

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS DOIS VIZINHOS

CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

GABRIELLE GOMES BALBINO

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIOMÉTRICOS PARA PREDIÇÃO DE
BIOMASSA AÉREA DE PLANTIOS DE *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer
ex Heyne. (BAMBU-GIGANTE).**

DOIS VIZINHOS

2022

GABRIELLE GOMES BALBINO

DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIOMÉTRICOS PARA PREDIÇÃO DE BIOMASSA AÉREA DE PLANTIOS DE *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne. (BAMBU-GIGANTE).

DEVELOPMENT OF BIOMETRIC MODELS FOR THE PREDICTION OF AERIAL BIOMASS OF PLANTINGS *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne. (GIANT BAMBOO).

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – (UTFPR).

Orientador: Profº. Drº. Edgar De Souza Vismara

Coorientador: Profº. Drº. Eleandro José Brun

DOIS VIZINHOS

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIELLE GOMES BALBINO

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIOMÉTRICOS PARA PREDIÇÃO DE
BIOMASSA AÉREA DE PLANTIOS DE *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer
ex Heyne. (BAMBU-GIGANTE).**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação,
apresentado como requisito para obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Florestal da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná –
(UTFPR).

Data de aprovação: 23/novembro/2022

Edgar de Souza Vismara (<http://lattes.cnpq.br/7926310174888570>)

Titulação (Doutorado)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos

Veridiana Padoin Weber (<http://lattes.cnpq.br/6989520894029333>)

Titulação (Doutorado)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Dois Vizinhos

Sandra Mara Krefta (<http://lattes.cnpq.br/7593345766816613>)

Titulação (Mestrado)

Klabin S. A.

DOIS VIZINHOS

2022

AGRADECIMENTO

Agradeço a todos que participaram da coleta de dados desse trabalho, pois foi uma tarefa árdua e ao mesmo tempo gratificante. Gostaria de agradecer a Carol Bonk pela parceria, que no momento de sua coleta para a sua dissertação de mestrado, onde em conjunto com alguns colegas conseguimos construir um banco de dados capaz de desenvolver vários outros trabalhos. Estendo meu agradecimento ao colega Bruno Alexandre Lavrivi que esteve presente em vários momentos, principalmente no procedimento dos dados, auxiliando em minhas dúvidas.

Ao professor Doutor Edgar de Souza Vismara da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela orientação, ensinamentos e palavras de incentivo durante todo o desenvolvimento do presente estudo.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná na qual tenho orgulho de ter estudado, por ter me dado toda a estrutura necessária para a elaboração dessa monografia. Ao professor Doutor Eleandro José Brun por ter feito parte desse trabalho como um apoio desde a parte das estruturas do laboratório e até as áreas do projeto GPSIS para realizar o presente estudo. E a todos os outros meus professores que fizeram parte da minha formação acadêmica.

Aos meus pais Adinéia e Altivo por não ter medido esforços para os meus estudos, aos meus irmãos Hycaro e Bárbara por todo incentivo de sempre buscar o meu desenvolvimento tanto pessoal quanto profissional. Ao meu namorado Luiz Henrique que tive a oportunidade de ter conhecido no começo da graduação e desde então se fez presente na minha vida como meu porto seguro e sempre paciente nos meus momentos de estresse.

Aos meus amigos da universidade e da minha cidade natal (Cuparaque - MG) que sempre torceram pelo meu sucesso, principalmente minha querida amiga Rarine Camargo que esteve comigo em todos os momentos.

E por fim e mais importante, gostaria de agradecer a Deus que sempre esteve presente ao meu lado me mantendo forte e segura.

RESUMO

GOMES-BALBINO, Gabrielle. **DESENVOLVIMENTO DE MODELOS BIOMÉTRICOS PARA PREDIÇÃO DE BIOMASSA AÉREA DE PLANTIOS DE *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne. (BAMBU-GIGANTE)**. 2022, 37f. Trabalho de Conclusão de Curso II – Curso de Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2022.

Quando se trata da estimativa da biomassa desta espécie, encontram-se poucos estudos em relação a este assunto, e os que existem foram feitos através de métodos não tão precisos. Sendo assim, o trabalho tem por objetivo ajustar modelos para uma acurada estimação da biomassa aérea do *Dendrocalamus asper* por meio de modelos preditivos. Este trabalho tem a sua área experimental na Universidade Tecnológica Federal do Paraná em Dois Vizinhos-PR, com cerca de 1,6ha, dividido em 12 parcelas com 20 touceiras cada, com espaçamento de 10m entre linhas e 7m entre plantas, totalizando 240 plantas. Um censo foi realizado, e posteriormente abatidos 180 colmos para a quantificação da biomassa, sendo pesados “verde” e posteriormente retirado uma secção de 70cm para serem secos em estufas e pesados novamente, a fim de observar o seu teor de umidade, para quantificar o peso seco total da vara de bambu. Para testar a acurácia dos modelos será utilizado o software Rstudio que é composto por uma linguagem de programação para gráficos e cálculos estatísticos. Os dados inseridos nesse software foram referentes as variáveis dendrométricas levantadas no censo. Na modelagem foi verificado que para a predição da biomassa do colmo foi necessário um modelo com 3 variáveis independentes, são elas: DAP, ht e Dcolo. Pode-se verificar que o modelo $Bs = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 dap^2 + \beta_3 (dap * ht^2)$, as três variáveis concederam um ajuste expressivo, quando observado o valor de R^2_{aj} igual a 0,784. Conclui-se que as variáveis biométricas que se correlacionam com a biomassa seca do colmo do bambu, são principalmente o Dcolo, DAP e a ht. Porém, para uma maior acurácia na predição da biomassa, deve ser utilizado modelos nos quais levem em consideração a densidade básica da espécie.

Palavras chaves: estimativa, método indireto, acurácia, cálculos estatísticos.

ABSTRACT

GOMES-BALBINO, Gabrielle. **DEVELOPMENT OF BIOMETRIC MODELS FOR THE PREDICTION OF AERIAL BIOMASS OF PLANTINGS *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne. (GIANT BAMBOO)**. 2022, 37f. Course II Completion Work - Forestry Engineering Course, Federal Technological University of Paraná, Dois Vizinhos, 2022.

When it comes to the estimation of the biomass of this species, there are few studies on this subject, and those that exist were done through not so precise methods. Thus, the work aims to adjust models for an accurate estimation of the aerial biomass of *Dendrocalamus asper* through predictive models. This work has its experimental area at the Federal Technological University of Paraná in Dois Vizinhos-PR, with about 1.6ha, divided into 12 plots with 20 clumps each, with spacing of 10m between lines and 7m between plants, totaling 240 plants. A census was carried out, and subsequently slaughtered 180 stems for the quantification of biomass, being weighed "green" and subsequently removed a section of 70cm to be dried in greenhouses and weighed again, in order to observe its moisture content, to quantify the total dry weight of the bamboo stick. To test the accuracy of the models will be used the Rstudio software that is composed of a programming language for graphs and statistical calculations. The data entered in this software were related to the dendrometric variables collected in the census. In the modeling it was verified that for the prediction of stem biomass it was necessary a model with 3 independent variables, they are: DAP, ht and Dcolo. It can be verified that the model $Bs = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 dap^2 + \beta_3 (dap * ht^2)$, the three variables granted an expressive adjustment, when the r^2_{aj} value equal to 0.784 was observed. It is concluded that the biometric variables that correlate with the dry biomass of bamboo stem are mainly Dcolo, DAP and ht. However, for greater accuracy in the prediction of biomass, models should be used in which they take into account the basic density of the species.

Keywords: estimation, indirect method, accuracy, statistical calculations.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Partes do bambu	13
Figura 2 Rizoma do tipo alastrante	13
Figura 3 Rizoma do tipo entoucerante ou moita	14
Figura 4 Área de plantio experimental com Dendrocalamus Asper na UTFPR. 21	21
Figura 5 Gráfico de Resíduos x valores ajustados	28
Figura 6 Gráfico Quantil quantil (q-q).....	29
Figura 7 Resíduos Padronizados x valores ajustados	30
Figura 8 Gráfico da Distância de cook's	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Modelos matemáticos testados para a predição da biomassa seca total (Bs) de <i>Dendrocalamus asper</i>	19
Tabela 2. Valores dos coeficientes e seus respectivos erros padrão de cada modelo estudado para estimar a biomassa seca de <i>Dendrocalamus asper</i>	26
Tabela 3. Valores de R^2 ajustado, Erro padrão residual e o índice de Furnival de cada modelo estudado para estimar a biomassa seca de <i>Dendrocalamus asper</i>	27

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
1.2.	Objetivo geral	11
1.2.1	Objetivos específicos	11
2.	REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1	Características biológicas e morfológicas dos bambus	12
2.1.1.	Espécie dendrocalamus asper (schultes f.) Backer ex heyne	14
2.2.	Utilização do bambu	15
2.3.	Produtividade	16
2.4.	Modelos biométricos de predição de biomassa aérea	17
2.4.1	Trabalhos relacionados	17
3.	MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1	Área de estudo	20
3.2	Obtenção de dados	21
3.2.1	Inventário (censo)	21
3.2.1.1	Avaliação do dap dos colmos.....	21
3.2.1.2	Avaliação da altura dos colmos.....	22
3.2.2.	Coleta das amostras a campo para pesagem.....	22
3.3	Análise de dados	23
3.3.1.	Seleção da melhor equação	23
4.	RESULTADOS	26
5.	DISCUSSÃO	32
6.	CONCLUSÃO	34
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

O setor florestal vem crescendo nos últimos anos e se tornando muito importante para a economia nacional, chegando a representar 1,2% do PIB e alcançando uma receita bruta de R\$97,4 bilhões. Além disso, proporciona inúmeros empregos em todo o país, e em 2019 atingiu cerca de 3,75 milhões de brasileiros empregados neste setor, prevendo criar 36 mil novos postos de trabalho em 2023 (IBÁ, 2020). Com isso, a demanda de florestas plantadas irá crescer ao longo dos anos e conseqüentemente a procura por espécies alternativas, as quais apresentam um rápido crescimento, irá aumentar, buscando sempre novas soluções para um melhor desenvolvimento na indústria florestal.

Uma espécie que apresenta esse requisito é o bambu, tendo destaque em relação às plantas arbóreas, por ser uma gramínea com classificação C4 a qual tem alta absorção de carbono e alto potencial em crescimento, resistência mecânica e múltiplos usos (DELGADO, 2011).

Nos países asiáticos o bambu está sendo utilizado há muitos anos, tanto na importação quanto na exportação. Os países com destaque mundial são Taiwan com a exportação dos brotos comestíveis, Índia com a produção de papel e Filipinas na indústria de móveis (LONDOÑO, 2002; GRECO et al., 2011). O mercado do Bambu no Brasil ainda é incipiente, mas apresenta potencial de expansão uma vez que o bambu gera múltiplos produtos e tem grande potencial produtivo como na área da agricultura, biomassa, construção civil, confecção de móveis, decoração etc (MARTINS e GUERREIRO, 2006).

Uma das espécies de bambu, em destaque, é o *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne. Conhecido como bambu gigante ou bambu balde, seus colmos podem chegar até 30m de altura, com diâmetro de 18 a 30cm e entrenós de 40 a 50cm (GEROTO, 2014). O gênero *Dendrocalamus* se destaca dentre as demais espécies de bambu, por terem colmos de grande dimensão, parede espessa, com ótimas propriedades mecânicas e com uma taxa de crescimento excelente, o que irá proporcionar alta produtividade.

Produtividade essa, que se comparada com outra espécie arbórea, por exemplo o eucalipto, o bambu apresentam ótimos resultados destacando-se como o mais novo “eucalipto”. Devido a isso, sua alta taxa de crescimento, pouca emissão de CO₂ nas atividades, tanto de plantio como de processamento, podem reduzir os níveis de carbono na atmosfera (MARÇAL et al. 2016; MOGNON et al. 2014).

A alta produção do bambu acaba por necessitar de uma alta precisão na quantificação da biomassa que é a parte de maior interesse econômico desta espécie. Através disso observamos que, no cenário nacional, para a espécie *Dendrocalamus asper* existe apenas um estudo feito por Mognon et al. (2014). O qual usou apenas 20 indivíduos no seu experimento, sendo muito pouco para aferir uma acurácia satisfatória em relação aos modelos de predição da biomassa quando utilizados em povoamentos com uma maior quantidade de indivíduos. Sendo assim, este estudo torna-se de grande importância a fim de apresentar maior amostragem e conseqüentemente melhor acurácia na predição de modelos biométricos para biomassa do bambu.

1.2. Objetivo Geral

Ajustar modelos para uma acurada predição da biomassa aérea de *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne.

1.2.1 Objetivos Específicos

- Verificar quais as variáveis dendrométricas que tem maior correlação com a predição da biomassa aérea do *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne.
- Validar e avaliar a acurácia preditiva do modelo selecionado, em contraste com modelos existentes na literatura.

2. REVISÃO DE LITERATURA

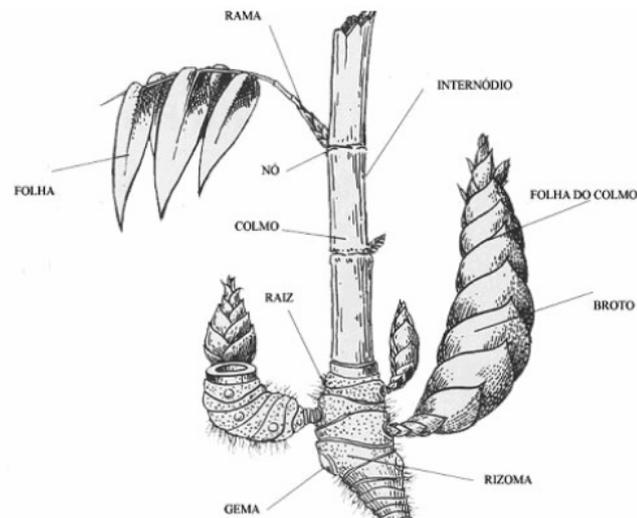
2.1 Características Biológicas e Morfológicas dos Bambus

O Bambu pertence à família das Poaceae e está dentro da subfamília Bambusoideae abrange aproximadamente 75 gêneros e mais de 1.250 espécies (LONDOÑO, 2002). São plantas classificadas com monocotiledôneas, perenes, sendo capazes de produzir novos brotos sem ter a necessidade de replantio, encontradas geralmente em regiões tropicais e subtropicais.

Apresenta um crescimento diferente das árvores, sendo assim não apresentando o crescimento simultâneo no sentido radial e axial. Geralmente já surge do solo com seu diâmetro máximo. Conforme ocorre o crescimento, as fibras vão se tornando cada vez mais duras e resistentes, normalmente a idade apropriada para a utilização em construções é próximo ao quinto ano, onde se alcança uma resistência apropriada para esse uso. Depois que o bambu passa de 6 anos, seu colmo começa a adquirir uma coloração branca, começando a secar (GHAVAMI, 1992).

A planta do bambu é composta pelos colmos, galhos, folhas e sistema subterrâneo de rizomas. Muitas vezes o vegetal possui flores e frutos. Os seus colmos são subdivididos em nós e entre nós, conforme o crescendo, cada nó é envolvido por uma bainha (figura 1). Em sua grande maioria podem ser ocos, porém em algumas espécies seus entrenós são sólidos e em outros casos se encontra água interiormente (GHAVAMI & MARINHO, 2002).

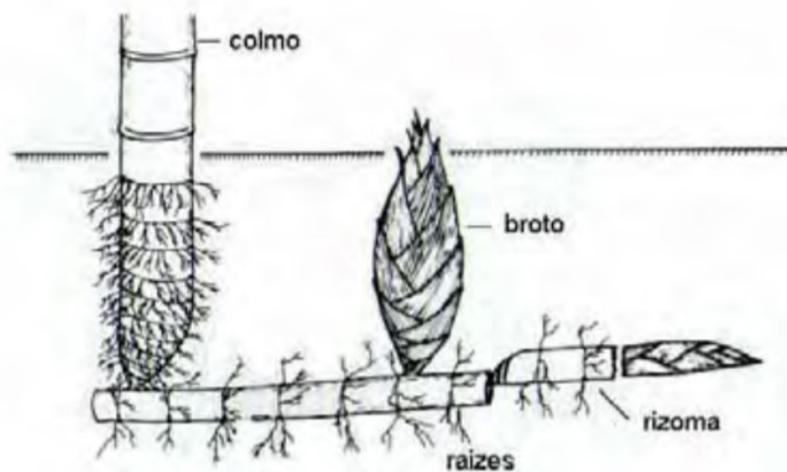
Figura 1 Partes do bambu



Fonte: Silva,2005

O bambu pode ser classificado de acordo com o seu crescimento, sendo dividido em dois grupos: os alastrantes e entouceirantes. Os alastrantes apresentam resistência às baixas temperaturas, os quais têm em sua característica os rizomas longos, uma das diferenças deste para a outra classe é que estes rizomas têm diâmetros menores que os colmos que vão dar origem. Os mesmos são constituídos por uma gema lateral onde irá dar origem a novos colmos, germinando cerca de 10% destas gemas, chegando a um crescimento aproximado de 1 a 6 metros por ano, formando assim uma teia. Sendo os principais gêneros das espécies os *Arundinaria* e *Phyllostachys* (PEREIRA, 2012).

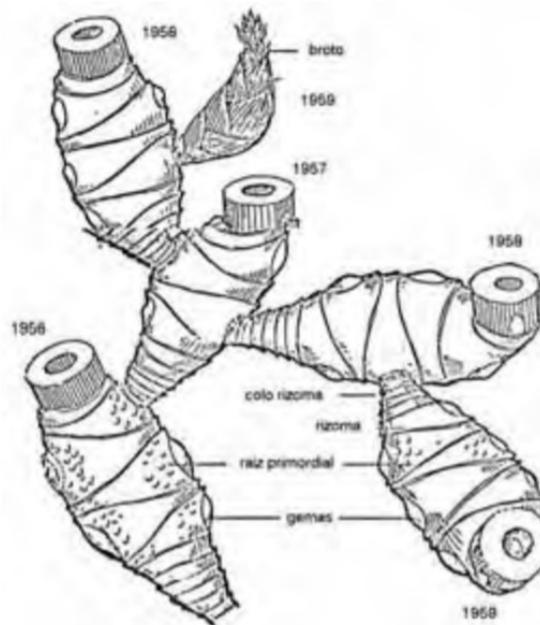
Figura 2 Rizoma do tipo alastrante



Fonte: LIESE, 1985.

Já os bambus do tipo entouceirantes, são mais encontrados nas regiões quentes e tropicais, com isso irão apresentar problemas no seu desenvolvimento em locais com temperaturas baixas. Tendo os seus rizomas em formatos curtos, grosso e mais sólidos, apresentando na maioria das vezes rizomas mais grossos do que os colmos anteriores que os deu origem. Neste caso também possuem gemas laterais onde irão desenvolver novos colmo, porém neste caso a maior parte destas gemas pode permanecer inativa. Estes rizomas por sua vez apresentam crescimento horizontal em curtas distâncias, dando origem a novos colmos por gemas laterais isso ocorre a cada ano, repetindo este crescimento ano após ano irá formar um agrupamento em forma de moita, contendo de 30 a 100 colmos (Figura 3). As espécies que se encaixam nesta classificação são dos gêneros *Bambusa*, *Guadua*, *Dendrocalamus*, *Gigantochoa* e *Melocanna* (PEREIRA, 2012).

Figura 3 Rizoma do tipo entouceirante ou moita



Fonte: HIDALGO-LÓPEZ, 1982.

2.1.1. Espécie *Dendrocalamus asper* (Schultes f.) Backer ex Heyne

Vulgarmente é chamado de Bambu gigante ou bambu balde, o *Dendrocalamus asper* é uma espécie originária do Sudeste da Ásia e a introdução no Brasil acredita-se que ocorreu através da colonização Portuguesa.

Na parte taxonômica, tem sido descrito como os bambus que apresentam bainha arroxeadada a verde-escura, coberta com filamentos castanho-escuros e limbo lanceolado. Os colmos podem chegar até 30 m de altura, com diâmetro de 18-30 cm, entre nós de 40-50 cm, verde-escuros. Os brotos podem apresentar tricomas castanho-claros; os nós mais próximos do solo acabam desenvolvendo verticilos de raízes. (GEROTO, 2014)

Sendo que o gênero *Dendrocalamus* apresenta os maiores colmos, obtendo parede espessa e com boas propriedades mecânicas, o *Dendrocalamus asper* é considerado o que possui a maior altura dos colmos e com uma ótima taxa de crescimento (NOGUEIRA, 2008). Os colmos apresentam características mecânicas com resistência à compressão, tração e flexão e acabam se tornando superiores às dos colmos de *Bambusa vulgaris* e mediano a superior em relação aos dos colmos das demais gênero de *Dendrocalamus*, *Guadua* e *Bambusa* (PEREIRA, 2001).

2.2. Utilização do Bambu

As espécies do bambu são muito importantes e úteis no mundo, pois tem diversas finalidade e usos. Sendo mais utilizado na construção civil e fabricação de móveis, um exemplo muito comum é em painéis de avião já que sua madeira é leve e resistente. Ainda encontramos funções ambientais as quais está vegetação auxilia, como por exemplo o sequestro de carbono.

Nos países da Ásia, como a China, Índia, Taiwan e Tailândia, os bambus têm grande impacto no rendimento de suas economias, sendo utilizados para o consumo interno bem como também para exportação. além de tudo tem uma enorme importância cultural para diversos povos de diversos países, já que tem referência a estratégias de sobrevivência desses povos, que está presente em artesanatos e peças históricas (LONDOÑO, 2002; GRECO et al., 2011).

No cenário nacional, Martins e Guerreiro (2006) através do Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas indicam que as aplicações do bambu estão relacionadas com a (i) agricultura, sendo utilizado na irrigação e sustentação do solo; (ii) produção de álcool, biomassa, carvão, polpa de celulose, etc.; (iii) na culinária, pois o broto é rico em nutrientes; (iv) na confecção de painéis compensados, etc.; (v) na construção civil;

(vi) confecção de móveis, papel, artefatos de decoração e de cozinha, uso paisagístico, instrumentos musicais, embalagens, etc.

Quando se fala na produtividade do bambu existem alguns países que se destacam no cenário mundial, segundo informações da INBAR 2007 (International Network for Bamboo and Rattan) milhões de pessoas dependem do bambu para sua sobrevivência, tendo assim um comércio internacional de cerca de 5 bilhões de dólares todo ano, destacando se os países como Taiwan no qual arrecada cerca de 50 milhões de dólares com a exportação de brotos comestíveis todo ano; na Índia é utilizado principalmente na produção de papel chegando a valores aproximadamente de 2,2 milhões de toneladas de bambu por ano; já nas Filipinas a indústria de móveis se destaca faturando 1,2 milhões de dólares/ano.

Já no Brasil através de estudo feito pelo Borges et al. 2018, mostram que a polpação kraft do bambu livre de amido para produção de polpa celulósica para obter papel kraft teve um rendimento total de 54,9%. Em comparação aos estudos com o *Pinus taeda* o bambu apresentou melhor rendimento com exemplo em estudo feito por Coelho 2017 desta espécie de Pinus apresentou um rendimento de 50,09%. Ilvessalo-Pfaffli (1995) notou que a polpa celulósica do bambu pode apresentar maior resistência ao rasgo do que a polpa de coníferas. Pois o bambu apresenta fibras longas e estreitas o que auxilia na interação das mesmas, proporcionando assim uma melhor resistência mecânica.

2.3. Produtividade

Dentro deste contexto podemos observar também a produtividade de biomassa do bambu, onde também existem comparações com espécies arbóreas muito utilizadas nesse setor. Um exemplo mais comum é o eucalipto, quando comparamos essas duas espécies podemos encontrar algumas diferenças na produtividade como foi citado em trabalho Gatto et al. (2011), onde o eucalipto aos 7 anos apresentou um valor de 168,26 t.ha⁻¹ de biomassa aérea, já em estudo Mognon et al. (2014) com a espécie *Dendrocalamus asper* obteve-se um valor de 377,78 t.ha⁻¹ de biomassa aérea em uma plantação de 7 anos.

Sabemos que a biomassa do bambu tem na sua composição 50% de carbono, tendo em sua característica uma vantagem quando comparada com algumas

espécies madeireiras no que se refere a captura e fixação de carbono, tendo em vista ser uma planta gramínea e ter uma classificação C4, isto é, uma alta absorção de carbono, e devido ao seu rápido crescimento (DELGADO, 2011). Esta qualidade nos auxilia na mitigação de um grande problema enfrentado nos dias de hoje que é o aquecimento global, reduzindo assim os níveis de carbono na atmosfera.

Estudos comprovam também a baixa emissão de CO₂ na cadeia produtiva de bambu para construção civil quando comparado com o eucalipto, como citado no trabalho realizado por Marçal et al. (2016), onde apresenta uma emissão de 1,27 kg de CO₂ no transporte do bambu e já no eucalipto esta mesma atividade emite 3,58 kg de CO₂, já no processamento de escoras para utilização na construção civil observou uma quantidade emitida de 315,25 kg de CO₂ para o bambu e 478,48 kg de CO₂ para o eucalipto, demonstrando uma grande diferença na emissão de CO₂.

2.4. Modelos Biométricos de Predição de Biomassa Aérea

A quantidade da biomassa florestal pode ser estimada por dois métodos, sendo, o método direto que consiste na determinação da biomassa do indivíduo abatido e o método indireto onde a biomassa é estimada por meio de modelos preditivos que são ajustados a partir de variáveis dendrométricas provenientes do inventário florestal (TEIXEIRA, 2003).

No processo para a determinação da biomassa florestal pelo método individual gera um conjunto de dados os quais são usados, normalmente para o ajuste das relações alométricas que vão produzir as estimativas da biomassa aéreas em áreas maiores através dos métodos indiretos. Já o método direto pode ser aplicado nas árvores de duas formas, sendo de forma inteira ou com separação dos componentes que seriam folhas, galhos e fustes. A biomassa florestal é representada principalmente pelo fuste da árvore, tendo assim uma grande importância na sua determinação, devendo ser feita de uma forma que seja a mais precisa possível (SANQUETTA, 2002).

2.4.1 Trabalhos relacionados

Os primeiros estudos feitos no Brasil relacionados com as florestas de bambu ocorreram nos anos 70, principalmente com o gênero *Guadua* spp., nestes estudos

estão abordando sobre as estruturas das florestas, critérios usados para quantificar os inventários quantitativos e também tratar da importância que esse sistema tem em relação a sua riqueza e diversidade (SILVEIRA, 2001).

Em relação a biomassa dos bambus foi comprovado cientificamente o seu alto potencial. Um estudo realizado comparou três espécies do gênero *Bambusa* que são cultivadas na Índia, os valores de estoque de biomassa encontrado foi da ordem de 121,51 t.ha⁻¹ (NATH et al. 2009). Já outro estudo realizado em Sudoeste da Etiópia com o mesmo gênero o valor encontrado é em torno de 110 t.ha⁻¹ de biomassa aérea (EMBAYE et al. 2005). No Japão o estudo ocorreu com uma espécie específica sendo ela a *Phyllostachys bambusoides* Madake os valores da biomassa total foram da ordem de 131 t.ha⁻¹ (ISAGI et al. 1993).

Estudos feitos para a quantificação da biomassa do *Bambusa vulgaris* pelo Barros et al. (2016), analisou a correlação linear simples de todas as medidas dendrométricas dos indivíduos abatidos com sua biomassa seca total e também considerando cada compartimento (colmo, galhos e folhas) do bambu. Isto tudo para estimar a biomassa seca total sem ter que realizar o método destrutivo dos indivíduos, através disso foram testados modelos matemáticos e ajustadas equações de regressão linear para realizar esta estimativa.

Um exemplo para outra espécie de bambu neste caso o bambu do gênero *Guadua* foi observado em um estudo por Mognon et al. (2014), o qual analisou 25 colmos para estimar a biomassa total, verificando dois métodos o de regressão linear e a técnica de mineração de dados, de forma que conseguisse estimar com uma maior acurácia, verificando também qual dos métodos seria mais preciso.

Segundo MOGNON et al. (2015) em um trabalho realizado sobre a quantificação da biomassa do *Dendrocalamus asper* na área Experimental Agrícola da Universidade Estadual Paulista (UNESP), proferiu que 74% da biomassa aérea se encontra nos colmos e 19% nos galhos.

Já para a espécie do gênero *Dendrocalamus* existe apenas um estudo até então realizado também por Mognon et al. (2015), onde em seu trabalho analisou apenas 20 indivíduos da espécie *Dendrocalamus asper* escolhidos aleatoriamente e coletados das suas touceiras para a determinação da biomassa seca. E assim realizando análise de correlação linear simples para cada variáveis medidas dos

indivíduos abatidos para estimar indiretamente a biomassa seca das plantas, com isso foram testados 10 modelos matemáticos que são usualmente utilizados para a estimativa dessa variável destacado na tabela 1, os coeficientes que foram avaliados para determinar o desempenho dos modelos são R ajustado (R^2 aj.), erro padrão da estimativa (Syx%) e análise gráfica dos resíduos.

Tabela 1. Modelos matemáticos testados para a predição da biomassa seca total (Bs) de *Dendrocalamus asper*.

Número	Modelo
1	$Bs = \beta_0 + \beta_1ht$
2	$Bs = \beta_0 + \beta_1dap$
3	$Bs = \beta_0 + \beta_1dap^2$
4	$Bs = \beta_0 + \beta_1dap * ht^2$
5	$Bs = \beta_0 + \beta_1dap + \beta_2ht$
6	$Bs = \beta_0 + \beta_1dcolo + \beta_2dap^2 + \beta_3(dap * ht^2)$
7	$\ln Bs = \beta_0 + \beta_1\ln ht^2$
8	$\ln Bs = \beta_0 + \beta_1\ln dap$
9	$\ln Bs = \beta_0 + \beta_1dcolo + \beta_2\ln dap^2 + \beta_3\ln(dap * ht^2)$
10	$Bs = \beta_0 + \beta_1(dap^{0.5} * \ln(dap))$

Fonte: Autor, 2022.

Os modelos ajustados citados anteriormente, os que melhor apresentaram resultados foram 2, 3, e 8 pois os valores de R^2 ajustados se aproxima de 0,60 e Syx% abaixo de 20% o que os classifica estatisticamente como satisfatórios. Ambas as equações são de simples entrada e o DAP apresentou-se como uma variável independente.

Através das citações anteriores, podemos perceber uma carência nos estudos da predição da espécie *Dendrocalamus asper*. Sendo assim, pesquisas em relação a esse tema se tornam de grande importância para o desenvolvimento desse cultivo. O respectivo trabalho vem para suprir essa demanda e auxiliar a cadeia produtiva dessa espécie de bambu.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área De Estudo

Este trabalho se baseia em um levantamento realizado em Dois Vizinhos, Sudoeste do Paraná, especificamente no plantio experimental conduzido na Estação Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Dois Vizinhos. O município é localizado em uma região que tem um clima úmido e subtropical mesotérmico (Cfa) com temperatura média anual de 19°C e pluviosidade média de 2025 mm. A temperatura mais fria do mês pode variar entre 18°C e -3°C; ocorrendo chuvas em todos os períodos do ano (ALVARES et al., 2013). O solo da área é classificado como Nitossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 2016).

O povoamento a ser estudado, foi implantado em 2014 em uma área que antes era cultivada culturas anuais, com isso, foi realizado o preparo da área com a roçada e trituração dos resíduos que ali foram encontrados. Logo após, ocorreu a marcação e o preparo da linha, como também a demarcação e abertura de covas, para que, em seguida, as mudas fossem plantadas com uma solução de hidrogel de 2 litros com a concentração de 0,13% por cova. Como se trata de uma área experimental da universidade, foram realizados vários estudos, sendo um deles no qual foram divididas 12 parcelas com 20 touceiras cada, com diferentes tratamentos em relação à dose de nutrientes. Mas o que importa para esse estudo é que a área de plantio ocupa 1,6 ha, com espaçamento de 10m entre linhas e 7 m entre plantas, totalizando assim 240 indivíduos.

Figura 4 Área de plantio experimental com *Dendrocalamus Asper* na UTFPR



Fonte: GPSIS, 2019.

3.2 Obtenção de Dados

3.2.1 Inventário (Censo)

Para o levantamento dos dados foi realizado um censo, que teve como objetivo um levantamento quantitativo de algumas variáveis. Primeiramente, foi feita a identificação das touceiras, posteriormente realizou-se a medição dos respectivos diâmetros e alturas.

3.2.1.1 Avaliação do DAP dos Colmos

Para a avaliação da circunferência de cada colmo foi utilizada uma fita métrica, medindo-se na altura 1,30m do nível do solo. No momento da mensuração, foi realizada a marcação dos colmos para que não ocorresse a aferição do mesmo indivíduo duas vezes ou que algum não fosse aferido. Com o resultado do CAP (circunferência à altura do peito) foi transformado em DAP (diâmetro à altura do peito), esta transformação foi calculada através da equação 1 (FINGER, 1992):

(1)

$$DAP = CAP/\pi$$

Onde:

DAP = Diâmetro na altura do peito

CAP = Circunferência na altura do peito

Π = Pi uma constante universal com o valor de aproximadamente 3,1416...

3.2.1.2 Avaliação da Altura dos Colmos

Para o levantamento dos dados de altura dos colmos, foi selecionado dentro de cada touceira 3 varas, a de maior, médio e menor diâmetro, e medido suas respectivas alturas. Utilizando o instrumento hipsômetro Vertex, onde foi posicionado o mesmo a uma distância média de 10m da touceira, onde se encontravam as varas a serem medidas. Com base nas três alturas medidas, com o auxílio de um modelo de relação hipsométrica, foram estimadas as demais alturas dos demais colmos. Esta metodologia se justifica em virtude da grande dificuldade prática na medição de alturas.

3.2.2. Coleta das Amostras a Campo para Pesagem

O experimento original do plantio é composto por 12 parcelas que estão divididas em 15 tratamentos (3 nutrientes x 5 doses) com quatro repetições de cada nutriente. Para a escolha dos indivíduos abatidos foram selecionadas 12 touceiras aleatoriamente de cada tratamento, totalizando 180 touceiras retirando um colmo de cada uma, selecionando o de tamanho médio levando-se em consideração o CAP.

Desses indivíduos abatidos foi retirada uma secção de 70cm de comprimento de cada colmo, onde o DAP se encontrava no meio dessa secção. Posteriormente pesada em campo (peso “verde”) para que após a secagem fosse realizada a pesagem dos corpos de prova novamente para calcular o seu teor de umidade de acordo com a equação abaixo:

(2)

$$Tu = \frac{Pu - Ps}{Ps} * 100$$

Onde:

Tu = Teor de umidade da amostra

Pu = Peso úmido (g)

Ps = Peso seco (g)

Este material se encontrava com um teor de umidade entre 35% e 74% a campo, sendo embalado em sacos plásticos e encaminhados para laboratório para realizar o processo de secagem, onde seguiram-se os preceitos da norma NBR 7190 (ABNT, 1997), com adaptações para preparação do corpo de prova na determinação do teor de umidade. A estufa operou em uma temperatura de 60°C durante 5 dias. As amostras foram retiradas da estufa com um teor umidade variando entre 8% e 11%. Posteriormente com o teor de umidade da secção e o peso úmido total do colmo, foi possível isolar o peso seco na equação (2), encontrando o valor referente ao peso seco total do colmo.

3.3 Análise de Dados

Os dados foram organizados do excel com as seguintes informações colmo, nutriente, dose, touceira, p_v_tot_vara (peso verde total da vara), dcolo (diâmetro do colo), dap (diâmetro na altura do peito – 1,30m), h (altura do colmo), p_s_sub_vara (peso seco da sub amostra da vara), p_v_sub_vara (peso verde da sub amostra da vara), tu_vara (teor de umidade da vara) e biom_vara (biomassa da vara), para facilitar a leitura do software utilizado, quando os mesmos forem solicitados para análise. O software utilizado foi o Rstudio, o qual é o ambiente voltado para a manipulação, análise de dados e apresentação gráfica.

Outro passo importante no processamento desses dados, dentro do ambiente de linguagem R, foi criar uma pasta nos documentos do computador para que todos os scripts e gráficos que fossem criados e destinados para essa pasta, automaticamente. Para ajustes dos modelos da biomassa foi utilizado a regressão linear através do Método Mínimos Quadrados Ordinários, os modelos utilizados para essa análise estão descritos na Tabela 1.

3.3.1. Seleção da melhor equação

Na seleção do melhor modelo para predição da biomassa, foi utilizado alguns critérios estatísticos como: coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), erro padrão

da estimativa em percentagem ($Sy_x\%$), análise gráfica dos resíduos e índice de Furnival.

O coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}), tem por finalidade demonstrar a relação entre a variação da quantidade de biomassa com as outras variáveis, sendo quanto mais próximo de 1 o valor desta relação, melhor o ajuste do modelo. Para obter este coeficiente foi calculado através da seguinte fórmula:

$$R^2_{aj} = 1 - \left((1 - R^2) \left(\frac{n - 1}{n - p - 1} \right) \right) \quad (3)$$

onde:

R^2_{aj} = Coeficiente de determinação ajustado;

n = número de árvores que foram cubadas;

p = número de parâmetros da equação.

$n - 1$ = grau de liberdade

Outro critério estatístico utilizado foi o erro padrão da estimativa em (Sy_x), o qual demonstra a proximidade da média dos valores estimados com seus respectivos valores observados, para a interpretação deste critério, devemos observar quanto menor for esse valor, melhor será o resultado em questão de ajuste do modelo. Para melhor comparação dos resultados, este critério estatístico, quando observado no modelo selecionado, foi levado em consideração o valor em percentagem.

(4)

$$Sy_x = \frac{Syx}{Ym}$$

onde:

Sy_x = erro padrão da estimativa em percentagem;

Syx = erro padrão da estimativa

Ym = biomassa média observada

A análise gráfica dos resíduos foi outro critério utilizado para verificar o resultado do ajustamento do modelo, esta análise é utilizada para verificar se existe ou não tendências na estimativa da variável resposta ao longo da linha de regressão, homoscedasticidade de variância e também se os resíduos são independentes.

Utilizando quatro formas de análise gráfica sendo elas: resíduos vs valores ajustados; quantil quantil (q-q); resíduos padronizados vs valores ajustados; distância de cook's

Quando falamos de modelos matemáticos em escala logarítmica, eles realizam a predição da biomassa nesta escala, para fazermos a predição da biomassa em escala normal, foi necessário calcular o antilogaritmo. Porém, quando realizamos esta transformação acaba um erro de discrepância logarítmica. Isso acontece devido a equação apresentar valores em unidades geométricas ao invés de aritméticas, e para corrigirmos este erro utilizamos o índice de Furnival. Este cálculo foi feito através da seguinte equação.

(5)

$$IF = \left(\frac{1}{[f'(y)]} \right) * \sqrt{QMR}$$

onde:

IF = índice de Furnival;

$\frac{1}{[f'(y)]}$ = inverso da média geométrica da primeira derivada da função de transformação de escala;

\sqrt{QMR} = quadrado médio do resíduo do modelo.

4. RESULTADOS

Através da análise dos dados obtidos em campo em relação a biomassa do bambu (*Dendrocalamus asper*), pode-se observar resultados capazes de auxiliar nos ajustes dos modelos, consequentemente verificar os modelos que apresentam maior acurácia na predição da biomassa.

Quando se observou os coeficientes dos modelos ajustados, juntamente com cada um os seus respectivos erros padrões, os quais foram identificados e estão listados na tabela 2.

Tabela 2. Valores dos coeficientes e seus respectivos erros padrão de cada modelo estudado para estimar a biomassa seca de *Dendrocalamus asper*.

Modelo		Coeficiente	Erro Padrão
$Bs = \beta_0 + \beta_1 ht$	β_0	-7,6392	1,0855
	β_1	1,7670	0,1155
$Bs = \beta_0 + \beta_1 dap$	β_0	-10,4122	0,8826
	β_1	2,7452	0,1249
$Bs = \beta_0 + \beta_1 dap^2$	β_0	-1,0667	0,4488
	β_1	0,1966	0,0086
$Bs = \beta_0 + \beta_1 dap * ht^2$	β_0	1,9763	0,3475
	β_1	0,0106	0,0005
$Bs = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 ht$	β_0	-11,7423	0,8773
	β_1	2,1149	0,1764
	β_2	0,6177	0,1288
$Bs = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 dap^2 + \beta_3 (dap * ht^2)$	β_0	-1,3838	1,9378
	β_1	0,2158	0,2279
	β_2	0,1023	0,0233
	β_3	0,0050	0,0087
$lnBs = \beta_0 + \beta_1 lnht^2$	β_0	-2,0724	0,2768
	β_1	0,9394	0,0623
$lnBs = \beta_0 + \beta_1 lndap$	β_0	-2,1373	0,1982
	β_1	2,1884	0,1023
$lnBs = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 lndap^2 + \beta_3 ln(dap * ht^2)$	β_0	-2,7783	0,2444
	β_1	0,3451	0,2528
	β_2	0,5285	0,1500
	β_3	0,3281	0,0706
$Bs = \beta_0 + \beta_1 (dap^{0.5} * ln(dap))$	β_0	-9,9700	0,8763
	β_1	3,6578	0,1690

Fonte: Autor, 2022.

Para avaliar qual o melhor modelo ajustado, utilizaram-se alguns critérios estatísticos. Através disto pode-se observar qual modelo teve uma melhor acurácia, observando principalmente os valores de R^2 ajustado, Erro padrão residual e o índice de Furnival, este último utilizado para a conversão dos modelos que estavam logaritmizados, para que fosse possível comparar a biomassa em sua escala normal (kg). Com os cálculos de cada critério para todos os modelos resultou-se nos valores descritos na tabela 3.

Tabela 3. Valores de R^2 ajustado, Erro padrão residual e o índice de Furnival de cada modelo estudado para estimar a biomassa seca de *Dendrocalamus asper*.

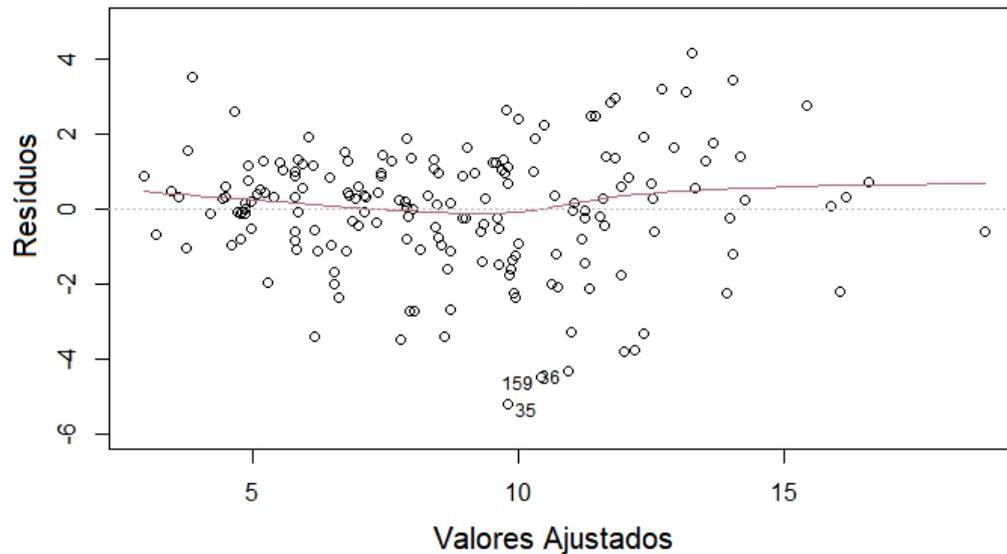
Modelo	R^2 aj	Sxy (kg)	IF (kg)
$Bs = \beta_0 + \beta_1ht$	0,567	2,319	-
$Bs = \beta_0 + \beta_1dap$	0,730	1,829	-
$Bs = \beta_0 + \beta_1dap^2$	0,746	1,774	-
$Bs = \beta_0 + \beta_1dap * ht^2$	0,718	1,871	-
$Bs = \beta_0 + \beta_1dap + \beta_2ht$	0,760	1,725	-
$Bs = \beta_0 + \beta_1dcolo + \beta_2dap^2 + \beta_3(dap * ht^2)$	0,784	1,636	-
$\ln Bs = \beta_0 + \beta_1\ln ht^2$	0,560	0,275	2,216
$\ln Bs = \beta_0 + \beta_1\ln dap$	0,720	0,219	1,768
$\ln Bs = \beta_0 + \beta_1dcolo + \beta_2\ln dap^2 + \beta_3\ln(dap * ht^2)$	0,750	0,207	1,670
$Bs = \beta_0 + \beta_1(dap^{0.5} * \ln(dap))$	0,724	1,851	-

Fonte: Autor, 2022.

O melhor modelo, com base nos critérios estatísticos, foi o modelo 6, no qual apresentou o erro padrão residual de 1,636 kg, que quanto menor melhor estatisticamente estimativa de biomassa seca. Já, o R^2 ajustado quanto mais próximo de 1 melhor será o modelo, que nesse caso apresentou o valor do R^2 ajustado de 0,784.

Para o melhor modelo ajustado, além dos cálculos feitos de R^2 ajustado, erro padrão residual e índice de Furnival, foram feitas representações gráficas, as quais demonstram algumas informações estatísticas que auxiliam na interpretação do mesmo, essas informações são: resíduos x valores ajustados, Quantil quantil (q-q), Resíduo padronizado x valores ajustados e distância de cook's.

Figura 5 Gráfico de Resíduos x valores ajustados

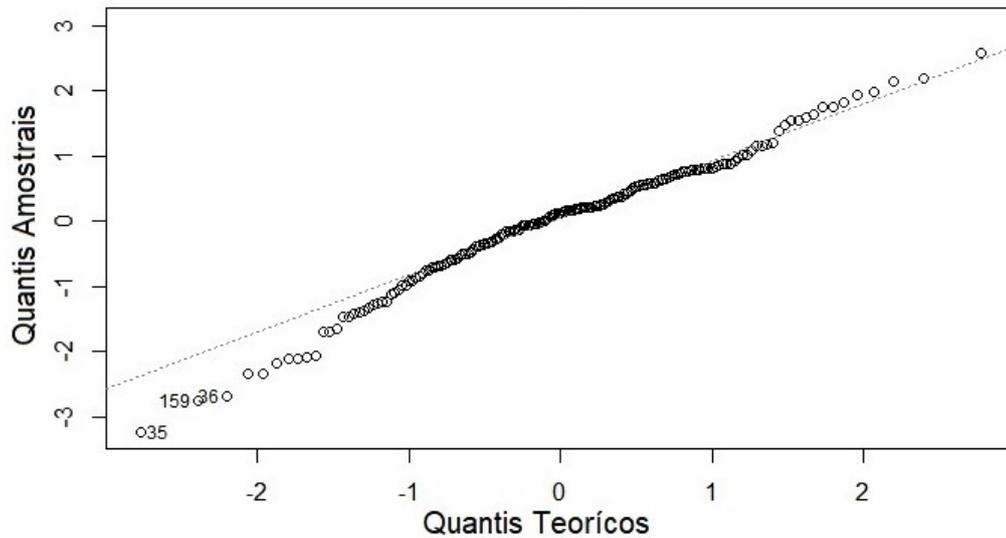


$$Bs = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 dap^2 + \beta_3 (dap * ht^2)$$

Fonte: Autor, 2022.

Esse gráfico nos apresenta a média dos resíduos (linha vermelha), a qual auxilia verificar o comportamento da média dos dados e a dispersão dos resíduos em relação aos dados. Para a interpretação deste gráfico, deve-se observar o comportamento da proximidade dos resíduos em relação ao zero. Quando se observou a média dos resíduos percebeu-se que se comportam de uma forma assertiva, já que ela se aproxima significativamente da linha do zero. As varas com maiores valores dispersos da linha vermelha, tanto com os valores para menos quanto para mais no intervalo de 4 a -4 acabam se cancelando. As varas destacadas no gráfico de número 35, 36 e 159 são valores que estão mais próximos de -6, isso mostra que deve ser verificado as varas para descobrir o que desencadeou este resultado. Não pode retirar as mesmas da amostragem deste gráfico justamente para que possa enxergar esta discrepância e tratar da forma correta.

Figura 6 Gráfico Quantil quantil (q-q)

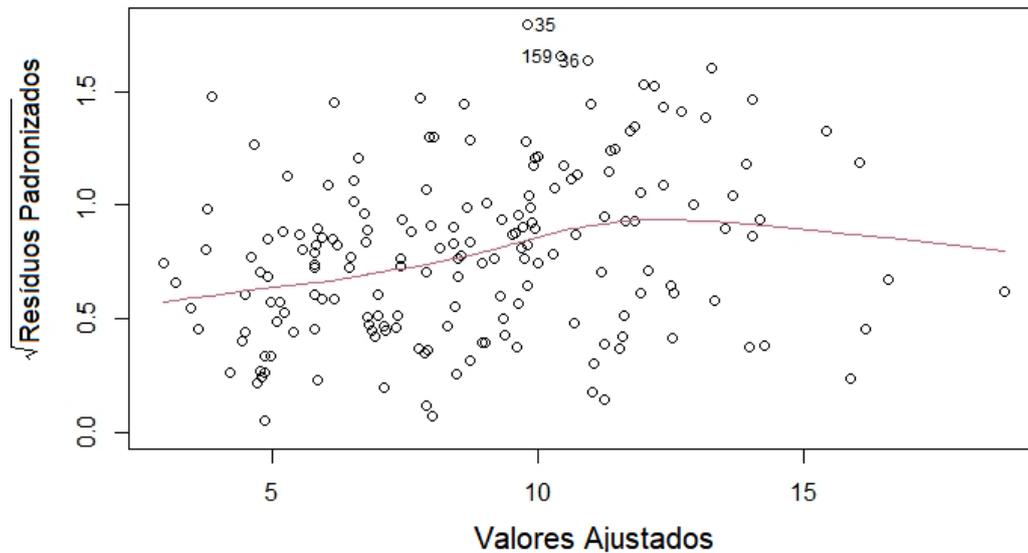


$$Bs = \beta_0 + \beta_1 d_{\text{colo}} + \beta_2 d_{\text{ap}}^2 + \beta_3 (d_{\text{ap}} * ht^2)$$

Fonte: Autor, 2022.

No gráfico acima, utilizou-se a verificação da normalidade dos resíduos, comparando os resíduos padronizados com os de distribuição normal padrão. O modelo para ter uma distribuição normal, os resíduos devem se ajustar a reta que está representada no gráfico, especificamente os valores devem ficar juntamente a reta, mas é comum e aceitável estatisticamente que os valores nas extremidades fiquem fora dessa demarcação, desde que eles tenham uma dispersão de lados opostos em cada extremidade da reta desenhada no gráfico. Verificando esta análise no gráfico apresentado do modelo selecionado, houve esta dispersão em lados opostos quando observado os valores que não estão exatamente na reta e estão localizados nas extremidades, porém, a maioria dos valores ficou precisamente na demarcação, nos mostrando uma normalidade dos resíduos quando avaliado o modelo 6.

Figura 7 Resíduos Padronizados x valores ajustados

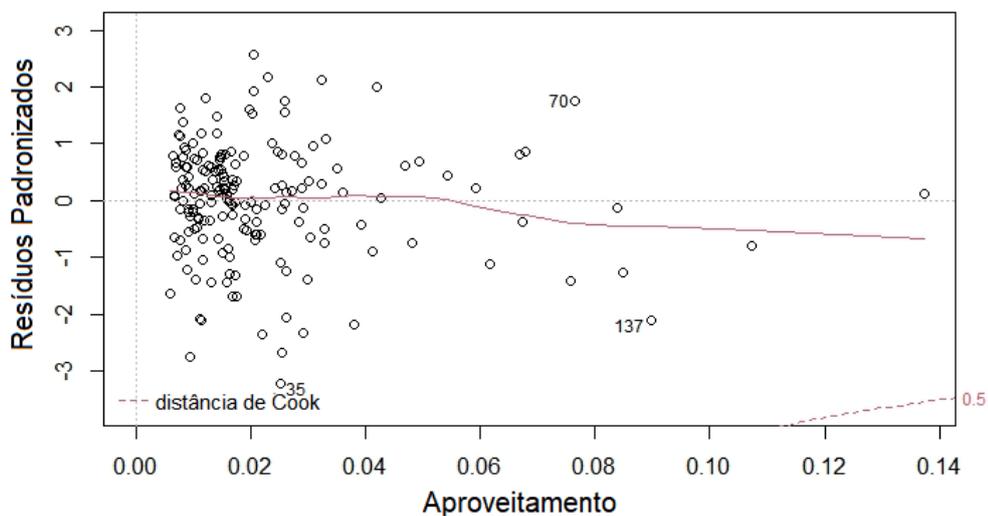


$$Bs = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 dap^2 + \beta_3 (dap * ht^2)$$

Fonte: Autor, 2022.

Nesse gráfico mostra a homogeneidade da variância, que nesse modelo selecionado a homogeneidade acontece, como pode se observar ver no gráfico acima os valores estão dispersos tanto na parte superior do gráfico quanto na parte inferior, olhando a divisão feita pela linha vermelha, além disso, verificou-se que essa dispersão acontece desde o início do gráfico não ocorrendo o que é chamado de um formato de funil. O que nos certifica que esta variação dos dados está em um formato homogêneo.

Figura 8 Gráfico da Distância de cook's



$$Bs = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 dap^2 + \beta_3 (dap * ht^2)$$

Fonte: Autor, 2022.

No gráfico acima apresenta uma medida que mostra o quanto um único caso é capaz de influenciar a estimativa em um modelo de regressão. Sendo assim, irá nos mostrar se algum destes valores devem ser excluídos para não influenciar no modelo ajustado, os valores que ficarem abaixo de 0,5 devem sofrer essa exclusão. Analisando o nosso resultado, podemos observar que não temos nenhuma situação que irá influenciar no modelo selecionado, não necessitando a exclusão de valores da amostragem.

5. DISCUSSÃO

Através dos resultados encontrados e descritos anteriormente, verificou-se que para a predição da biomassa do colmo, foi selecionado o modelo 6 $Bs = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 dap^2 + \beta_3 (dap * ht^2)$, que requer 3 variáveis independentes, são elas: DAP, ht e Dcolo. Em estudos realizados para a mesma finalidade como por exemplo o realizado por Mognon (2014) utilizando a espécie de *Dendrocalamus asper* encontrou um valor de R^2_{aj} de 0,74, apresentando um resultado inferior ao encontrado no presente estudo o qual teve como valor de R^2 igual a 0,784, já quando comparado o S_{xy} , percebe-se um valor de aproximadamente 15% no trabalho de Mognon (2014), enquanto no presente trabalho esse indicador teve um valor de 18,69% essa pequena diferença pode ser em relação a quantidade amostral do experimento, no nosso caso foram coletados 179 colos, já o estudo feito por Mognon (2014) foram apenas 20 amostras.

Outros autores realizaram alguns estudos com diferentes espécies, como por exemplo a espécie *Guadua weberbauer*, onde Torezan e Silveira (2000) utilizaram as variáveis DAP e altura do colmo para realizar a estimativa da biomassa, através disto encontraram valores de R^2_{aj} iguais a 0,74, considerando uma boa estimativa, os mesmos autores quando analisado um modelo onde levou-se em consideração somente a variável do DAP, encontraram valores de R^2_{aj} equivalente a 0,75. Eles relatam dificuldades quando utilizado a variável de altura do colmo em determinadas equações, tendo em vista o processo de mensuração da altura, o qual acaba tendo algumas dificuldades. No presente trabalho apesar destes relatos, o modelo que melhor apresentou uma acurácia na predição da biomassa, era constituído pela variável altura do colmo.

No estudo de Mognon (2014), foram utilizados os mesmos modelos matemáticos, porém, apresentaram alguns resultados diferentes, no presente estudo o modelo 6 foi o que teve melhor desempenho em relação a predição da biomassa seguido pelos modelos 9, 5 e 3 respectivamente, quando comparado com o estudo feito com os mesmos modelos, Mognon (2014), observou que o melhor modelo foi o 5, seguido pelo modelo 2, mas com resultados semelhantes ao modelo 3, 8 e 10.

Apesar de encontrar uma pequena diferença nos resultados em relação aos do Mognon (2014), ele conclui em seu trabalho que a biomassa do colmo se correlaciona com as variáveis biométricas DAP, altura do colmo e diâmetro de colo, observando e relacionando com o presente estudo podemos verificar que ambas as três estão no modelo que apresentou um melhor resultado (modelo 6).

Perante os resultados encontrados no presente trabalho verificou-se que não houve uma predição da biomassa que apresentasse uma acurácia significativa. O que pode explicar esse resultado é a influência da densidade na predição da biomassa, segundo trabalho feito por Silva, W. C. (2015) concluiu que a densidade de colmo do gênero *Guadua* foi a única variável capaz de explicar diretamente e significativamente a variação da densidade arbórea. Outras variáveis que podem influenciar diretamente na biomassa citada no mesmo trabalho são algumas condições do solo como por exemplo a sua textura no teor de argila e silte.

Outra situação que pode ter afetado ter uma predição da biomassa com uma acurácia, é por se tratar de um plantio experimental, no qual existiam alguns tratamentos com diferentes dosagens de nutrientes, influenciando no desenvolvimento da planta, fazendo com que ocorra o aumento da heterogeneidade do crescimento dos indivíduos de *Dendrocalamus asper*.

6. CONCLUSÃO

- Através do estudo feito, pode-se concluir que as variáveis biométricas que se correlacionam com a biomassa seca do colmo do bambu, são principalmente o Dcolo, DAP e a ht. Estas variáveis estavam relacionadas no melhor modelo escolhido do presente trabalho (modelo 6 - $Bs = \beta_0 + \beta_1 dcolo + \beta_2 dap^2 + \beta_3 (dap * ht^2)$).

- Porém, para uma maior acurácia na predição da biomassa, deve ser utilizado modelos nos quais levem em consideração a densidade básica da espécie, podendo assim ter uma correlação mais assertiva com a quantidade de biomassa do bambu. Com isso, é relevante a realização de outro estudo como este levando em consideração modelos que possuam a variável de densidade em sua composição. É importante frisar que este estudo não foi levado em consideração a densidade por não ter sido aferida, por tanto em um próximo é importante a aferição da mesma.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.; Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.1, p.711-728, 2013.

BARROS et al. **Quantificação e distribuição de biomassa em plantas de bambusa vulgaris**. IV Semana de Engenharia Florestal da Bahia e I mostra da Pós-Graduação em Ciências Florestais da UESB. Vitória da Conquista BA, 2016.

BORGES, F. P.; COLODETTE, J. L.; GOMES, F. J. B. Utilização do bambu como matéria-prima na obtenção de polpa celulósica voltada à fabricação de papel de embalagem sackraft. **The journal of engineering and exact sciences**, Viçosa, v. 4, n. 4, p. 1-7, 2018.

COELHO, M. U. **Avaliação tecnológica da madeira de Pinus maximinoi visando sua utilização industrial na produção de celulose kraft**. 2017. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

DELGADO, P. S. **O bambu como material eco-eficiente: caracterização e estudos exploratórios de aplicações**. 2011. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual de Minas Gerais, 2011.

EMBAYE, K.; WEIHA, M.; LEDINC, S.; CHRISTERSSONA, L. Biomass and nutrient distribution in a highland bamboo forest in southwest Ethiopia: implications for management. **Forest. Ecology and Management**. v. 204, n. 1. p. 159 - 169. 2005.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **EMBRAPA**. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2016, 306p.

GATTO, A.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; SILVA, I. R.; LEITE, H. G.; VILLANI, E. M. A. Estoque de carbono na biomassa de plantações de eucalipto na região centro-leste do estado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 895 - 905, 2011.

GEROTO, P. G. **Caracterização anatômica e física - por densitometria de raios X - de colmos de Dendrocalamus asper Backer, Dendrocalamus latiflorus Munro e Guadua angustifolia Kunth**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola

Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014. 112 p.

GHAVAMI K. E, MARINHO. A.B. **Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie Guadua angustifolia**. Departamento de Engenharia Civil – PUC- RIO 2002.

GHAVAMI, K. Bambu: um material alternativo na engenharia. **Revista do Instituto de Engenharia**, São Paulo, n.492, p.23-27, 1992.

GRECO, T.M.; CROMBERG, M; RÍOS, H.C. **Bambu: Cultivo e Manejo**. Ed. Insular: Florianópolis, SC, 2011. 184p.

ILVESSALO-PFAFFLI, M. –S. Fiber Atlas – Identification of papermaking fibers. **Springer Science & Business Media**. 1995. 316p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – **IBÁ**, 2020. Relatório anual: Ano base 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>.

ISAGI, Y.; KAWAHARA, T.; KAMO, K. Biomass and net production in a bamboo *Phyllostachys bambusoides* stand. **Ecological Research**, v. 8, p. 123 - 133, 1993.

LIESE, W. Bamboos - Biology, silvies, properties, utilization. **Eschborn, dt.Ges.fur.Tech. Zusammenarbeit (GTZ)**, Hamburgo. 132p, 1985.

LONDOÑO, X. **Distribucion, morfologia, taxonomia, anatomia, silvicultura y usos de los bambues del nuevo mundo**. Universidad Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. Agosto 2002

MARÇAL, V. H. S.; CALDAS, L. R.; SPOSTO, R. M. **Avaliação do ciclo de vida de emissões de CO2 para produção comercial de escoras de bambu**. II Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis. 2016.

MARTINS, R.; GUERREIRO, L. Resposta técnica. **Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas. 2006**. Disponível em: <<http://www.sbirt.ibict.br>>. Acesso em: 08 Jul. 2021.

MOGNON, F.; RODRIGUES, A. L.; SANQUETTA, C. R.; CORTE, A. P. D.; NOVAES, A. B.; BLUM, C. T. Alocação e modelagem da biomassa em *Dendrocalamus asper*. **Floresta**, v.45, n.1, p. 1-10, 2015.

MOGNON, F; DALLA CORTE, A.P.; SANQUETTA, C.R.; BARRETO, T.G; WOJCIECHOWSKI. J. Estimativas de biomassa para plantas de bambu do gênero *Guadua*. **Revista Ceres**, Viçosa, v.61, n.6, p.900-906, 2014.

NATH, A. J.; DAS, G.; DAS, A. K. Above ground standing biomass and carbon storage in village bamboos in North East India. **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 1188 - 1196, 2009.

NOGUEIRA, C.L. **Painel de bambu laminado colado estrutural**. 2008. 86 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão: com apoio computacional**. São Paulo: IME / USP, 2004.

PEREIRA, M. A. R. **Projeto Bambu**: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações. Bauru: USP, 2012. 210 p.

PEREIRA, M. A. Bambu: espécies, características e aplicações. **Editora da UNESP**, Bauru, SP. 58p, 2001.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLIOTO, M.A.B.; GOMES, F.S. (Ed.). **As florestas e o carbono: [s.n.]**, 2002, cap. 6, p. 119-140.

SILVA, W. C. **Abundância de bambu (*Guadua* spp.), variáveis edáficas e biomassa arbórea em florestas do Sudoeste da Amazônia**. Dissertação - Curso de Ecologia e Manejo de Recursos Naturais, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2015.

SILVEIRA, M. **A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas**. Tese de Doutorado, UNB, Brasília – DF, 2001. 121p.

TEIXEIRA, L. M. **Influência da intensidade de exploração seletiva de madeira no crescimento e respiração do tecido lenhoso das árvores em uma floresta tropical de terra-firme na região de Manaus**. Manaus, 2003. 61 f. Dissertação (Mestrado) – INPA/UFAM, Manaus, 2003.

TOREZAN, J. M. D.; SILVEIRA, M. The biomass of bamboo (*Guadua weberbaueri* Pilger) in open forest of the southwestern Amazon. **Ecotropica**, v. 2. n. 6, p. 71 - 76, 2000.