, através de avaliações morfológicas, como altura, diâmetro de colmo, perfilhamento, área foliar e produtividade, tornando possível identificar a capacidade produtiva de diferentes cultivares.

CAPÍTULO 1

ESTIMATIVA DA ÁREA FOLIAR DE *Bambusa vulgaris* A PARTIR DE MODELOS LINEARES

MONTELATTO, M.B.¹; VILLAMAGUA-VERGARA, G.C.¹; CASTANHO, F.P.¹;
SARTORI, M.M.P.¹; SILVA, M.A.; GUERRA, S.P.S.¹

¹Faculdade de Ciências Agrônômicas / Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho”

Avenida Universitária, 3780, Botucatu – SP

RESUMO

Modelos lineares múltiplos para a estimativa da área foliar (AF) baseados no comprimento (C) e largura (L) das folhas, altura (A) e diâmetro à altura do peito (D) dos colmos e o número de colmos (N) de cada touceira de *Bambusa vulgaris*, foram obtidos em um plantio, em Sistema Florestal de Curta Rotação (SFCR) em Botucatu, São Paulo, Brasil. Foram realizadas cinco avaliações compreendidas entre os meses de janeiro de 2017 e janeiro de 2018, durante o segundo ano após o plantio. Anterior a cada avaliação, inventário florestal era realizado para a seleção de touceiras representativas. Escolhida a touceira, era cortada e três colmos, previamente selecionados, retirados. Altura total (A) e diâmetro à altura do peito (D) de cada colmo eram mensurados e então os colmos, eram desfolhados individualmente. As folhas foram misturadas, pesadas e ¼ foi separado de sua massa total para análises. No total, 12.425 folhas foram numeradas e mensuradas. Com o auxílio de régua, C e L foram obtidos e a seguir, utilizando-se medidor de área foliar, foram obtidas AF. Dados de AF foram correlacionados com C, L, A, D, e N e somente C e L. Independente do modelo gerado, todos os coeficientes de determinação ajustados (R^2 ajustado) foram superiores a 60%. As equações recomendadas são as que utilizaram somente C e L pela praticidade de obtenção e elevada precisão.

Palavras-chaves: Bambu, regressão, relações alométricas

ABSTRACT

It was obtained linear multiples models to estimate the *Bambusa vulgaris* leaf area (LA) in a short rotation coppice at Botucatu, Sao Paulo, Brazil. The models were based on the height (H), diameter breath height (D) of stem, length (L) and width (W) of leave and number of clump`s stem (N). The evaluations were done from January 2017 until January 2018, totalizing in five evaluations. Before each one a forest inventory was conducted to choose a representative clump to that moment. Then, the chosen clump was cut and characterized an old, intermediate and young, stems. The H and D were measured of each stem, then, all stems were defoliated individually, all the leaves were mixed, a quarter of these leaves were separated to be analyzed. From the total, 12,425 leaves were numbered and measured the L and W, one by one with a rule, and then passed by the leaf area meter to obtain LA. All these data were correlated. Independent of the model, all the coefficient of determination adjusted (R^2 adjusted) was superior to 60%.The most recommended equation was the one using only L and W by the convenience to obtain data and high accuracy.

Key words: Bamboo, regression, allometric relationships.

1.1 INTRODUÇÃO

No mundo existem mais de 22 milhões de hectares de florestas nativas de bambu, de diversas espécies, principalmente localizadas em países da Ásia. No Brasil, cerca de 160 espécies nativas de bambu podem ser consideradas lenhosas e crescem até 35 m de altura (FILGUEIRAS & GONÇALVES, 2004; GUIMARÃES et al., 2010). Por ser uma espécie de fácil adaptação, é amplamente utilizada desde artesanatos até produção de energia, através da queima. Apesar de o Brasil possuir muitas espécies nativas de bambu, uma das mais plantadas comercialmente é o *Bambusa vulgaris*. Nativo da China, espécie exótica, tropical, de rápido crescimento e elevada produtividade, adaptado ao Nordeste brasileiro onde florestas são plantadas para a geração de biomassa e produção de celulose (SANTI, 2015).

Ainda não há relatos de plantios comerciais de bambu voltados exclusivamente para a produção de bioenergia. Geralmente esses plantios são realizados em Sistemas Florestais de Curta Rotação (SFCR) que apresentam um adensamento maior do plantio, ou seja, menor espaçamento entre plantas, quando comparado ao plantio convencional (GUERRA et al., 2014).

Apesar de seu grande potencial, existem poucos estudos morfológicos e fisiológicos sobre bambu, sobretudo para a obtenção de modelos. Segundo LANDSBERG & SANDS (2011), os modelos, além de serem práticos, podem ser ferramentas para simular o desempenho e resultados de plantios, quanto a mudanças ambientais ou estímulos na produção de biomassa

Dentre os índices ecofisiológicos, a área foliar (AF) é importante e de fácil obtenção, para estimar/estudar o crescimento e desenvolvimento das plantas. Além disso, é um índice chave para diversos estudos agroflorestais, como para a avaliação de interceptação de luz, eficiência fotossintética, respiração, transpiração, balanço hídrico e respostas nutricionais (SYVERTSEN et al., 2003; SILVA et al., 2008a; KANDIANNAN et al., 2009).

Entretanto, a obtenção da AF requer a mensuração de grande número de folhas, o que torna o processo de elevado custo, exigindo equipamentos, tempo e, acima de tudo, trata-se de um processo destrutivo. A medida de AF obtida diretamente, não é o método mais interessante comercialmente (KANDIANNAN et al., 2009) e sua determinação por meio de método indireto, com auxílio de equipamento, também é operação de alto custo. Um modelo acurado para essa estimativa eliminaria todo o custo e consumo de tempo, além de não ser destrutivo.

Os modelos são baseados geralmente nas dimensões foliares, como comprimento e largura que permitem a estimativa da área foliar por meio de regressão linear, polinomial ou logarítmica, que melhor se ajustam aos dados foliares obtidos (ZANETTI et al., 2017). Esse método vem sendo utilizado em culturas florestais ou agrônômicas como *Populus* (CEULEMANS et al., 1993), castanha (SERDAR & DEMIRSOY, 2006), feijão (PEKSEN, 2007), girassol (ROUPHAEL et al., 2007), antúrio (SILVA et al., 2008a), batata (SILVA et al., 2008b), gengibre (KANDIANNAN et al., 2009), eucalipto (SANTOS et al., 2011), manga (SILVA et al., 2015), diferentes espécies florestais de folha larga (LIU et

al., 2017), mandioca (ZANETTI et al, 2017), cacau (SALAZAR et al., 2018), entre outras culturas.

Não há atualmente estudos na literatura que proponham modelos matemáticos para a estimativa da AF em bambus, em especial, em *Bambusa vulgaris*. Dessa forma, o objetivo desse estudo foi estimar a área foliar do *B. vulgaris* em Sistema Florestal de Curta Rotação, a partir de modelos lineares, ao longo do segundo ano após o plantio.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido em plantio experimental de *Bambusa vulgaris* na Fazenda Lageado, propriedade da UNESP, situada no município de Botucatu, na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo (22°50'21"S e 48°25'20" O), com altitude de 786 m. A precipitação média anual histórica é de 1428,4 mm ano⁻¹ e o clima, de acordo com a classificação de Köppen é Cfa, caracterizando-se mesotérmico úmido, de temperatura média anual de 20,3°C (CUNHA & MARTINS, 2009).

Durante o período de estudo, a temperatura média mínima, do mês mais frio, foi de 12,5°C e a temperatura média máxima, no mês mais quente, de 30,3°C. A temperatura média anual foi de 21,1°C.

O plantio foi realizado manualmente em janeiro de 2016 em uma área que, previamente, continha plantio de eucalipto, misturado com pastagem, plantados há mais de 30 anos. Foram feitas gradagem e sulcagem, após foi realizada calagem aplicando 5 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 85%), corrigindo de 0 a 40 cm de profundidade de solo. Ao longo do experimento foram realizadas capinas manuais e eventuais aplicações de herbicida (Glifosato 2 L ha⁻¹), até o fechamento do dossel. As mudas de *Bambusa vulgaris* foram provenientes do viveiro da Taboca, em Tatuí, São Paulo, Brasil.

O esquema utilizado para o plantio foi em Sistema Florestal de Curta Rotação (SFCR), com espaçamento, adensado para a espécie, de 3 x 2 m. Foram utilizadas todas as 48 touceiras centrais do plantio, envolvidas por bordadura simples. (Figura 1).

Figura 1 – Croqui da área experimental de *Bambusa vulgaris*, localizado na Fazenda Experimental Lageado, UNESP, em Botucatu – SP. Números de um a cinco representam as touceiras coletas em cada avaliação, sendo a 1 coletada em janeiro de 2017 e a 5 coletada em janeiro de 2018. O x representa as touceiras que foram desconsideradas a fim de evitar o efeito bordadura. A bordadura simples do experimento está considerada em cinza

Linha 6														
Linha 5		4	x		x	x	x		x	x	x			
Linha 4		x	x		x	2	x		x	3	x	x	x	
Linha 3			x	x	x	x	x		x	x	x	1	x	
Linha 2			x	5	x						x	x	x	
Linha 1														
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14

Anteriormente às avaliações, assim como durante e também após, o plantio encontra-se em estágio vegetativo, visto que seu ciclo é muito longo e o florescimento demora a ocorrer. Comparando à cana-de-açúcar, segundo MOORE & BOTHA (2014), um momento similar ao encontrado durante esse estágio, é o período de emergência dos brotos, desenvolvimento foliar dos mesmos, perfilhamento, alongamento e desenvolvimento dos colmos.

1.2.2 Variáveis avaliadas

Foram realizadas cinco avaliações, a cada três meses, totalizando em cinco, para a análise de regressão, entre os meses de janeiro de 2017, quando o plantio estava com 12 meses, e janeiro de 2018, quando atingiu 24 meses de idade.

Antes de cada avaliação era realizado um inventário florestal, onde foram mensurados todos os colmos de todas as touceiras, assim como a altura total, diâmetro da base, número de entre nós e número de colmos total de cada touceira. Com isso, era selecionada uma touceira por avaliação, em cada idade,

representativa, ou seja, que representasse a média daquela população. Além disso, em cada avaliação, as touceiras ao redor da touceira escolhida eram excluídas das próximas avaliações evitando o estudo de plantas favorecidas pela abertura de clareira, conforme Figura 1.

O número de colmos (N), contido na touceira, foi registrado no momento antes do corte, desse total, foram coletados três colmos definidos como jovens, intermediários e velhos, caracterizados de acordo com seu estágio de desenvolvimento, diâmetro (Tabela 1) e características físicas, tais como coloração do colmo, presença ou não de brotação no nó e número de ramos laterais (Figura 2).

Figura 2 – Características físicas, como coloração, presença ou não de brotação no nó e número de ramos laterais, de colmos de *Bambusa vulgaris* para a classificação de colmo velho (A), intermediário (B) e novo (C)

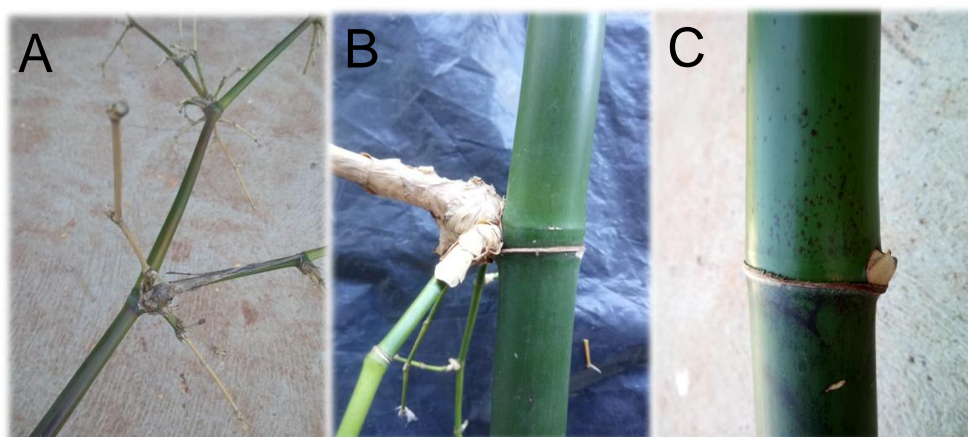


Tabela 1 - Diâmetros a altura do peito (D) para caracterização dos colmos avaliados

Tipo de colmo	D (mm)
Velho	3 – 10
Intermediário	15 – 25
Jovem	30 – 40

Após a caracterização, a altura total (A, em cm), da base ao ápice do colmo, e seu diâmetro a altura do peito (D, em mm) foram mensurados. Os colmos foram desfolhados um a um em campo e as folhas foram misturadas, a fim de se

obter folhas do terço inferior, intermediário e superior da copa. Imediatamente separadas para obtenção da massa verde total.

Dos três colmos selecionados (jovem, intermediário e velho), o total de folhas foram pesadas e separadas um quarto delas por colmo. As folhas foram colocadas em sacos plásticos e armazenadas em um refrigerador a 4°C a fim de manter o vigor até o momento do processamento, realizado no dia posterior à coleta do material. No total, durante um ano de avaliação, foram mensuradas, uma por uma, 12.425 folhas de *Bambusa vulgaris*, sendo uma média de 2.485 folhas por avaliação.

Em laboratório, as folhas de bambu foram reidratadas, a fim de reverter o quadro de desidratação que ocorre rapidamente nas folhas de bambu, deixando-as submersas em água por ao menos 20 minutos ou até voltar ao formato original, foram numeradas com caneta esferográfica e então, com auxílio de uma régua, obteve-se o comprimento total da folha (C, em cm) e a largura máxima (L, em cm). A área foliar (AF) de cada folha foi avaliada utilizando-se medidor de área foliar, modelo LAI-3100 (LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, NE, EUA).

1.2.3 Ajuste de modelo para estimativa da AF

Com o uso do programa estatístico, software Minitab 16, as variáveis: comprimento (C) e largura (L) da folha, altura (A) e diâmetro a altura do peito (D) do colmo e o número de colmos (N) por touceira, foram submetidas a análises de regressão linear múltipla, ao nível de 5% de significância, para gerar o melhor modelo para a estimativa da área foliar a partir das variáveis descritas acima. A variável AF do colmo foi considerada dependente, enquanto as variáveis C, L, A, D e N foram consideradas independentes, chamadas também de preditoras.

Para definir o melhor ajuste, o coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e erro padrão (E) foram analisados. Além disso, foi utilizado o critério Cp de Mallows (Equação 1) que compara a precisão e a tendência do modelo completo. Quanto mais próximo o valor de Cp de Mallows estiver do número das variáveis preditoras, maior a precisão do modelo e menor variância na estimativa dos coeficientes de regressão. Portanto,

os melhores modelos apresentam os mais altos valores de R^2 e R^2 ajustado e os menores valores de E e Cp de Mallows.

No caso desse estudo, a análise de Cp de Mallows foi realizada duas vezes. A primeira contando com todas as variáveis obtidas, sendo cinco no total, ou seja, C, L, A, D e N, e a segunda apenas duas variáveis, C e L, a fim de verificar e comparar a precisão dos modelos gerados contendo apenas duas variáveis de fácil acesso. Nesse caso o Cp de Mallows mais preciso deveria apresentar números próximos a 5 e 2, respectivamente.

Foram geradas equações individuais por colmo para cada avaliação e uma equação geral que agrupou todas as cinco, ou seja, uma equação para todo período do primeiro ao segundo ano de plantio do *Bambusa vulgaris* em um SFCR.

$$Cp = \frac{SQR}{QMR} - (n - 2p) \quad (1)$$

Onde, SQR é a soma dos quadrados dos resíduos do erro; QMR é o quadrado médio dos resíduos; n é o número de observações; e p é o número de variáveis preditoras, que no caso deste estudo foram cinco (C, L, A, D e N) e duas (C e L).

1.2.4 Análise entre datas de amostragem

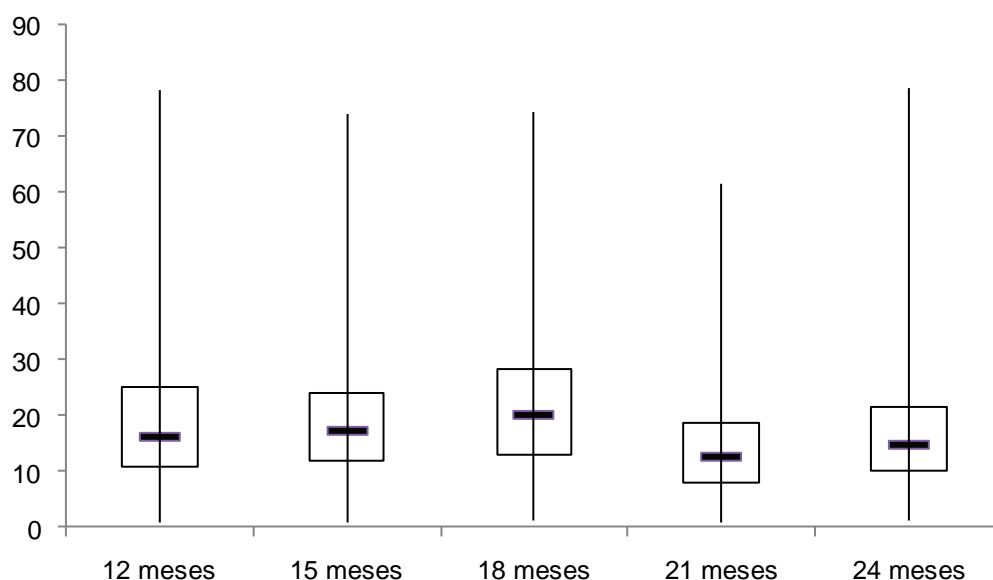
A AF estimada em função do tempo (meses), pelos diferentes modelos gerados foram submetidos à ANOVA com probabilidade de erro de 5% e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey.

A análise foi realizada para os modelos gerados com todas as variáveis disponíveis (C, L, A, D e N) e depois para os modelos gerados com as variáveis C e L. Os modelos gerais, avaliações agrupadas, não foram considerados na análise por já serem modelos que podem ser utilizados em todas as avaliações dentro do período estudado, o segundo ano após o plantio.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A AF de cada folha, comparadas entre si, apresentou elevada variação em todas as avaliações, provavelmente por ter sido realizada a mistura de todos os terços de folha da copa (terço inferior, mediano e superior) abrangendo folhas grandes, pequenas, novas e velhas (Figura 3), notando-se que, apesar de serem épocas do ano diferentes, a área foliar, mínima e máxima, assim como as outras variáveis (C, L, A, D e N), mantiveram um padrão de desenvolvimento similar em todas as avaliações, por ser o mesmo estágio de desenvolvimento, o vegetativo.

Figura 3 – Gráfico de Box-Plot da variação da área foliar (AF) de cada folha durante o período avaliado de janeiro de 2017 (12 meses) a janeiro de 2018 (24 meses)



No geral, o comprimento (C) das folhas variou, em média, cerca de 30 cm por avaliação; quanto à largura (L), a variação foi em cerca de três cm. Para o número de colmos (N) por touceira, os valores foram similares entre as avaliações, aos 12 meses a touceira coletada continha 10 colmos; aos 15 meses, 8 colmos; aos 18 meses também apresentava 8 colmos; aos 21 meses, 12 colmos; e com 24 meses, continha 9 colmos.

Os resultados, no geral, apresentaram desvio padrão relativamente baixo, mostrando que apesar da diferença nos valores das variáveis, os dados não

dispersaram tanto da média. Para a variável dependente, área foliar, o desvio padrão médio (7,69 cm²) também foi baixo, apresentando-se mais próximo às médias encontradas. (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores mínimos (Min) e máximos (Max), desvio padrão (DP) e médias de área foliar (AF) por folha, comprimento (C) e largura (L) da folha, altura (A) e diâmetro à altura do peito (D) dos colmos e número de colmos (N) das touceiras de *Bambusa vulgaris* obtidos em cinco diferentes avaliações no período de um ano após o plantio

Variáveis	Estágios de desenvolvimento					
	jan/17	abr/17	jul/17	out/17	jan/18	
AF (cm ²)	Min	1,00	1,00	1,31	0,72	1,34
	Max	78,32	73,95	74,33	61,36	78,80
	DP	12,21	10,31	12,27	8,88	9,22
	Média	19,55	19,21	21,80	14,00	16,80
C (cm)	Min	1,00	1,10	1,40	1,60	0,80
	Max	27,00	24,70	27,00	26,0	30,60
	DP	4,01	3,96	4,57	4,31	4,31
	Média	12,61	13,14	14,11	13,34	14,64
L (cm)	Min	0,20	0,40	0,50	0,30	0,50
	Max	4,00	4,00	3,90	2,80	4,10
	DP	0,68	0,57	0,58	0,43	0,49
	Média	1,82	1,85	1,85	1,41	1,65
A (cm)	Min	133,00	246,00	380,00	339,00	342,00
	Max	323,00	650,00	550,00	524,00	608,00
	DP	78,68	177,61	61,62	80,08	75,26
	Média	233,48	496,51	458,21	438,59	534,84
D (mm)	Min	10,00	7,92	24,00	19,00	17,18
	Max	19,10	40,63	35,00	34	34,20
	DP	4,36	15,00	4,01	6,74	5,81
	Média	13,25	29,23	28,96	26,77	29,26
N total (unidades)	10	8	8	12	9	

Resultados semelhantes foram observados por ZANETTI et al. (2017) em mandioca e SILVA et al. (2015) em manga, que, assim como nesse estudo, realizaram a mistura das folhas para a obtenção da AF, citando que esta pode ser a causa dos resultados observados.

Foram gerados modelos lineares simples e múltiplos, entretanto, levando em consideração os valores de R² ajustado, o erro padrão (E) e Cp d e Mallows, foram selecionados apenas os modelos lineares múltiplos (Tabela 3). No geral,

os modelos apresentaram R^2 ajustado com amplitude entre 62,30 e 86,00 ($p \leq 0,05$), considerados elevados para o ajuste e estimativa da AF.

Nas equações individuais por fase, contando com todas as variáveis (C, L, A, D e N), as que apresentaram os melhores ajustes foram as que utilizaram as variáveis C, L, A e D. Enquanto na equação geral, avaliações agrupadas, o melhor ajuste foi do modelo contendo C, L, D e N. O R^2 ajustado nas análises contendo todas as variáveis variou entre 71,20 e 83,00.

As equações geradas utilizando apenas C e L apresentaram R^2 ajustado muito similares ao apresentado pelas equações com todas as variáveis, variando entre 62,30 e 83,10 (Tabela 3).

Dessa forma, a AF do *Bambusa vulgaris*, em um SFCR, estimada por modelos lineares múltiplos, contendo cinco variáveis (C, L, A D e N) ou apenas duas (C e L), apresentam a mesma precisão, ficando a escolha do leitor qual dos modelos utilizar.

Tabela 3 - Modelos para estimar a área foliar (AF) das folhas de bambu a partir do comprimento (C) e largura (L) das folhas, a altura (A) e diâmetro a altura do peito (D) dos colmos e o número de colmos (N) das touceiras de *Bambusa vulgaris* em um sistema de curta rotação

Avaliação*	C, L, A, D e N	R^2 ajust	E	Cp de Mallows
12 meses	$AF = -13,2377 + 1,71385C + 5,28378L + 0,0626757A - 0,992284D$	73,1	6,3	5,0
15 meses	$AF = -28,71 + 1,8787C + 4,269L + 0,0737A - 0,7310D$	74,1	5,2	5,0
18 meses	$AF = -13,219 + 1,32941C + 10,707L - 0,192469A + 2,92447D$	83,0	5,1	4,0
21 meses	$AF = -13,502 + 1,0159C + 9,644L + 0,07237A - 1,1741D$	79,7	4,0	5,0
24 meses	$AF = -14,625 + 0,8184C + 11,400L + 0,00513A - 0,0703D$	81,1	4,0	5,0
Agrupada	$AF = -5,843 + 1,2182C + 8,3682L - 0,4652N - 0,10219D$	71,2	5,9	6,0

Avaliação	C e L	R^2 ajust	E	Cp de Mallows
12 meses	$AF = -13,0123 + 1,58868C + 6,82944L$	69,2	6,8	3,0
15 meses	$AF = -11,3887 + 1,62035C + 4,96937L$	70,2	5,7	3,0
18 meses	$AF = -16,6649 + 1,32211C + 10,7319L$	83,1	5,1	3,0
21 meses	$AF = -11,3736 + 1,0132C + 8,38216L$	62,3	5,5	3,0
24 meses	$AF = -14,5295 + 0,812247C + 11,8131L$	80,9	4,0	3,0
Agrupada	$AF = -12,8805 + 1,22667C + 8,42717L$	70,2	6,0	3,0

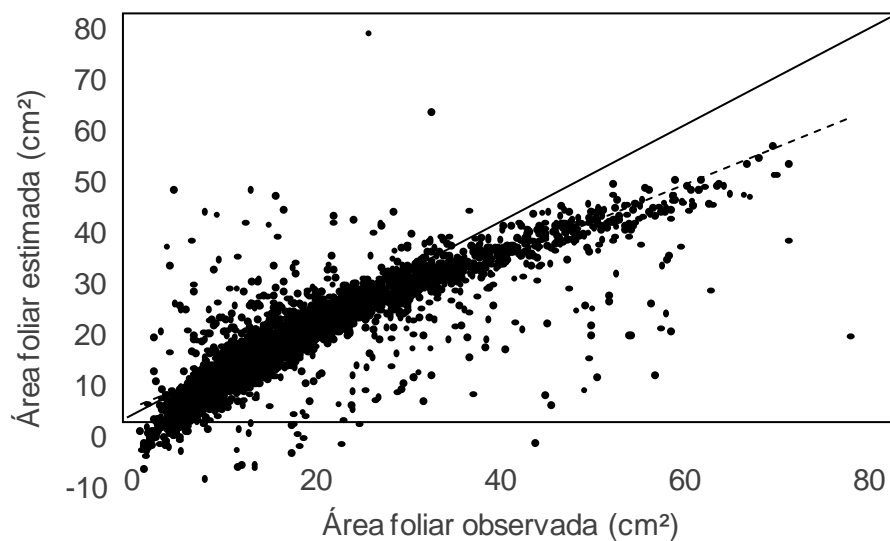
*Significância a 5%, n médio por avaliação de 2.485 folhas.

Independente do modelo utilizado foi elevada a coesão entre os pontos e a linha de tendência da área foliar observada com a área foliar estimada pelas mesmas, o que reflete a precisão dos modelos gerados e indica que qualquer um dos métodos podem ser utilizados para a estimativa da AF. Pode ser observado até valores negativos de área foliar, evidenciando que algumas folhas estimadas, provavelmente, são menores do que as folhas mensuradas durante as avaliações (Figura 4 e 5).

LIU et al. (2017), MENG (2015), POMPELLI et al. (2012), assim como CEULEMANS et al. (1993), estudaram espécies florestais, como por exemplo espécies de folhas largas, pinhão-mansão e *Populus* spp., e todos chegaram à conclusão de que modelos gerados a partir das variáveis C e L são as melhores formas de predição da AF, não somente pela precisão, mas também pela facilidade de obtenção dessas variáveis.

Figura 4 - Dispersão dos dados entre a área foliar (AF) da folha individual observada e área foliar estimada, utilizando equações lineares múltiplas geradas a partir das variáveis comprimento (C), largura (L), altura (A), diâmetro (D) e número de colmos (N) para cada avaliação individual e para todas as avaliações de forma agrupada. A) Avaliação 1 – janeiro de 2017; B) Avaliação 2 – abril de 2017; C) Avaliação 3 – julho de 2017; D) Avaliação 4 – outubro de; E) Avaliação 5 – janeiro de 2018; e F) Avaliações agrupadas. Continuação na próxima página

A



B

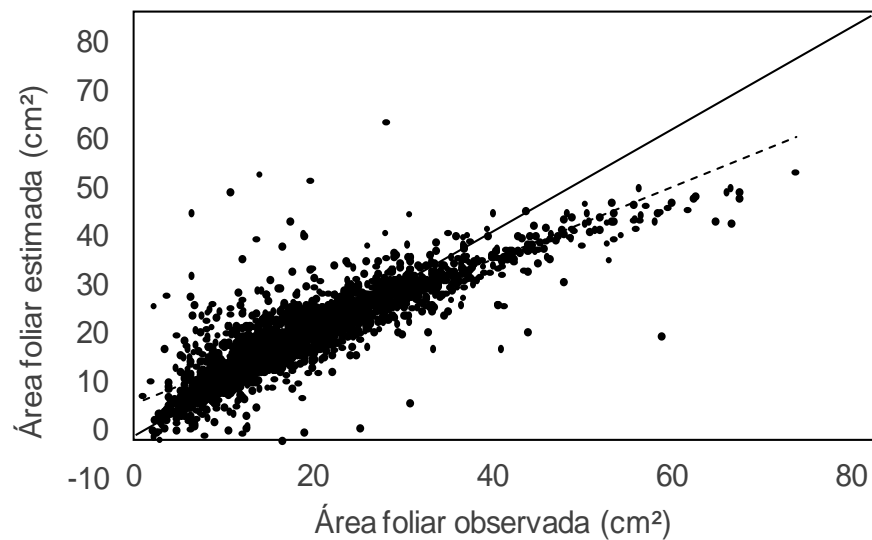
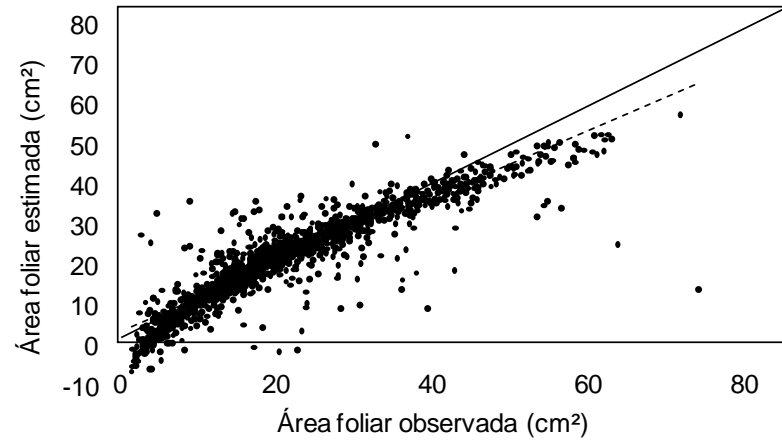
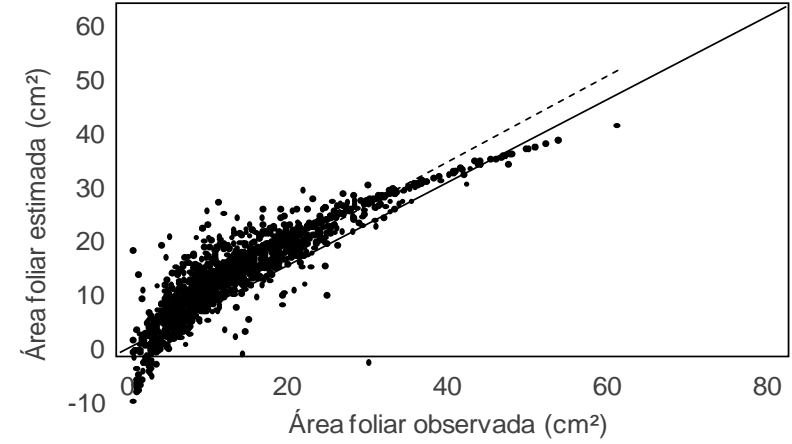


Figura 4 – Continuação

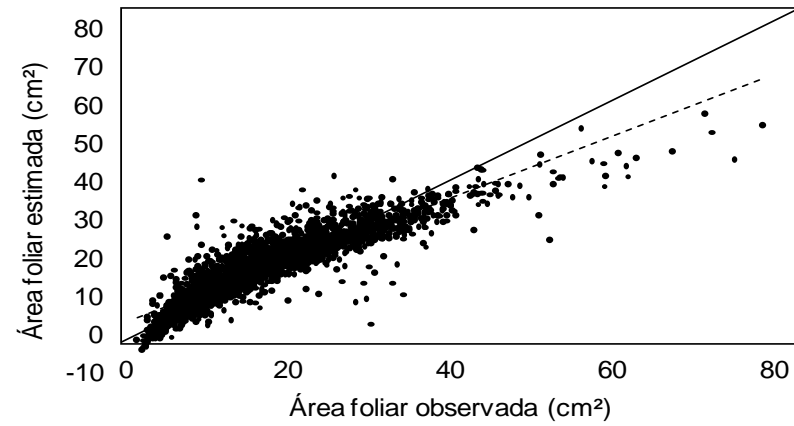
C



D



E



F

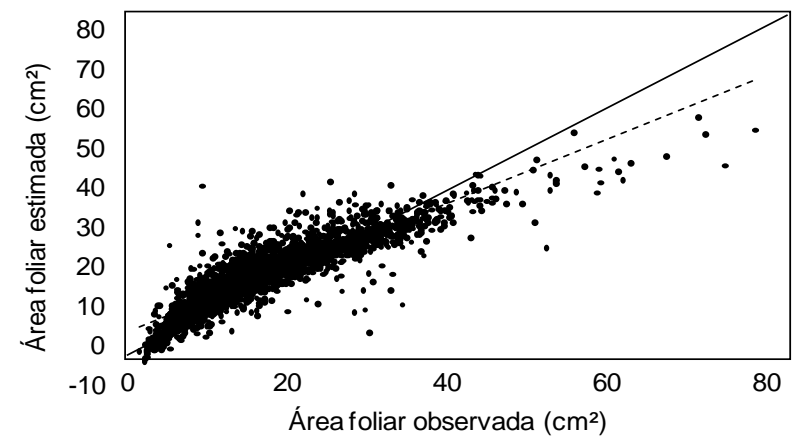
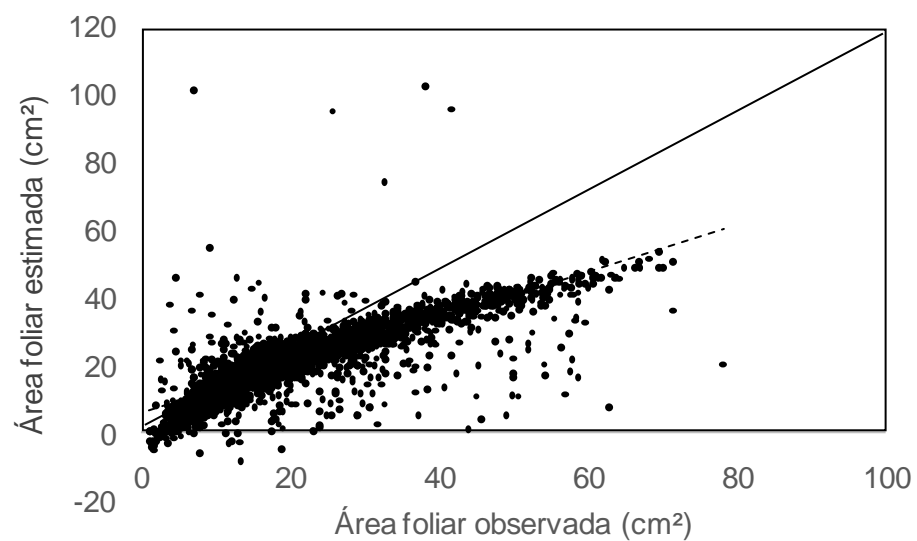


Figura 5 - Dispersão dos dados entre a área foliar (AF) observada e área foliar estimada, utilizando equações lineares múltiplas geradas a partir das variáveis comprimento (C) e largura (L) para cada avaliação individual e para todas as avaliações de forma agrupada. A) Avaliação 1 – janeiro de 2017; B) Avaliação 2 – abril de 2017; C) Avaliação 3 – julho de 2017; D) Avaliação 4 – outubro de; E) Avaliação 5 – janeiro de 2018; e F) Avaliações agrupadas. Continuação na próxima página

A



B

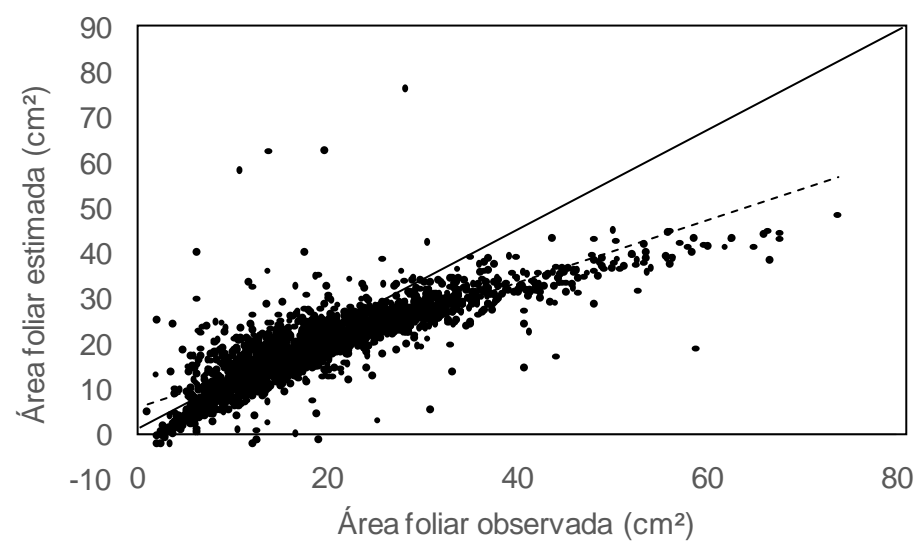
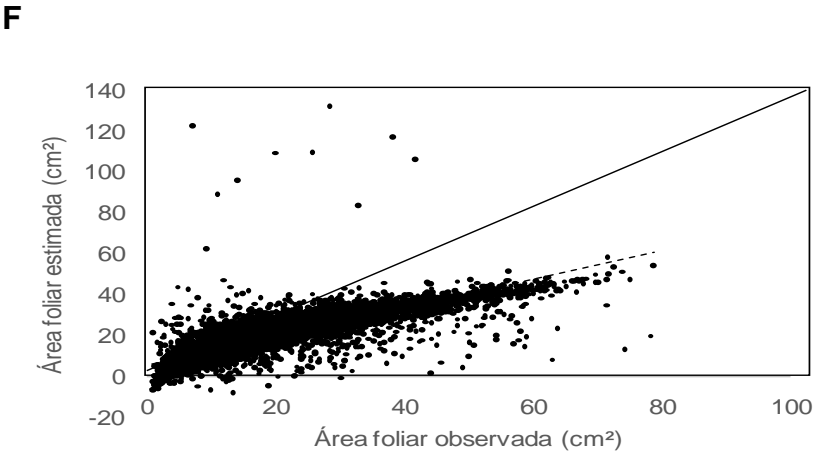
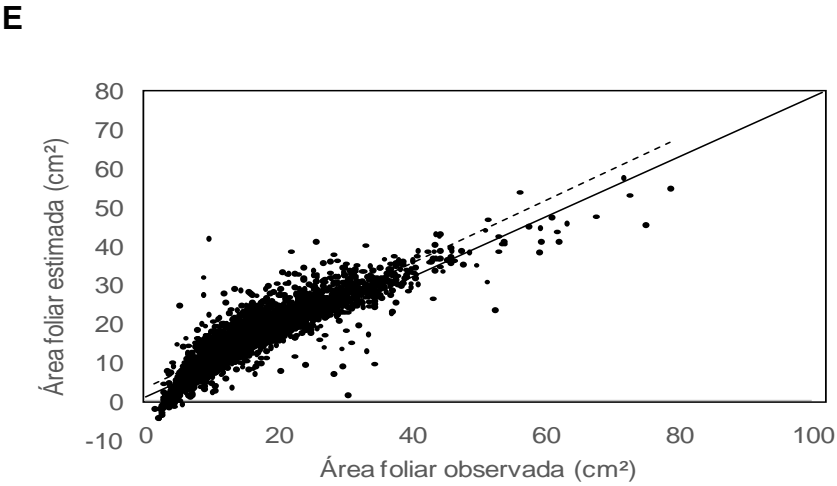
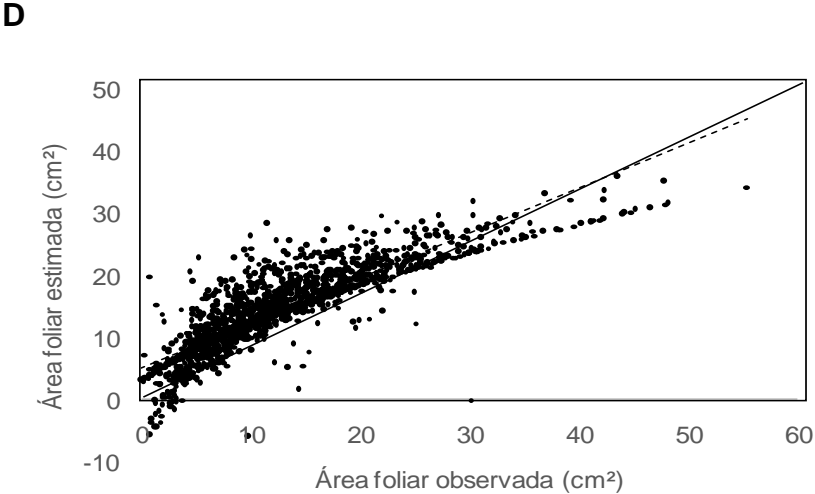
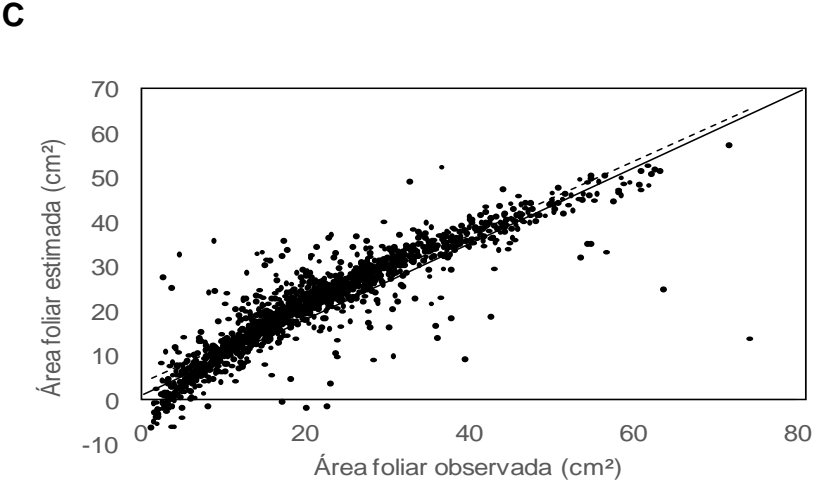


Figura 5 – Continuação



A análise de variância (ANOVA) da AF estimada pelos modelos de regressão, em função do tempo, indicou que os modelos, tanto os que contêm as variáveis C, L, A e D, quanto os que contêm apenas C e L, são diferentes entre si no tempo, com *p*-valor de 0,0001 (Tabela 4).

Tabela 4 –Análise de variância (ANOVA) da área foliar estimada (AF) em função do tempo (meses) dos modelos gerados com as variáveis (C, L, A e D) (A); e dos modelos gerados com as variáveis C e L (B)

A

FV	GL	SQ	QM	F	<i>p</i>-valor*
AF	4	61596,8	15399,2	182,21	<0,0001
Tempo	4	61596,8	15399,2	182,21	<0,0001
Erro	12246	1034935	84,51		
Total	12250	1096532			

* *p*<0,05 de significância

B

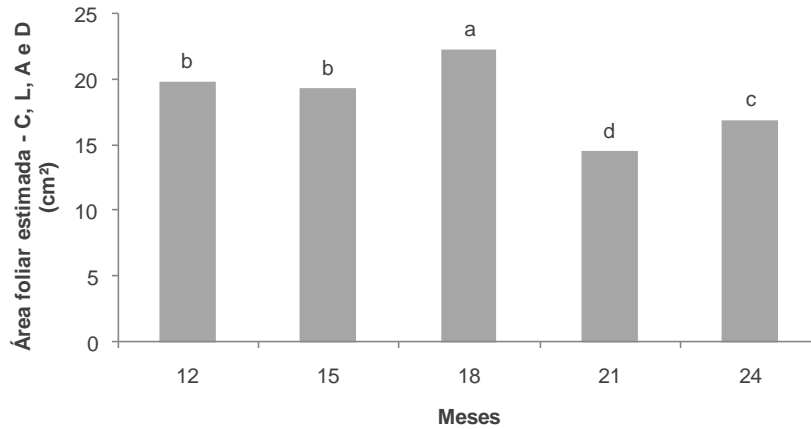
FV	GL	SQ	QM	F	<i>p</i>-valor*
AF	4	63749,83	15937,46	189,26	<0,0001
Meses	4	63749,83	15937,46	189,26	<0,0001
Erro	12420	1045887	84,21		
Total	12424	1109636			

* *p*<0,05 de significância

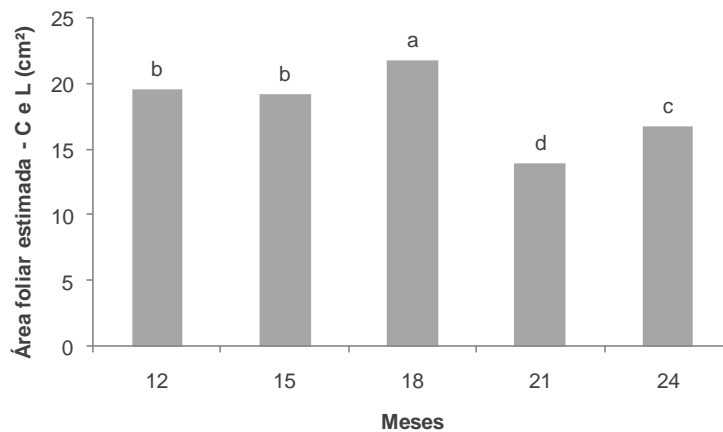
A comparação das médias do teste de Tukey (*p*<0,05) foi semelhante para ambos os métodos para a estimativa da AF em função do tempo, indicando que, com exceção das avaliações de janeiro de 2017 (12 meses) e abril de 2017 (15 meses), os momentos são diferentes, portanto os modelos gerados para as avaliações de julho 2017, outubro 2017 e janeiro 2017, não podem ser utilizados entre as avaliações, somente para o momento específico que ele foi gerado (Figura 6). Esse resultado já era esperado, visto que durante o período de avaliação as touceiras foram se desenvolvendo, havendo acúmulo de biomassa e expansão da AF.

Figura 6 – Comparação das médias da área foliar estimada (AF) pelo tempo (meses) utilizando o Teste de Tukey ($p < 0,05$) dos modelos gerados com as variáveis C, L, A e D (A) e dos modelos gerados com as variáveis C e L (B)

A



B



1.4 CONCLUSÕES

A área foliar do *Bambusa vulgaris* pode ser estimada, por método não-destrutivo, por análise de regressão linear múltipla.

Dentre os modelos aqui propostos, as equações utilizando as variáveis comprimento (C) e largura (L) da folha são as mais recomendadas por serem variáveis de fácil obtenção. Além disso, são modelos de elevada precisão.

Os modelos gerados são específicos para cada avaliação, com exceção das avaliações de 12 meses e 15 meses.

1.5 REFERÊNCIAS

- CEULEMANS, R., PONTAILLER, J.Y., MAU, F., GUITTET, J. Leaf allometry in young poplar stands: reliability of leaf area index estimation, site and clone effects. **Biomass and Bioenergy**, v. 4, n. 5, p. 315-321, 1993.
- GUERRA, S.P.S.; GARCIA, E.A.; LANÇAS, K.P.; REZENDE, M.A.; SPINELLI, R. Heating value of eucalypt wood grown on SRC for energy production. **Fuel**, v. 137, p. 360-363, 2014
- KANDIANNAN, K.; PARTHASARATHY, U.; KRISHNAMURTHY, K.S.; THANKAMANI, C.K.; SRINIVASAN, V. Modeling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) using leaf length and width. **Scientia Horticulturae**, v. 120, p. 532–537, 2009.
- LIU, Z., ZHUA, Y., LI, F., JIN, G., Non-destructively predicting leaf area, leaf mass and specific leaf area based on a linear mixed-effect model for broadleaf species. **Ecological Indicators**, v. 78, p. 340–350, 2017.
- MENG, F., ZHANG, G., LI, X., NIKLAS, K.J., SUN, S., Growth synchrony between leaves and stems during twig development differs among plant functional types of subtropical rainforest woody species. **Tree Physiology**, v. 33, p. 398–631, 2015.
- MOORE P.H.; BOTHA F.C. **Sugarcane: physiology, biochemistry and functional biology**. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2014
- PEKSEN, E. Non-destructive leaf area estimation model for faba bean (*Vicia faba* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 113, n. 4, p. 322-328, 2007.
- POMPELLI, M.F., ANTUNES, W.C., FERREIRA, D.T.R.G., CAVALCANTE, P.G.S., WANDERLEY-FILHO, H.C.L., ENDRES, L. Allometric models for non-destructive leaf area estimation of *Jatropha curcas*. **Biomass and Bioenergy**, v. 36, p. 77 – 85, 2012.
- ROUPHAEL, Y.;COLLA, G.; FANASCA, S.; KARAM, F. Leaf area estimation of sunflower leaves from simple linear measurements. **Photosynthetica**, v. 45, 306, 2007.
- SALAZAR, J.C.S.; MELGAREJO, L.M.; BAUTISTA, E.H.D.; DI RIENZO, J.A.; CASANOVAS, F. Non-destructive estimation of the leaf weight and leaf area in cacao (*Theobroma cacao* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 229, p. 19–24, 2018.
- SANTI, T. O potencial do bambu: desafios e oportunidades da fibra na produção de celulose e papel e as novas pesquisas sobre seu uso para fins energéticos e geração de biomateriais. **Revista de Tecnologia em Celulose e Papel**. Ano LXXVI n 4, abril, 2015.
- SERDAR, U.; DEMIRSOY, H. Non-destructive leaf area estimation in chestnut. **Scientia Horticulturae**, v. 108, p. 227–230, 2006.

SILVA, M.C.C.; FONTES, P.C.R.; VIANA, R.G. Estimativa da área da folha da batateira utilizando medidas lineares. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 1, p, 83-87, 2008a.

SILVA, S.H.M.G.; LIMA, J.D.; BENDINI, H.N.; NOMURA, E.S.; MORAES, W.S.. Estimativa da área foliar do antúrio com o uso de funções de regressão. **Ciência Rural**, v. 38, n. 1, p. 243-246, 2008b.

SILVA, S.F.; CABANEZ, P.A.; MENDONÇA, R.F.; PEREIRA, L.R.; AMARAL, J.A.T. Modelos alométricos para estimativa da área foliar de mangueira pelo método não destrutivo. **Revista Brasileira Agroambiental**, v. 9, p. 88-92, 2015.

SYVERTSEN, J.P., GONI, C., OTERO, C. Fruit load and canopy shading affect leaf characteristics and net gas exchange of 'Spring' navel orange trees. **Tree Physiology**, v. 23, n. 13, p. 899–906, 2003.

ZANETTI, S.; PEREIRA, L.F.M.; SARTORI, M.M.P; SILVA, M.A. 2017. Leaf area estimation of cassava from linear dimensions. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n.3, p.1729-1736, 2017.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DE CRESCIMENTO DE *Bambusa vulgaris* EM UM SISTEMA FLORESTAL DE CURTA ROTAÇÃO

MONTELATTO, M.B.¹; BEZERRA, B.K.; KAWAKAMI, B.¹; BOARO, C.S.F.²; SILVA, M.A.; GUERRA, S.P.S.¹

¹Faculdade de Ciências Agrônômicas / Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Avenida Universitária, 3780, Botucatu – SP

²Instituto de Biociências / Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
R. Prof. Dr. Antônio Celso Wagner Zanin, 250. Bairro: Distrito de Rubião Junior

RESUMO

Variáveis de crescimento ajudam a esclarecer o desenvolvimento de uma planta dentro de uma população. O objetivo desse estudo foi avaliar o crescimento da espécie *Bambusa vulgaris*, do primeiro ao segundo ano após o plantio, em sistema florestal de curta rotação (SFCR) com finalidade bioenergética. Para isso, após a realização de inventário florestal, foi selecionada uma touceira representativa de onde foram caracterizados três tipos de colmos: novos, intermediários e velhos, a fim de estudar seu desenvolvimento. O *B. vulgaris* apresentou índice de área foliar (IAF) médio de 3 m² m⁻². Dos três tipos de colmos estudados, o novo mostrou o mesmo padrão de desenvolvimento quando comparado à média dos três colmos para todos os índices avaliados IAF, área foliar específica (AFE), taxa de crescimento relativo (TCR) e taxa de assimilação líquida (TAL). O rápido crescimento do *B. vulgaris* ficou evidente pela análise da TAL e TCR, que apresentou valores negativos devido ao acúmulo de folhas, assim como sua relação direta com a precipitação, uma vez que tanto área foliar (AF) e IAF tiveram desenvolvimento proporcional com essa variável.

Palavras-chaves: Bambu, índice de área foliar, taxa de assimilação líquida, taxa de crescimento relativo.

ABSTRACT

The growth analysis helps to understand the development of a plant in the community. The aim of this study was to evaluate the *Bambusa vulgaris* growth during the second year after planting in a short rotation coppice (SRC). For it, after a forest inventory, to select a representative clump, from the chosen one was separated young, intermediate and old stems to study your individual development. *B. vulgaris* shown a leaf area index (LAI) average of 3 m² m⁻². From three studied stems types, the younger one shown same development pattern when compared to all summed LAI, specific leaf area (SLA), relative growth rate (RGR) and net assimilation rate (NAR). In the current study it was evident the *B. vulgaris* fast-growing by NAR and RGR analysis, that shown negative values due to leaves accumulation, as well as your rainfall direct relationship, once as LA as LAI had a proportional development with this variable.

Keywords: Bamboo, leaf area index, relative growth rate, net assimilation rate

2.1 INTRODUÇÃO

Em todo o mundo existem mais de 1.300 espécies de bambu, plantas da família Poaceae, de mecanismo fotossintético C4. O Brasil está entre os primeiros países das Américas a conter o maior número de espécies, nativas ou exóticas, chegando a 200 espécies, de maioria endêmica (DRUMOND & WIEDMAN, 2017).

A espécie *Bambusa vulgaris*, nativa da China, atualmente é a espécie de bambu mais utilizada comercialmente no mundo por apresentar crescimento acelerado. Segundo AZZINI et al. (1982), a espécie é conhecida por apresentar estágio vegetativo indeterminado devido a apresentar florescimento tardio.

KOSHI & HARIKUMAR (2010), descreveram locais onde havia sido relatado florescimento desta espécie com 19 registros em 10 países em um prazo de 150 anos após a primeira descrição morfológica. Podemos descrever o ciclo dessa e de outras espécies de bambu como brotação, crescimento, estabelecimento, dominância, florescimento, mortalidade, regeneração (SILVEIRA, 2001).

No Brasil o *B. vulgaris* é utilizado pelas indústrias de papel e celulose. Além disso, devido ao rápido crescimento e elevada produtividade tem mostrado cada vez mais potencial para produção de biomassa, podendo se tornar opção à geração de bioenergia.

Normalmente, os plantios energéticos são caracterizados pelo maior adensamento dos indivíduos, por menor espaçamento entre plantas, configuração de plantio chamada Sistema Florestal de Curta Rotação, com finalidade de produção de biomassa para a geração de energia (GUERRA et al., 2014).

Estudos sobre potencial energético realizado por BRITO et al. (1987) evidenciaram que *B. vulgaris* apresenta poder calorífico similar ao do *Eucalyptus urophylla*. Embora poucos estudos evidenciam suas características energéticas, sempre descrevem o potencial da espécie para a geração de energia (SCURLOCK et al., 2000; VARANDA et al., 2010; MOREIRA, 2012; 2016, SETTEJR. et al., 2016).

Considerando o potencial e poucas informações, são relevantes estudos que mostrem o desenvolvimento da espécie e sua produção. De acordo com BENINCASA (2003), para avaliar o potencial produtivo, assim como taxas de crescimento e a adaptação a diferentes condições ambientais, a ferramenta de análise de crescimento pode reconhecer diferenças funcionais e estruturais da espécie estudada.

A fotossíntese é responsável por até 90% da matéria seca (MS) acumulada pelas plantas ao longo do seu desenvolvimento. A partir da MS podem ser realizadas avaliações de crescimento da planta como um todo, identificando-se a contribuição de cada órgão, caules, raízes ou folha (WHALE et al., 1985).

É possível estudar índices de produtividade em biomassa a partir de variáveis morfológicas como a MS e também como a área foliar (AF), índices como o índice de área foliar (IAF), que é a área útil para realização de fotossíntese; na taxa de crescimento relativo (TCR), que consiste em matéria seca produzida em relação ao material pré-existente; e taxa de assimilação líquida (TAL), que traduz a eficiência fotossintética.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o crescimento da espécie *Bambusa vulgaris*, do primeiro ao segundo ano após o plantio, em um sistema

florestal de curta rotação, voltado para a produção de biomassa, com finalidade bioenergética, por meio de ferramenta de análise quantitativa de crescimento.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Descrição da área de estudo

O estudo foi conduzido em um plantio experimental de *Bambusa vulgaris* na Fazenda Lageado, propriedade da UNESP, situada no município de Botucatu, na região Centro-Oeste do Estado de São Paulo (22°50'21"S e 48°25'20"O), com altitude de 786 m. A precipitação média anual histórica é de 1428,4 mm ano⁻¹ e o clima, de acordo com a classificação de Köppen é Cfa, mesotérmico úmido. A temperatura média é de 17,1°C, no mês mais frio, e 23°C no mês mais quente. A temperatura média anual é de 20,3°C (CUNHA & MARTINS, 2009). A área experimental corresponde a um solo Latossolo Vermelho-Amarelo com textura média (VETTORATO, 2003), anterior ao plantio a área continha antigo plantio de eucalipto, misturado com pastagem.

O plantio foi realizado manualmente em janeiro de 2016, foram realizadas gradagem e sulcagem, após foi realizada calagem aplicando 5 t ha⁻¹ de calcário (PRNT 85%), corrigindo de 0 a 40 cm de profundidade de solo. Ao longo do experimento foram realizadas capinas manuais e eventuais aplicações de herbicida (Glifosato 2 L ha⁻¹), até o fechamento do dossel. As mudas de *Bambusa vulgaris* foram provenientes do viveiro da Taboca, em Tatuí, São Paulo, Brasil.

O esquema utilizado foi SFCR (Sistema Florestal de Curta Rotação), com espaçamento adensado para a espécie, de 3 x 2 m. Foram utilizadas as 48 touceiras centrais para as avaliações, que estavam envolvidas por bordadura simples.

Comparado à cana-de-açúcar, podemos dizer que no ano de estudo as touceiras de *B. vulgaris*, assim como previamente e posteriormente, encontravam-se do estádio um ao quatro de desenvolvimento, segundo MOORE & BOTHA (2014), ou seja, desenvolvimento foliar do broto principal, perfilhamento, alongamento do colmo e desenvolvimento do colmo, respectivamente, evidenciando estarem em

estádio vegetativo. Já colmos mais antigos, em estágio de maturação, quando há decréscimo na taxa na emergência de folhas e na umidade do colmo, ainda sem apresentar florescimento.

Os dados climáticos diários de temperatura média ($^{\circ}\text{C}$), precipitação (mm) e os dados de radiação global ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foram obtidos da Estação Meteorológica Lageado, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP de Botucatu-SP durante o período compreendido a este estudo.

2.2.2 Variáveis avaliadas

Entre os meses de janeiro de 2017 e janeiro de 2018 foram realizadas cinco avaliações a cada três meses sendo elas aos 365, 437, 535, 635 e 730 dias após o plantio respectivamente nos meses de janeiro, abril, julho e outubro de 2017 e janeiro de 2018.

Em cada avaliação, uma touceira inteira, representativa, de acordo com dados prévios à avaliação de inventários florestais, foi retirada para a obtenção da área foliar e massa seca. Dessa forma, ainda em campo, foram selecionados colmos em diferentes estágios de desenvolvimento, sendo selecionados um colmo considerado jovem (Estágio 1 de desenvolvimento - desenvolvimento foliar do broto), um intermediário (Estágio 2 e 3 - alongamento e desenvolvimento do colmo, respectivamente) e um velho (Estágio de maturação), de acordo com diâmetro à altura do peito: 3 – 10 mm para colmos velhos; 15 – 25 mm para colmos intermediários; 30 – 40 mm para colmos novos.

Assim que coletados, os colmos foram desfolhados e imediatamente foi obtida a massa total de folhas, para posterior obtenção de massa seca (MS), dela foi separado um quarto de folhas de cada colmo selecionado para ser analisada a área foliar (AF) com o auxílio de um medidor de área foliar, LAI – 3100 (LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, NE, EUA). As folhas separadas foram colocadas em sacolas plásticas, identificadas e armazenadas em refrigerador a 4°C até o próximo dia, para a avaliação. Também foram separados os ramos e montante do colmo que foram pesados para obtenção da massa verde.

Com o restante das folhas foram feitas três repetições, com 300g de folha, o mesmo foi realizado com os ramos, para estimar o teor de umidade. No caso do caule, toda a massa vegetal verde foi separada para a secagem. Todos os materiais separados foram levados para secagem em estufa a 65 °C até obtenção de massa de matéria seca constante (MS) em balança analítica. A mesma metodologia foi utilizada para as cinco avaliações.

2.2.3 Análise de crescimento

Os dados de massa seca total (MS) e área foliar (AF), associados ao período das avaliações, foram utilizados para as análises de crescimento de acordo com a metodologia proposta por BENINCASA (2003). Os cálculos foram realizados primeiramente para cada colmo individualmente e depois para a somatória de todos os colmos, por avaliação, visando representar a touceira como um todo. Calculou-se, para cada avaliação, o índice de área foliar (Equação 1), e a área foliar específica (Equação 2). Nos intervalos de três meses entre cada coleta, calculou-se a taxa de crescimento relativo (Equação 3) e a taxa de assimilação líquida (Equação 4). Os índices obtidos pelas fórmulas matemáticas foram ajustados, em função do tempo, por equação exponencial cúbica com auxílio de programa computacional de análise de crescimento para culturas anuais, que relaciona a área foliar e massa seca (PORTES & CASTRO JR., 1991).

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad (1)$$

Onde, AF é a área foliar total (m²) e S é a superfície do solo disponível (m²). Unidade em m² m⁻².

$$AFE = \frac{AF}{MS_{folhas}} \quad (2)$$

Onde, AF é a área foliar total (m²) e MS_{folhas} é a massa seca total das folhas (kg). Unidade em dm² g⁻¹.

$$TCR = \frac{(\ln MS_n - \ln MS_{n-1})}{(t_n - t_{n-1})} \quad (3)$$

Onde, MS_n é o logaritmo neperiano da massa seca total no tempo n (g), MS_{n-1} é o logaritmo neperiano da massa seca total no tempo $n-1$ (g), t_n é a coleta no tempo n (dias) e t_{n-1} é a coleta no tempo $n-1$ (dias). Unidade em $g^{-1} \text{ dia}^{-1}$.

$$TAL = \frac{(MS_n - MS_{n-1})}{(t_n - t_{n-1})} \times \frac{(\ln AF_n - \ln AF_{n-1})}{(AF_n - AF_{n-1})} \quad (4)$$

Onde, MS_n é a massa seca total no tempo n (g), MS_{n-1} é a massa seca total no tempo $n-1$ (g), t_n é a coleta no tempo n (dias), t_{n-1} é a coleta no tempo $n-1$ (dias); $\ln AF_n$ é o logaritmo neperiano da área foliar no tempo n (dias) e $\ln AF_{n-1}$ é o logaritmo neperiano da área foliar no tempo $n-1$ (dias) e AF_n é a área foliar no tempo n (dias) e AF_{n-1} a área foliar no tempo $n-1$ (dias). Unidade em $g \text{ dm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de estudo a temperatura variou entre 6,6 °C, no mês mais frio, e 35,1 °C, no mês mais quente, com média de 21 °C, valores que condizem com o histórico anual da cidade de Botucatu, SP. Quanto à precipitação, CUNHA & MARTINS (2009) descrevem que, historicamente, no período de 30 anos, a média anual de precipitação no município foi de 1428,4 mm. No período deste estudo, entre 30 de janeiro de 2017 e o 08 de janeiro de 2018, o total de precipitação foi igual 2029,35 mm, 42% maior do que a média histórica.

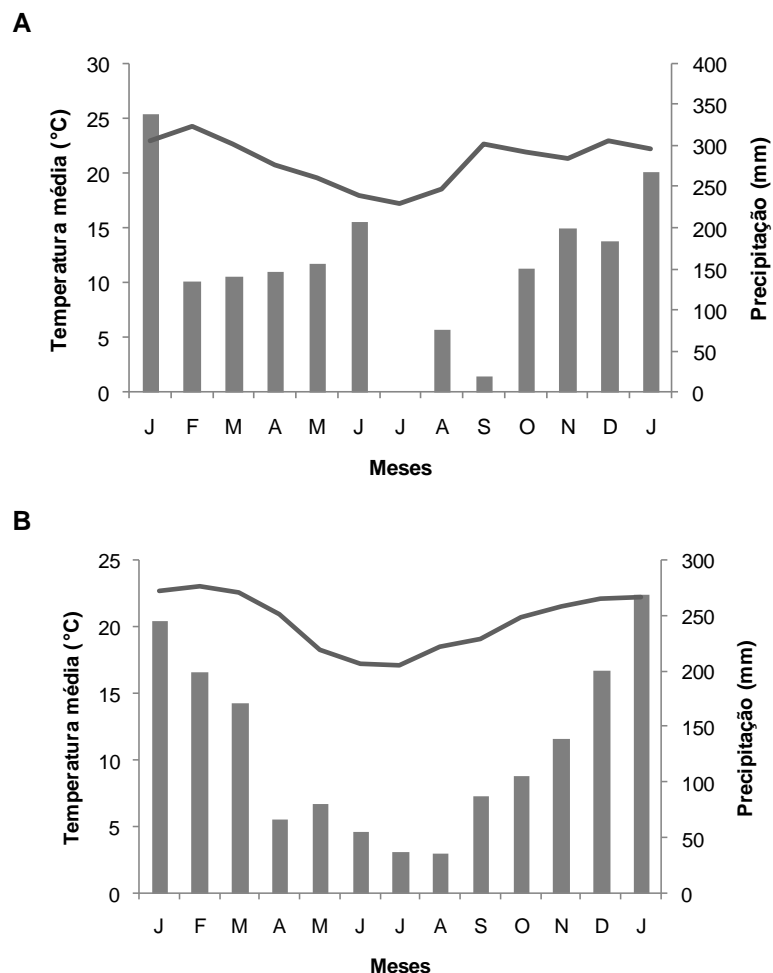
Observando a Figura 1 nota-se que, comparada às médias históricas, no ano que compreendeu o estudo houve diferença de precipitação, principalmente entre os meses de fevereiro e julho de 2017. De acordo com INÁCIO (2009), em Botucatu-SP o período chuvoso compreende os meses de outubro a março, momento que

apresenta mais de 80% das chuvas de todo o ano. No período de estudo a porcentagem para o período chuvoso foi de 65%, enquanto no período seco (abril a setembro) ocorreram 35% das chuvas, 15% a mais do que o previsto.

Entretanto, não podemos descartar a hipótese de que no período histórico de 30 anos, estudado por CUNHA & MARTINS (2009), não houve a ocorrência de um ano similar ao desse estudo.

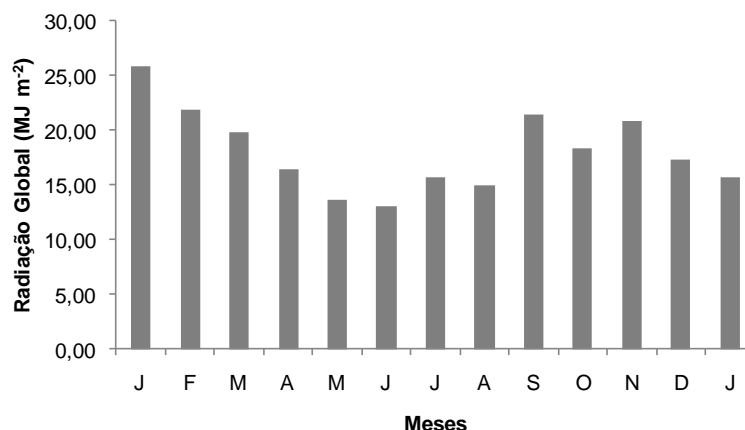
Segundo LIMA NETO et al. (2010), os bambus, de modo geral, possuem bom desenvolvimento com o mínimo anual de precipitação de 1200 mm, tratando-se de uma espécie que necessita de grande quantidade de água para se desenvolver e Botucatu-SP mostra-se favorável para o cultivo. Desenvolve-se melhor em altitudes de 900 m a 1600 m (SOUZA, 2010) e o plantio de estudos e encontrava a 786 m de altitude.

Figura 1 - Climogramas do município de Botucatu, SP, Brasil. A) Climograma do período próximo a um ano entre 30 de janeiro de 2017 a 08 de janeiro de 2018. B) Climograma histórico do período de 30 anos compreendido no estudo de CUNHA & MARTINS (2009). Linhas indicam a temperatura (°C) e colunas indicam a precipitação (mm).



A média diária de radiação global do período estudado foi de $18,11 \text{ MJ.m}^{-2}$, com máximo de energia em janeiro de 2017 (365 DAP), com $25,88 \text{ MJ.m}^{-2}$ e mínimo igual a $13,10 \text{ MJ.m}^{-2}$ em junho de 2017, anterior a coleta de 535 DAP (julho de 2017) (Figura 2). Esses valores são maiores do que os encontrados por INÁCIO (2009) que descreveu para o período 1996 – 2005 média igual a $17,60 \text{ MJ.m}^{-2}$, máxima de $18,32 \text{ MJ.m}^{-2}$ e mínimo de $16,72 \text{ MJ.m}^{-2}$.

Figura 2 –Evolução da radiação global para o período entre janeiro de 2017 e janeiro de 2018 na Fazenda Lageado, UNESP de Botucatu – SP



Nestas condições, analisando os colmos, tanto individualmente, quanto a somatória dos colmos por touceira, observou-se que a área foliar (AF) apresentou desenvolvimento de acordo com a disponibilidade hídrica, com exceção do colmo velho que já encontrava-se em estágio de maturação (Figura 3). As equações de ajuste da massa seca total (MS) e área foliar (AF) em função do tempo, assim como o coeficiente de determinação (R^2) encontram-se na Tabela 3.

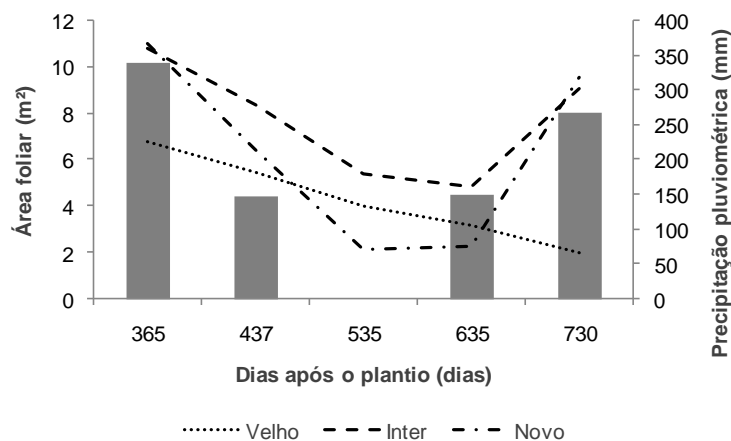
Tabela 3 - Equações de ajuste de matéria seca (MS) e área foliar (AF), com auxílio de um programa computacional de análise de crescimento para culturas anuais, em função do tempo de cada colmo individual avaliado de *Bambusa vulgaris* e da somatória dos colmos por touceira

Tipo de colmo	Equação	R^2
Velho	$MS = (5813,44) + (-24,47931)x + (3,738479E-02)x^2 + (-1,551101E-05)x^3$	0,968
	$AF = (3,862619) + (-1,294936E-2)x + (1,861491E-05)x^2 + (-1,024092E-08)x^3$	0,970
Interm	$MS = (-15876,24) + (88,84658)x + (-0,1302186)x^2 + (5,844923E-05)x^3$	0,519
	$AF = (-1,12656) + (2,959344E-02)x + (-8,256376E-05)x^2 + (6,417462E-08)x^3$	0,834
Novo	$MS = (-77,161,31) + (476,1493)x + (-0,9158694)x^2 + (5,670105E-04)x^3$	0,945
	$AF = (2,371396) + (1,771794E-02)x + (-7,927652E-05)x^2 + (7,309401E-08)x^3$	0,997
Somatória	$MS = (-87264,37) + (540,7496)x + (-1,009137)x^2 + (6,102097E-04)x^3$	0,648
	$AF = (33,30971) + (0,1906236)x + (8,297743E-04)x^2 + (7,439687E-07)x^3$	0,981

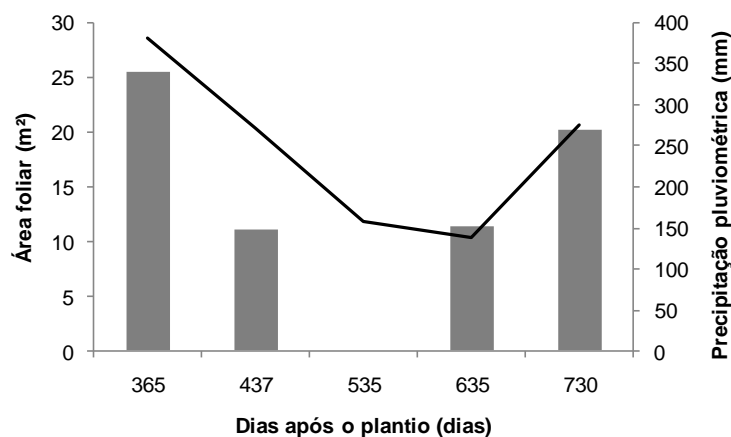
*Significância a 5%

Figura 3 – Área foliar (AF) de cada colmo individual de *Bambusa vulgaris* (velho, intermediário e jovem) (A) e da somatória dos colmos por touceira (B) avaliada no período de janeiro de 2017 a janeiro de 2018. Linhas indicam AF e colunas indicam precipitação

A



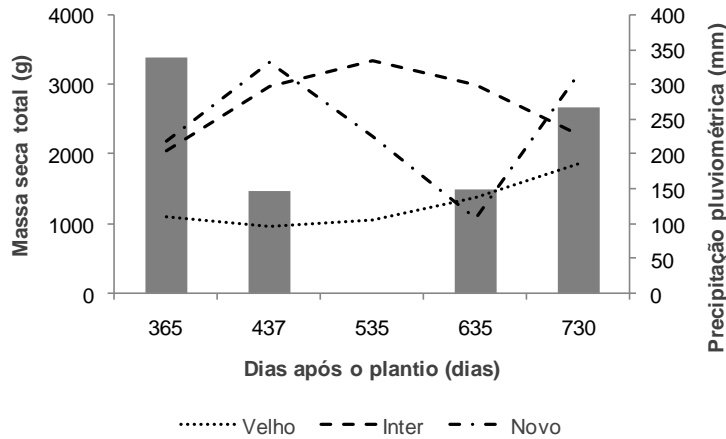
B



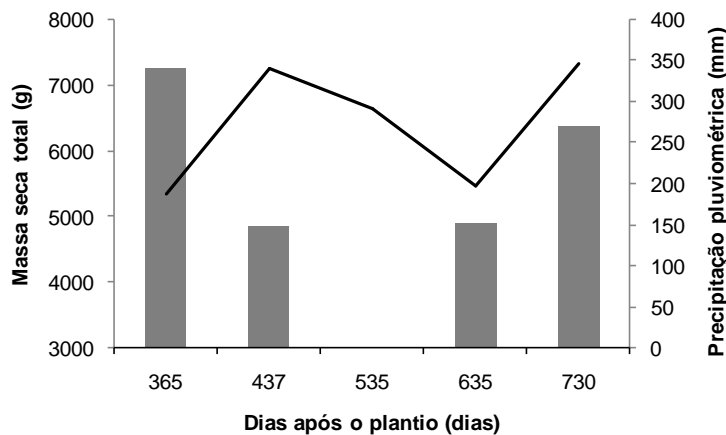
Por outro lado, a matéria seca total (MS), individual e por touceira, não apresentou resultado similar (Figura 4). Segundo MEDRANO et al. (2007), há uma forte relação entre a precipitação e a produção de biomassa dos indivíduos, partindo disso observa-se que a MS aumenta em decorrência da precipitação prévia à coleta. Da mesma forma, a maior AF em janeiro de 2017 (365 DAP), observa-se que a produção de massa seca da subsequente avaliação é inversamente proporcional, indicando que a AF cai, entretanto os fotoassimilados são translocados para os outros órgãos, principalmente, ramos e colmo, aumentando a produção nos meses seguintes.

Figura 4 – Massa seca total (MS) de cada colmo individual de *Bambusa vulgaris* (velho, intermediário e jovem) (A) e da somatória dos colmos por touceira (B) avaliada no período de janeiro de 2017 a janeiro de 2018. Linhas indicam MS e colunas indicam precipitação

A



B



O mesmo padrão encontrado para a AF, em relação à precipitação, foi observado para o índice de área foliar (IAF), considerando-se os colmos avaliados individualmente e por touceira (Figura 5). A média anual de IAF da touceira, no período do estudo, foi de 3,02 m² de folham⁻² de solo, compatível com o encontrado por VERGARA (2018), no período compreendido entre agosto de 2016 e agosto de 2017, no mesmo local de estudo.

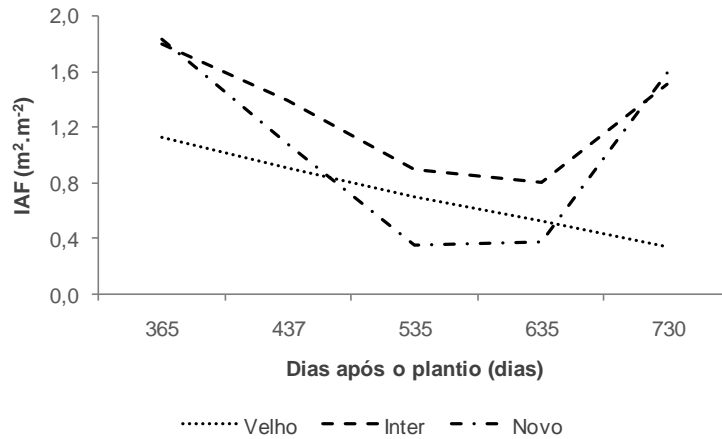
O máximo de IAF, momento de maior produção de biomassa, foi obtido aos 365 DAP (janeiro de 2017), com 4,84 m² m⁻². Nesse momento começa a ocorrer o auto-sombreamento das folhas, diminuindo a área útil para realização de fotossíntese, além do período de estiagem entre os 535 e 635 DAP, que fizeram com que a queda

do IAF fosse mais acentuada. No período seguinte, a partir de outubro de 2017 (635 DAP), em um novo ciclo de chuvas, o IAF volta a aumentar com um valor de 3,48 m² m⁻² aos 730 DAP.

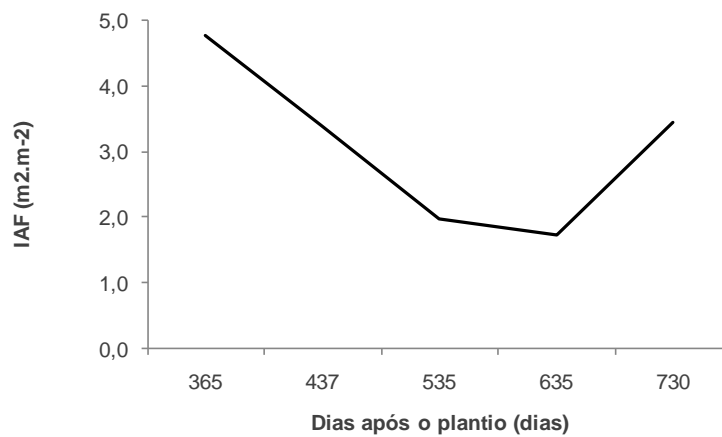
SOUZA et al. (2009) descrevem que tanto deficiência hídrica quanto menor atividade fotossintética podem influenciar na arquitetura de copa, surtindo efeitos também em IAF. Copas esféricas possuem maior projeção e tendem a menor quantidade de folhas fotossinteticamente ativas, assim como folhas com angulação vertical proporcionam menor captação de luz. Os bambus apresentam todas essas características de copa e angulação de folha, além de ser sensível ao déficit hídrico, o que pode explicar a queda de IAF, podendo ser uma justificativa (Figura 5).

Figura 5 - Índice de área foliar (IAF) de cada colmo individual de *Bambusa vulgaris* (velho, intermediário e jovem) (A) e da somatória dos colmos por touceira (B) avaliada no período de janeiro de 2017 a janeiro de 2018

A



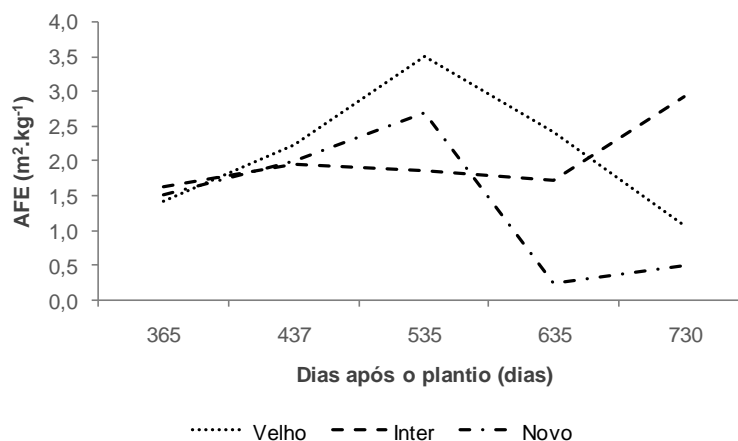
B



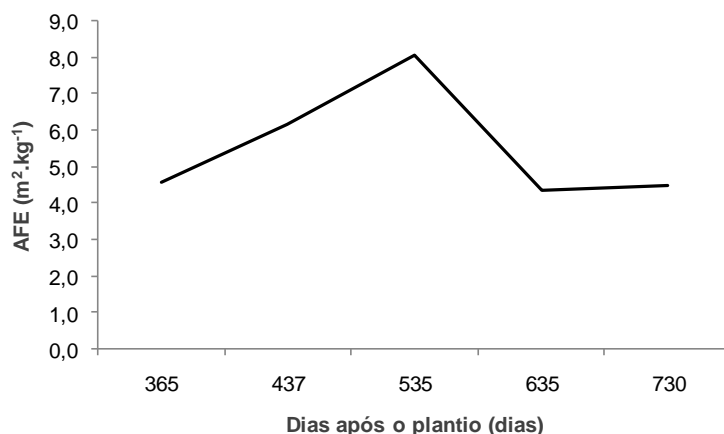
O sombreamento causado pelo elevado valor de AF e IAF, também pode ser observado pela área foliar específica (AFE), pois segundo GUREVITCH et al. (2009) folhas sombreadas tendem a apresentar limbo foliar menos espesso, o que aumenta a área foliar específica (AFE). De acordo com LAMBER et al. (1998), essa alteração anatômica tem relação com o aumento da captação e aproveitamento da luz incidente. Dessa forma a expressão da AFE foi inversamente proporcional ao IAF (Figura 6).

Figura 6 – Área foliar específica (AFE) de cada colmo individual de *Bambusa vulgaris* (velho, intermediário e jovem) (A) e da somatória dos colmos por touceira (B) avaliada no período de janeiro de 2017 a janeiro de 2018

A



B



MARAÑÓN & GRUBB (1993), citam que a AFE é uma estratégia de alocação de biomassa, sendo assim, JAUER et al. (2003) explicam que seu aumento também pode ser decorrente da redução do número de folhas, ou seja, em caso de estresse pode ser necessário a redistribuição de nutrientes, fotoassimilados e reservas, ocorrendo após isso a senescência das folhas para a sobrevivência da planta. Segundo SILVA et al. (2005), essa diferença no espessamento foliar permite avaliar se a planta está alocando biomassa nas folhas em outros componentes.

Autores afirmam que a TCR é bem explicada pela taxa de assimilação líquida (TAL) (LAMBERS et al., 1998), afinal esses dias tem relação direta entre si. No caso deste estudo, além da TAL, podemos associar a TCR também ao IAF, pois ao chegar a seu ponto ótimo, como já mencionado, ocorre também a máxima

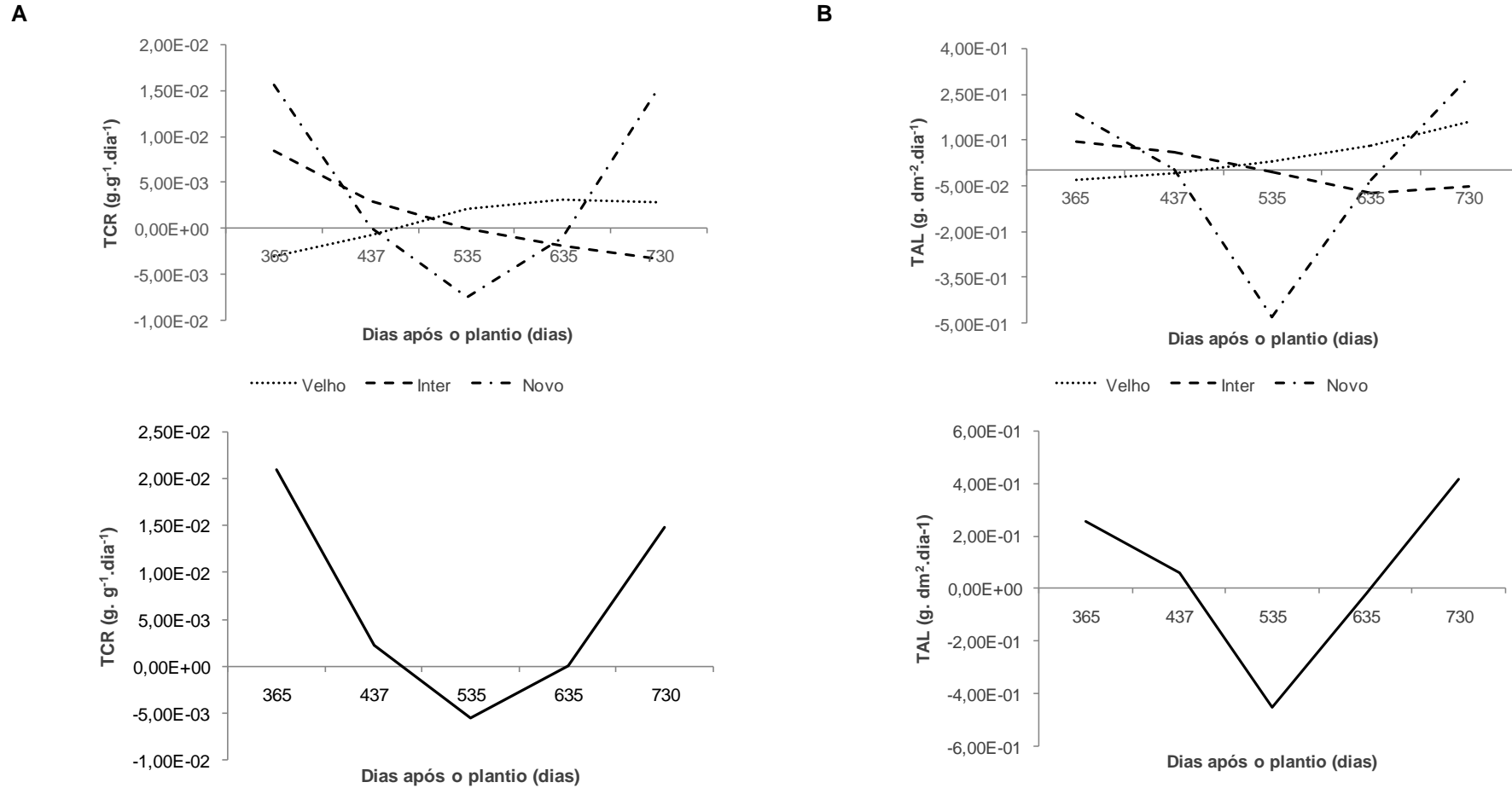
produtividade em biomassa, sendo evidenciado pela TCR que apresentou em janeiro de 2017 (365 DAP) sua maior taxa, com $8,98E-03 \text{ g.m}^2.\text{dia}^{-1}$, ocorrendo a partir de então queda acelerada tanto da TAL quanto da TCR.

Essa queda evidencia o crescimento acelerado do plantio, devido à elevada eficiência fotossintética anterior. Dessa forma, os dados negativos são explicados pelo sombreamento das folhas, o que diminui as taxas fotossintéticas e assim o acúmulo de biomassa. (Figura 7).

O IAF também apresenta correlação positiva com a TAL. CONCENÇO et al. (2015) concluíram que a TAL pode descrever diretamente o desenvolvimento de uma cultura em condições de campo e pode ser altamente influenciada pela duração de área foliar (DAE), para esse estudo podemos inferir que pode ser altamente influenciada também pelo IAF. Pois com o sombreamento, após o IAF ótimo, ocorre uma menor taxa fotossintética das folhas que, segundo SOUZA et al. (2009), continuam realizando a respiração do fotoassimilados para os outros componentes da planta.

Ao analisarmos os colmos individualmente, percebemos que as interpretações acima sobre TCR e TAL não são válidas para os colmos velhos que apresentam um metabolismo diferente dos outros dois tipos de colmos ao apresentar um aumento de TCR e TAL enquanto há uma diminuição do IAF. Tratando-se da touceira como um todo, em todos os índices estudados o colmo novo foi o mais representativo.

Figura 7 – Taxa de crescimento relativo (TCR) (A) e Taxa de assimilação líquida (TAL) (B) de cada colmo individual de *Bambusa vulgaris* (velho, intermediário e jovem) (A) e da somatória dos colmos por touceira (B) avaliada no período de janeiro de 2017 a janeiro de 2018



2.4 CONCLUSÕES

O *Bambusa vulgaris* mostrou-se uma espécie, de rápido crescimento, evidenciado por TAL e TCR, que se relaciona diretamente com a precipitação, uma vez que tanto AF quanto IAF apresentaram desenvolvimento proporcional com as chuvas.

O colmo mais representativo de todos os índices avaliados (IAF, AFE, TCR e TAL), foi o colmo caracterizado como novo, que pode vir a ser estudado a fim de representar a touceira como um todo.

2.5 REFERÊNCIAS

BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. **Funep**, 2ª edição, Jaboticabal. 41p, 2003.

CHARLES-EDWARDS, D.A.; DOLEY, D.; RIMMINGTON, G.M. **Modelling plant growth and development**. North Ryde: Academic Press, 1986. 235 p

CHAVES, R.A.; REIS, M. das G.F.; REIS, G.G.; PEZZOPANE, J.E.M.; XAVIER, A; e Monte, M.A. 2007. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamento de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Revista Árvore**, v. 31, p. 989-998.

CONCENÇO, G.; ASPIAZU, I.; FERREIRA, E.A.; GALON, L.; SILVA, A.F. **Physiology of crops and weeds under biotic and abiotic stresses**. 2012. Disponível em: <<http://www.intechweb.org>>. Acessado em: 18 de dezembro de 2018.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DRUMOND, P.M.; WIEDMAN, G. **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. 1 ed. – Rio de Janeiro: ICH, 2017.

GUREVITCH, J.; SCHEINER, S. M; FOX, G. A. **Ecologia Vegetal**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 592 p, 2009.

INÁCIO, T. **Potencial solar das radiações global, difusa e direta em Botucatu**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2009.

LAMBERS, H.; CHAPIM III, F.S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 540p, 1998.

LIMA NETO, M.C.; BEZERRA NETO, F.K.P.; BARRETO, L.P.; SILVA, J.A.A. Exportação de macronutrientes em cultivos comerciais de bambu no tabuleiro costeiro do estado da Paraíba. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 2, p. 251-257, 2010.

MEDRANO, H.; NA BOTA, J.; CIFRE, J.; FLEXAS, J.; RIBAS-CARBÓ, M.; Gulías, J. Eficiencia em el uso del agua por las plantas. **Investigaciones Geográficas**, Alicante, n. 43, p. 63-84, 2007.

MOORE P.H.; BOTHA F.C. **Sugarcane: physiology, biochemistry and functional biology**. Wiley-Blackwell, New Jersey, pp 716, 2014

MOREIRA, A.C.O. **Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schrad. EX J.C. WENDI. var. vulgaris e dos resíduos de caldeira no processo de conversão térmica de energia**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília. 2012.

OLIVEIRA, M.A.; PEREIRA, O.G.; GOMIDE, J.A.; HUAMAN, C.A.M.; GARCIA, R; e CECON, P.R. 2000. Análise de crescimento de capim-bermuda “Tifton 85” (*Cynodon* spp.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 29, p. 1930-1938.

PORTES, T. A.; CASTRO JUNIOR, L. G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. **Revista Brasileira de Fisiologia**, Lavras, v.3, 53-60, 1991.

SANTOS, D.R.S.; JUNIOR, C.R.S.; SILVA, M.F, YAMAJI, F.M.; ALMEIDA, R.A. Potencial de espécies de Bambu como fonte energética. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 751-758, 2016.

SCURLOCK, J.M.O.; DAYTON, D.C.; HAMES, B. **Bamboo: an overlooked biomass resource?**. National Renewable Energy Laboratory, 34p, 2000.

SOUZA, E.B. **Estudos da viabilidade técnica para o cultivo de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*) em Planaltina-DF**. UPIS – Faculdades Integradas, Boletim Técnico, p.46, 2010.

SOUZA, G. M. et al. Estratégias de utilização de luz e estabilidade do desenvolvimento de plântulas de *Cordia superba* Cham . (Boraginaceae) crescidas em diferentes ambientes luminosos. **Acta botânica.brasileira**, v. 23, n. 2, p. 474–485, 2009.

SETTE JR, C.R.; FREITAS, P.C.; FREITAS, V.P.; YAMAJI, F.M.; ALMEIDA, R.A. Production and characterization of bamboo pellet. **Bioscience. Journal**, Uberlândia, v. 32, n. 4, p. 922-930, July/Aug. 2016.

VARANDA, L.D.; CARASCHI, J.C.; ALMEIDA FILHO, F. **Potencial energético do carvão vegetal de bambu**. In: Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira, 12., 2010, Lavras. **Anais [...]**. Lavras: UFLA, 2010.

VERGARA, G.C.V. **Ecofisiologia e produtividade de *Bambusa* sp., *Eucalyptus* spp. e *Salix* sp. em sistemas florestais de curta rotação**. 2018. Tese (Doutorado

em Ciências Florestais) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2018.

VETTORATO, J. A. **Mapeamento da fertilidade do solo utilizando sistemas de informação geográfica**. 2003. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, 2003.

WHALE, D.M., HEILMEIER, H., MILBRODT, H. The application of growth analysis to structure experimental designs and a new procedure for estimating unit leaf rate and its variance. **Ann. Bot.** (Lond.), v. 56, p. 631-50, 1985.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após um ano de estudo, e dois anos acompanhando o plantio desde sua implantação, o cultivo de *Bambusa vulgaris* surpreendeu, positivamente, a toda equipe.

Acostumados a trabalhar com culturas como o eucalipto, que demandam tratamentos culturais desde antes de sua implantação até o fechamento do dossel, o *B. vulgaris* ao contrário do que estávamos acostumados, não aparentou a necessidade de nenhum desses tratamentos, seja aplicação de fertilizantes, herbicidas ou inseticidas.

Todas essas aplicações ocorreram durante os últimos dois anos, porém apenas por zelo e cuidado com o experimento, não havendo necessidade real. Isso mostra que, além do potencial de produtividade mostrado nesse estudo, *B. vulgaris* também é um cultivo de baixo custo ao produtor, sendo mais um aspecto positivo ao cultivo da espécie.

Por ser um estudo inédito, tudo o que fizemos foi por tentativa e erro, desde o inventário florestal de bambu até enumerar e medir mais de 12 mil folhas, uma a uma, dessa forma, os dados aqui apresentados possuem elevado nível de precisão e confiabilidade.

De qualquer forma, tudo valeu a pena com o resultado final dessa dissertação que abriu e, provavelmente, ainda abrirá mais espaço ao cultivo de bambu que tem crescido cada dia mais no nosso país. Esse estudo pode ser considerado pioneiro na área de ecofisiologia para a espécie *Bambusa vulgaris*, e até para outras espécies de bambu, podendo servir de referência para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A.Q.; RIBEIRO, A.; DELGADO, R.C.; RODY, Y.P.; OLIVEIRA, A.S.; LEITE, F.P. Índice de área foliar de *Eucalyptus* estimado por índices de vegetação utilizando imagens TM – Landsat 5. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 22, p. 368-376, 2015.
- ANSELMO FILHO, P.; BADR, O. Biomass resources for energy in North-Eastern Brazil. **Applied Energy**, v. 77, p. 51-67, 2004.
- AZZINI, A.; CIARAMELO, D.; SALGADO, A.L.B. Velocidade de crescimento dos colmos de algumas espécies de bambu. **O Agrônomo**, v.41, p. 17-23, 1989.
- BRITO, J.O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A.L.B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **IPEF**, Piracicaba, n.36, p. 13-17, 1987.
- BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal, **Funep**, 2ª edição, 41p, 2003.
- CAMPOE, O.C. **Efeito de práticas silviculturais sobre a produtividade primária líquida de madeira, o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz em plantios de restauração da Mata Atlântica**. 2008. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- CARDOSO, G. D.; ALVES, P.L.C.A.; BELTRÃO, N. E. M.; BARRETO, A. F. Uso da análise de crescimento não destrutiva como ferramenta para avaliação de cultivares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, 2006.
- CARON, B.O.; SOUZA, V.Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; SCHMIDT, D.; BAMBERG, R.; ELOY, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada em fitomassa de mudas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.36, p. 833-842, 2012.
- CIVIERO, J.C. **Arranjo de plantas em cana-de-açúcar: comportamento do sistema radicular, análise de crescimento, componentes morfológicos e de produção**. 2014. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- COSTA, C.T.S.; FERREIRA, V.M.; ENDRES, L; FERREIRA, D.T.R.G.; GONÇALVES, E.R. Crescimento e produtividade de quatro variedades de cana-de-açúcar no quarto ciclo de cultivo. **Revista Caatinga**, v. 24, n. 3, p. 56-63, 2011.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.
- DELGADO, P.S. **O bambu como material ecoeficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

ELOY, E.; CARON, B.O.; SILVA, D.A.; SOUZA, V.Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E.F. Produtividade energética de espécies florestais em plantios de curta rotação. **Ciência Rural**, v. 45, n.8, p. 1424-1431, 2015.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2016**. 62p, 2016.

FANG, H.; LIANG, S. Leaf Area Index Models. **Encyclopedia of Ecology**, p. 2139-2148, 2008.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED STATES (FAO). **World bamboo resources – A thematic study prepared in the framework of the Global Forest Resources Assessments 2005**. Rome, 2007.

FILGUEIRAS, T.S.; GONÇALVES, A.P.S. A checklist of the basal grasses and bamboos in Brazil (POACEAE). **The Journal of the American Bamboo Society**, v. 18, p. 7-18, 2004.

GARCÍA, N.P.; GONZÁLEZ, M.R.; MARTÍNEZ, G.E.R.; RUÍZ, R.M.; VALVERDE, B.R.; SÁNCHEZ, J.P.J. El bambú (*Bambusa* spp.) como sistema agroflorestal: una alternativa de desarrollo mediante el pago por servicios ambientales em la sierra nororiental del estado de Puebla. **Ra Ximhai**, v. 5, n. 3, p. 335-346, 2009.

GARCIA, E.A.; GUERRA, S.P.S.; JUNIOR, H.J.E.; SANSÍGOLO, C.A.; LANÇAS, K.P.; YAMAJI, F.M. Análise química da madeira com casca em sistemas florestais de curta rotação. **Revista Árvore**, v. 40, p. 163-171, 2016.

GAVA, G. J. C.; TRIVELIN, P. C. O.; OLIVEIRA, M. W.; PENATTI, C. P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, 2001.

GIUNTI NETO, C.J.; HAKAMADA, R.E.; OTTO, M.S.G.; SILVA, S.R.; STAPE, J.L. Calibração de dois métodos indiretos para estimativa do índice de área foliar em plantações de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 919-930, 2015.

GOETHEM, D.V.; SMEDT, S.; VALCKE, R.; POTTERS, G.; SAMSON, R. Seasonal, diurnal and vertical variation of chlorophyll fluorescence on *Phyllostachys humilis* in Ireland. **Ploss one**, v. 8, 2013.

GONZÁLEZ-GARCIA, S.; MOREIRA, M.T.; FEIJOO, G.; MURPHY, R.J. Comparative life cycle assessment of ethanol production from fast-growing wood crops (black locust, eucalyptus and poplar). **Biomass and Bioenergy**, v. 39, p. 378-388, 2012.

GRECO, T.M.; CROMBERG, M. **Bambu: cultivo e manejo**, Florianópolis: Insular, 1181 p, 2011.

GUARNETTI, R.L. Cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil: aspectos técnicos econômicos e ambientais. 2013. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

GUERRA, S.P.S.; GARCIA, E.A.; LANÇAS, K.P.; REZENDE, M.A.; SPINELLI, R. Heating value of eucalypt wood grown on SRC for energy production. **Fuel**, v. 137, p. 360-363, 2014.

GUIMARÃES, M.J.; NOVACK, K.M.; BOTARO, V.R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 11, p. 442-456, 2010.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – Ibá. **Relatório anual 2016**. 100p, 2016.

JORDÃO, W.H.C.; ZANCHI, F.B., FERREIRA, D.M.M.; PAGANI, C.H.P.; LUIZÃO, F.H.; NEVES, J.R.D.; DUARTE, M.L. Variabilidade do índice de área foliar em campos naturais e floresta de transição na região Sul do Amazonas. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2., 2015.

LANDSBERG, J. **Physiology in forest models: History and the future**. FBMIS, v. 1, p. 49-63, 2003.

LANDSBERG, J.; SANDS, P. **The carbon balance of tree and stands**. Physiological Ecology of Forest Production: Principals, Process and Models, 1.ed., Elsevier Inc., 118-129, 2011.

LINHARES, C.A.; PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. Relação entre volume de madeira e índice de área foliar em um povoamento de *Pinus* spp.: estudo de caso. **Revista Árvore**, v. 24, p. 47-54, 2000.

MACEDO, R.C. Avaliação de continuidade espacial para colonização de plantas C4. **RPGeo**, v. 2, n. 2, p. 46-54, 2015.

MAIRE, G.; MARSDEN, C.; VERHOEF, W.; PONZONI, F.J.; SEEN, D.; BÉGUÉ, A.; STAPE, J.L.; NOUVELLON, Y. Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of *Eucalyptus* plantations. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 586-599, 2011.

MARAFON, A.C. **Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2012.

MOREIRA, A.C.O. **Caracterização de *Bambusa vulgaris* Schrad. EX J.C. WENDI. var. vulgaris e dos resíduos de caldeira no processo de conversão térmica de energia**. 2012. 61 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília. 2012.

NASCIMENTO, H.H.C.; NOGUEIRA, R.J.M.C.; SILVA, E.C.; SILVA, M.A. Análise do crescimento de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) em diferentes níveis de água no solo. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 617-626, 2011.

OLIVAS, P.C.; OBERBAUER, S.F.; CLARK, D.B.; CLARK, D.A.; RYAN, M.G.; O'BRIEN, J.J.; ORDOÑEZ, H. **Comparison of direct and indirect methods for assessing leaf area index across a tropical rain forest landscape**. Agricultural and Forest Meteorology, vol.177, 110-116, 2013.

PELL, C.J.; SAMUELSON, L.J. Effects of fertilization and three years of throughfall reduction on leaf physiology of loblolly pine. **Proceedings of the 18th biennial Southern silvicultural research conference**. NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. p. 345-348, 2016.

PROTÁSIO, T.P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G.H.D.; GUIMARÃES, M.J.; TRUGILHO, P.F.; MENDES, L.M. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. *Bio Resources*, v. 8, p. 1166-1185, 2013.

RADFORD, P. J. Growth analysis formulae: their use and abuse. *Crop Science*, Madison, v. 7, n. 3, p. 171-175, 1967.

RÜGNITZ, M.T.; CHACÓN, M.L.; PORRO, R. **Guía para la determinación de carbono em pequenas propriedades rurales**. Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF)/ ConsórcioIniciativaAmazônica (IA), 1.ed., 79p, 2009.

RYU, Y.; VERFAILLIE, J.; MACFARLANE, C.; KOBAYASHI, H.; SONNENTAG, O.; VARGAS, R.; MA, S.; BALDOCCHI, D.D. Continuous observation of tree leaf area index at ecosystem scale using upward-pointing digital cameras. *Remote Sensing of Environment*, v. 126, p. 116-125, 2012.

SANQUETTA, C.R.; CÔRTE, A.P.D.; ROGLIN, A.; MOGNON, F. Biomassa individual de *Bambusa oldhami* Munro e *Bambusa vulgaris* Schrad. Ex J.C. Wendl. *Cerne*, v. 21, n. 1, p. 151-159, 2014.

SANTOS, D.R.S.; JUNIOR, C.R.S.; SILVA, M.F, YAMAJI, F.M.; ALMEIDA, R.A. Potencial de espécies de Bambu como fonte energética. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 44, n. 111, p. 751-758, 2016.

SCURLOCK, J.M.O.; DAYTON, D.C.; HAMES, B. **Bamboo: an overlooked biomass resource?**. National Renewable Energy Laboratory, 34p, 2000.

SEVALIA, J.K.; SIDDHPURA, N.B.; AGRAWAL, C.S.; SHAH, D.B., KAPADIA, J.V. **Study on bamboo as reinforcement in cement concrete**. *International Journal of Engineering Research and Applications*. ISSN: 2248-9622, 2013.

SILVA, D.K.T.; DAROS, E.; ZAMBOM, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; ZUFFELLATORIBAS, K.C.; KOEHLER, H. S.; OLIVEIRA, R. A. Análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar em cana-soca no noroeste do Paraná na safra de 2002/2003. *Scientia Agraria*, v. 6, n. 1-2, p. 47-53, 2005.

SILVA, I.F.; PEREIRA, D.S.; SILVA, S.R.F. Estudos morfológicos do bambu (*Bambusa cf. vulgaris* L.), uma espécie invasora em área de mata atlântica no parque municipal de Maceió-Alagoas. *Revista Semente*, v. 6, p. 99-109, 2011.

SILVEIRA, M. **A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas**. 2001. Tese (Doutorado em Ecologia), Universidade de Brasília, Brasília, 2001.

SOARES, T.S.; CARNEIRO, A.C.O; GONÇALVES, E.O.; LELLES, J.G. Uso da biomassa florestal para geração de energia. *Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal*, Ano IV, n. 8, 2006.

SOARES, V.C.; BIANCHI, M.L.; TRUGILHO, P.F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A.J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. *Cerne*, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015.

SOARES-FILHO, B.S.; NEPSTAD, D.C.; CURRAN, L.M.; CERQUEIRA, G.C.; GARCIA, R.A.; RAMOS, C.A.; VOLL, E.; MCDONALD, A.; LEFEBVRE, P.; SCHLESINGER, P. Modelling conservation in the Amazon basin. **Nature**, v. 440, p. 520-523, 2006.

SOLTANI, A.; ROBERTSON, M.J.; MOHAMMAD-NEJAD, Y.; HAMMER, G.L. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Research*, v. 99, p. 14-23, 2006.

SOLTANI, A.; SINCLAIR, T.R. **Modeling physiology of crop development, growth and yield**. CABI, 2012.

STAPE, J.L.; RYAN, M.G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 45-61, 2004.

SZARKA, N.; EICHHORN, M.; KITTLER, R.; BEZANA, A., THRÄN. Interpreting long-term energy scenarios and the role of bioenergy in Germany. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, n. 2, p. 1222–1233, 2016.

SØNSTEBY, A.; SOLHAUG, K.A.; HEIDE, O.M. Functional growth analysis of “Sonata” strawberry plants grown under controlled temperature and daylength conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 211, p. 26-33, 2016.

TOLMASQUIM, M.T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: Uma prospectiva. **Novos Estudos**, v. 79, p. 47-69, 2007.

URCHEI, M.A.; RODRIGUES, J.D.; STONE, L.F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e preparo convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000.

VARANDA, L.D.; CARASCHI, J.C.; ALMEIDA FILHO, F. Potencial energético do carvão vegetal de bambu. In: Encontro brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira, 12., 2010, Lavras. **Anais [...]** Lavras: UFLA, 2010.

VHATHVAROTHAI, N.; NESS, J.; YU, Q.J. An investigation of thermal behavior of biomass and coal during copyrolysis using thermogravimetric analysis. **International Journal of Energy Research**, v. 38, p. 1145-1154, 2014.

VICHI, F.M.; MANSOR, M.T.C. Energia, meio ambiente e economia: O Brasil no contexto mundial. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 757-767, 2009.

VILLA NOVA N.A.; ANGELOCCI L.R.; COELHO M.A.; MARIN F.R.; RIGHI C.A. Determinação da área foliar de árvores adultas de lima ácida ‘Tahiti’ e do índice de área foliar de um seringal com luxímetro de baixo custo. In: **Abstracts of the 13th CONIRD—Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**, Juazeiro/BA, 2003.

XAVIER, A.C.; VETTORAZZI, C.A. Índice de área foliar de coberturas do solo em uma microbacia hidrográfica subtropical. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 3, 2003.