

UNICESUMAR - CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

AVALIAÇÃO DA RECALCITRÂNCIA DA PAREDE CELULAR E
DESENVOLVIMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE BAMBU COMO FONTE
DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO BIOENERGÉTICA

Vitor da Rosa Vellini

MARINGÁ – PR

2018

Vitor da Rosa Vellini

**AVALIAÇÃO DA RECALCITRÂNCIA DA PAREDE CELULAR E
DESENVOLVIMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE BAMBU COMO FONTE
DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO BIOENERGÉTICA**

Artigo apresentado ao curso de graduação em Agronomia do UniCesumar – Centro Universitário de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Agronomia, sob a orientação do Prof. Dra. Graciene de Souza Bido.

MARINGÁ – PR

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

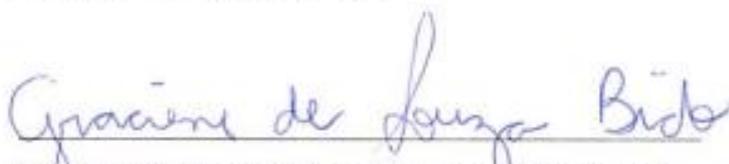
Vitor da Rosa Vellini

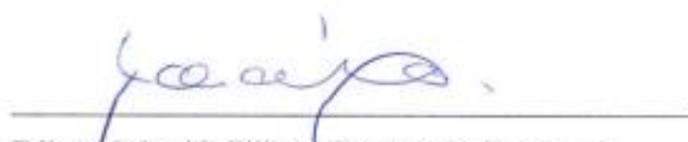
AVALIAÇÃO DA RECALCITRÂNCIA DA PAREDE CELULAR E MENSURAÇÃO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE BAMBU COMO FONTE DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO DE BIOENERGÉTICA

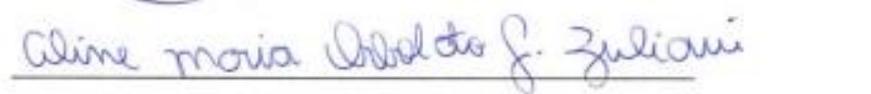
Artigo apresentado ao curso de graduação em Agronomia da UniCesumar – Centro Universitário Cesumar como requisito parcial para a obtenção do título de bacharel em Agronomia, sob a orientação do Prof. Dra. Graciene de Souza Bido.

Aprovado em: 08 de 11 de 2018.

BANCA EXAMINADORA


Graciene de Souza Bido – (Doutora, Unicesumar)


Edison Schmidt Filho – (Doutor, Unicesumar)


Aline Maria Orbolato Gonçalves Zuliani – (Doutora, Unicesumar)

AVALIAÇÃO DA RECALCITRÂNCIA DA PAREDE CELULAR E DESENVOLVIMENTO DE DIFERENTES ESPÉCIES DE BAMBU COMO FONTE DE BIOMASSA PARA A PRODUÇÃO BIOENERGÉTICA

Vitor da Rosa Vellini; Graciene de Souza Bido

RESUMO

Atualmente, há uma grande preocupação quanto aos combustíveis de origem fóssil, por possuírem finitas reservas, seu uso é um dos principais responsáveis pela emissão de gases poluentes que estão provocando mudanças climáticas e aquecimento global. A substituição de fontes de energia fósseis por renováveis tem sido buscada a fim de diversificar o suprimento de energia ao redor do mundo. Devido a sua grande extensão em áreas agricultáveis, o Brasil apresenta-se com destaque no cenário mundial, com ampla diversidade climática e exuberância de biodiversidade. Produzidos a partir de biomassa vegetal, os biocombustíveis vêm se destacando no setor energético como alternativa aos combustíveis fósseis. O bambu apresenta alto potencial para a produção de biocombustíveis, sendo caracterizado como um recurso natural e de renovação rápida. Uma das maiores virtudes dessa gramínea é a de possuir um tecido lenhoso em sua estrutura fisiológica, possibilitando também sua utilização na área da construção civil com excelência. Portanto, no presente estudo foi observado o desenvolvimento de algumas espécies de bambu, bem como os teores de lignina, ácido ferúlico e cumárico e a digestibilidade da parede celular para a produção bioenergética. Os resultados indicaram que as espécies de bambu *Phyllostachys edulis*, *Guadua chacoenses* e *Bambusa vulgaris* teriam maior potencial para a produção de biocombustíveis, porém *Phyllostachys edulis* não se adaptou as condições edafoclimáticas da região, portanto, as espécies *Guadua chacoenses* e *Bambusa vulgaris* são as mais indicadas para a produção dos biocombustíveis de acordo com as análises laboratoriais e adaptação à região maringense.

Palavras-chave: Digestibilidade. Lignina. Sustentabilidade.

EVALUATION OF CELL WALL RECALCITRANCE AND MEASUREMENT OF DIFFERENT BAMBOO SPECIES AS A BIOMASS SOURCE FOR THE PRODUCTION OF BIOENERGY

ABSTRACT

Now a days, there is great concern about fossil fuels because they have finite reserves, and their use is a major contributor to the polluting gases that are causing climate change and global warming. The replacement of fossil energy sources by renewable energy has been sought in order to diversify the energy supply around the world. Due to big extension in agricultural areas, Brazil stands out in the world scenario, with wide climatic diversity and exuberance of biodiversity. Produced from vegetal biomass, biofuels have been standing out in the energy sector as an alternative to fossil fuels. Bamboo presents high potential for the production of biofuels, being characterized as a natural resource and of rapid renewal. One of the greatest virtues of this grass is to have a woody tissue on its physiological structure, also making it possible to use it in the construction area with excellence. Therefore, in the present study reviews the development of some species of bamboo, as well as the lignin, ferulic acid and cumaric acid contents and the cell wall digestibility for the bioenergetic production. The results indicated that the bamboo species *Phyllostachys edulis*, *Guadua Chacoenses* and *Bambusa vulgaris* would have greater potential for the production of biofuels, however, *Phyllostachys edulis* did not adapt to the soil and climatic conditions of region, so, the species *Guadua chacoenses* and *Bambusa vulgaris* are the most indicated for the production of biofuels through laboratory analyses and adapted to maringaense region.

Keywords: Digestibility. Lignin. Sustainability.

1. INTRODUÇÃO

As crescentes preocupações com a poluição ambiental, segurança energética e reserva de combustíveis tem despertado o interesse global pelo uso de fontes alternativas para a produção de energia, dando maior ênfase nos biocombustíveis, que são gerados a partir de biomassa (MORRIS *et al.*, 2013).

Materiais não renováveis como o petróleo, gás natural e seus derivados respondem por 55% do consumo mundial de energia (BNDES, *et al.*, 2008). São esses combustíveis que permitem boa parte das atividades industriais e possibilitam o desenvolvimento econômico dos países. Contudo, os combustíveis de origem fóssil têm finitas reservas e seu uso é um dos principais responsáveis pela emissão de gases poluentes que estão provocando mudanças climáticas e aquecimento global (BARROS, 2007; KOSKINEN, 2016).

Globalmente, a bioenergia representou 14% do consumo mundial de energia em 2012, com cerca de 2,6 bilhões de pessoas dependentes da biomassa tradicional para consumo de energia (WEC, 2016). A Definição de biomassa se dá por ser a matéria orgânica que possa ser transformada em energia térmica e, posteriormente, transformada em energia mecânica e/ou elétrica. De acordo com a sua origem, pode ser florestal, agrícola ou proveniente de rejeitos urbanos e industriais (ANEEL, 2008).

A substituição de fontes de energia fósseis por renováveis tem sido buscada a fim de diversificar o suprimento de energia ao redor do mundo (HILL *et al.*, 2006). Seguindo, portanto, a linha de sustentabilidade o setor bioenergético encontra-se diante de um grande desafio, comprovar e garantir a sua sustentabilidade. Além disso, incertezas a respeito da disponibilidade futura de recursos não renováveis e tensões geopolíticas em regiões produtoras de petróleo têm despertado grande interesse no mundo por fontes renováveis de energia (NAPOLEÃO, 2005).

O Brasil apresenta-se com destaque no cenário mundial agrícola pela grande disponibilidade de áreas agricultáveis com ampla diversidade climática e exuberância de biodiversidade, além de possuir um quarto das reservas de água doce do planeta (OLIVEIRA e RAMALHO, 2006). Produzidos teoricamente de

qualquer substancia que é ou já foi vegetal, os biocombustíveis vêm se destacando no setor energético como uma alternativa mais barata que os combustíveis fósseis (GRISOLI *et. al.*, 2009). Dentre os biocombustíveis mais comuns tem-se o etanol e o biodiesel.

Um dos materiais com alto potencial para a produção de biocombustíveis é o Bambu, sendo caracterizado como um recurso natural e de renovação rápida (GUARNETTI, 2007). Similarmente a outras plantas, a parede celular dessa gramínea é formada principalmente por dois carboidratos, a celulose e a hemicelulose, embebidos em uma matriz, denominada de lignina (REZENDE *et al.*, 2011).

O bambu é uma gramínea lenhosa pertencente à família Poaceae, tem boa produtividade de biomassa por hectare, com aproximadamente 1.600 espécies conhecidas e catalogadas cientificamente, que se dividem em 121 gêneros, sendo 25 herbáceos e 96 arbóreos, que estão espalhados em quase todos os continentes da crosta terrestre, sendo cultivados aproximadamente 50 milhões de hectares em todo planeta (GUARNETTI, 2013; SOUZA, 2010). Atualmente, foi instituída a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB), através da Lei 12.484 de 2011 (BRASIL, 2011), com objetivo principal de promover o desenvolvimento da cultura do bambu no Brasil.

As espécies de bambu podem apresentar alto potencial de produção de biomassa, sendo atualmente bastante cultivadas no Nordeste do Brasil, em locais de clima tropical seco e semiárido, com destaque para plantios nos estados do Maranhão e Pernambuco (MOREIRA, 2012). No que diz respeito à produtividade, o bambu pode produzir de 50 a 100 toneladas em um ano por hectare, dependendo da espécie (BERALDO e AZZINI, 2004).

Espécies de bambus apresentam elevada taxa de crescimento e, portanto, uma produção acelerada de biomassa (SCURLOCK *et al.*, 2000). No entanto, o pouco conhecimento científico sobre as espécies de bambu, especialmente no que se refere à possibilidade de sua utilização como fonte de energia, tem restringindo o pleno desenvolvimento da cultura nessa área (TRUONG, 2014).

Uma das maiores virtudes dessa gramínea é possuir um tecido lenhoso em sua estrutura fisiológica, possibilitando sua utilização na área da construção civil com excelência. Além disso, também tem grande participação na alimentação, produção de móveis, papéis, cabos de fermentas, artesanato, proteção contra ventos e chuvas, e valor paisagista (ONUAA, 2007).

A maior parte das espécies de bambu cresce em média de 8 a 15 metros de altura, mas há espécies que ultrapassam 40 metros de altura, podendo estas em determinadas épocas do ano crescer até um metro por dia (OLIVEIRA, 2013). O bambu tem a capacidade de sequestrar rapidamente o carbono atmosférico, agindo, portanto, diretamente na concentração de carbono na atmosfera (BONILLA *et al.*, 2010), assim como todos os vegetais, as espécies de bambu armazenam carboidratos na forma de amido (WALTER, 2005).

Contudo, é sabido que a deposição de lignina na parede celular secundária em espécies vegetais, aumenta com a maturação fisiológica e diminui a digestibilidade dos polissacarídeos (DESCHAMPS, 1999), ou seja, quanto maior a quantidade de lignina na parede celular das plantas, menos digerível esse material se torna, dificultando a extração dos polissacarídeos, os quais constituem-se como matéria prima para se realizar o processo de obtenção dos combustíveis bioenergéticos.

As biomassas lignocelulósicas correspondem ao material mais abundante no planeta e são compostas majoritariamente por celulose (30 a 50 %), hemicelulose (20 a 35 %) e lignina (20 a 35 %) com uma pequena quantidade de outros componentes (DEUSS e BARTA, 2016). As cadeias de celulose e hemicelulose são envoltas pela lignina, que atua como uma barreira hidrofóbica ao ataque de microorganismos (RABELO, 2010). Na maioria das biomassas, depois da celulose, a lignina é o biopolímero presente em maior quantidade e o principal em termos de compostos aromáticos (LAURICHESSE e AVÉROUS, 2014).

Com isso, pode-se afirmar que a parede celular das plantas consiste em lignocelulose e sua composição e porcentagens de polímeros variam entre as espécies vegetais, variando também de acordo com a idade e a fase de crescimento (JEFFRIES, 1994).

Portanto, é entendido que as fontes renováveis de energia constituem uma alternativa sustentável no quesito da substituição de fontes não renováveis por fontes renováveis, como é o exemplo de plantas como a cana de açúcar, bambu, palha de arroz, entre outras. (BUABAN *et al.*, 2010; VAN ACKER *et al.*, 2013).

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo verificar a digestibilidade, o teor de lignina, teor de ácidos ferúlico e cumárico da parede celular de espécies de bambu, dentre elas *Guadua chacoenses*, *Guadua angustifolia*, *Bambusa vulgaris* var. *vittata*, *Phyllostachis pubscens*, *Bambusa vulgaris*, *Phyllostachis aurea*, *Dendrocalamus asper*, *Phyllostachis edulis*, *Phyllostachys bambusoides* e *Dendrocalamus giganteus*, bem como analisar o crescimento e desenvolvimento das espécies. O trabalho buscou identificar quais espécies de bambu apresentam adaptabilidade na região de Maringá-PR e potencial para a produção de bioenergia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Um viveiro com sistema de irrigação foi construído, na Fazenda Experimental Unicesumar (BIOTEC, -23.341898, -51.875253, Maringá-PR, 87035-510), para que as mudas fossem alojadas em um local ideal para sua aclimatação. Inicialmente, na construção foram colocados palanques de eucalipto para fazer a estrutura, e sobre eles foi disposto um sombrite 50% para proteger as mudas contra o excesso da incidência luminosa do sol. Além disso, no viveiro também foi utilizado um sistema de irrigação ecológico, que em todo o chão do viveiro foi colocada uma lona com certa declividade para um dos lados do viveiro, assim, quando o sistema de irrigação era ligado toda a água que não caía sobre os vasos com as mudas, escorria por essa lona até o canto do viveiro onde havia uma área de captação, toda a água era redirecionada para duas caixas d' água e voltava para o sistema de irrigação novamente, formando um sistema cíclico.

As mudas utilizadas foram adquiridas pela Unicesumar em parceria com a EMATER, algumas vindas de um produtor regional de Maringá-PR e outras do Sítio da Mata da cidade de Jumarim no estado de São Paulo. Parte das mudas foi trazida por correio, e acondicionada em baldes com água por 3 dias até serem transplantadas. O restante das mudas foi entregue em sacos plásticos, sendo

imediatamente dispostas no viveiro.

Depois dos 3 dias, as plantas que estavam nos baldes com água, foram então transplantadas em sacos plásticos de medida 40x40cm, contendo uma mistura de areia, terra e compostagem, sendo colocadas em proporções iguais (1/1/1) e mantidas no viveiro.

Quando essas mudas atingiram 1 ano de idade, foram transplantadas em uma área definitiva na fazenda da Unicesumar, onde foram feitas covas adicionando compostagem (adubo orgânico) para a disponibilização de nutrientes para essas plantas. Foi realizada periodicamente a limpeza para diminuir a competição com plantas invasoras.

Foi feito o acompanhamento do crescimento e desenvolvimento das espécies de bambu por 4 meses. Dentre as características mensuradas, verificou-se o número de nós, quantidade de perfílhos, número de folhas, altura do broto, diâmetro do colmo e comprimento de nó a nó, sendo que esses dois últimos parâmetros foram analisados no terceiro nó a partir da base do solo, o qual foi marcado com corda para que as análises fossem realizadas sempre no mesmo marco. É importante ressaltar que foram acompanhadas 4 espécimes de cada espécie, constituindo 4 repetições.

Após um ano, o material biológico foi colhido e fracionado em partes menores e mantido em estufa a 60°C até peso constante para obtenção da matéria seca. A biomassa seca foi levada ao departamento de Bioquímica de plantas (Bioplan) da Universidade Estadual de Maringá-UEM, onde foram então triturados e pulverizados em rolo faca e moinho bola respectivamente. Com essa biomassa foram realizados os seguintes experimentos:

Obtenção da Parede Celular- Biomassas secas de colmo de Bambu que foram triturados em rolo faca, e pulverizadas em moinho bola, em seguida, pesadas amostras de 0,5g do material e adicionou-se a ele 20mL de álcool 80%. Os tubos com a biomassa e o álcool foram dispostos em uma bandeja e colocados para agitar no Shaker com uma temperatura de 55°C a 230 RPM, por um período de 16 horas, sendo que a cada 4 horas foi feita a troca do álcool, centrifugando os tubos por 10 minutos, a 3000 RPM. O sobrenadante foi então descartado e adicionou-se

novamente 20mL de álcool 80%.

Apos as 16 horas de lavagem, essa biomassa foi levada em estufa para secar durante 24 horas a 60°C.

Obtenção da Biomassa Isenta de Proteínas e Retirada dos Compostos

Fenólicos- Após obter a biomassa lavada e seca com álcool 80%, esse material foi pesado em tubos com 0,3g de biomassa, para ser lavado exaustivamente com a finalidade de fazer a retirada de interferentes como carboidratos, proteínas solúveis, compostos fenólicos e proteínas hidrofóbicas. A lavagem da parede celular foi realizada 3 vezes com 7mL de Triton X-100 em tampão de fosfato de sódio e potássio 50mM pH7 por 1 minuto, sendo centrifugada a 1400 RPM por 7 minutos. A cada lavagem o sobrenadante foi desprezado.

Sequencialmente, realizou-se a extração 3 vezes, com 7mL de NaCl 1M em tampão de fosfato de sódio e potássio 50mM pH7, homogeneizando-o por 1 minuto. Os tubos foram em seguida levados para centrifuga a 1400 RPM por 7 minutos. Ao final de cada lavagem o sobrenadante foi descartado. Após a lavagem com NaCl, foram realizadas 2 lavagens com 7mL de água deionizada, sempre homogeneizando por 1 minuto cada lavagem e levando ao final para a centrifuga 1400 RPM por 7 minutos. Ao final o sobrenadante foi descartado. Por fim, adicionou-se 5mL de acetona PA nas amostras por mais 2 vezes, homogeneizando por mais um minuto cada, e realizou-se a centrifugação com 1400 RPM por 7 minutos. O sobrenadante foi descartado. Ao final do processo, as amostras foram submetidas a um processo chamado de floculação e então levadas a estufa a 60°C por mais 24 horas.

Digestibilidade enzimática da parede celular- Biomassas secas e lavadas de colmo de Bambu foram pesadas em microtubos cônicos do tipo eppendorff (1,5mL) e ressuspensos em tampão acetato de sódio 50mM, pH5,0. Em seguida, foi adicionado xilanase na concentração de 20U/mL, obtendo um volume final de 1,0mL. Posteriormente, as amostras foram incubadas a 50°C durante 4 horas. Após incubação, o sobrenadante foi recolhido em microtubos de 1,5mL e centrifugados (13000×g, 5min). O sobrenadante foi utilizado para a análise de açúcares solúveis totais e redutores, sendo que o mesmo experimento é repetido para a análise em 24 horas (modificado de GONÇALVES *et al.*, 2012; DELABONA *et al.*, 2013).

Determinação da lignina pelo método de brometo de acetila- Amostras do material obtido anteriormente das lavagens (20mg) foram colocadas em tubos de vidro com rosca, e foi adicionado 0,5mL de brometo de acetila 25% (preparado em ácido acético glacial) sendo as amostra aquecidas durante 30 minutos em banho-maria a 70°C. Após esse procedimento, as amostras foram resfriadas com banho de gelo e a reação interrompida com 0,9mL NaOH 2,0M. A seguir, foram adicionados 0,1mL de hidroxilamina-HCl 5,0M e 2,0mL de ácido acético glacial. As amostras foram homogeneizadas e centrifugadas a 1000xg por 5 minutos, sendo os sobrenadantes utilizados para leituras em espectrofotômetro a 280nm. Os teores de lignina foram quantificados com auxílio de curva padrão apropriada e os resultados expressos em mg de lignina g⁻¹ de parede celular.

Quantificação dos Compostos Fenólicos por Cromatografo Líquido de Alta Eficiência- Para a quantificação dos compostos fenólicos, usou-se um cromatógrafo líquido de alta eficiência (HPLC) sendo que o equipamento é equipado com uma coluna c18 de 25cm, o fluxo utilizado foi o de 0,800mL min⁻¹. O método utilizado foi o isocrático, ou seja 30% metanol, 70% ácido acético 4%. É importante ressaltar também que para a determinação de ácido ferúlico e o p-cúmalico usou-se os respectivos comprimentos de onda de 323nm e 309nm

Análise estatística: Foram realizadas 5 repetições de cada variável, os dados avaliados por análise de variância e as médias entre tratamentos comparadas pelo teste Scott Knott a 5% de significância (SCOTT e KNOTT, 1974), utilizando o software SISVAR (FERREIRA, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que a espécie *Phyllostachys pubscens* apresentou maior teor de lignina quando comparada às outras espécies de bambu e à cana-de açúcar, indicando potencial para utilização em construção civil devido à maior sustentação e firmeza estrutural (Figura 1).

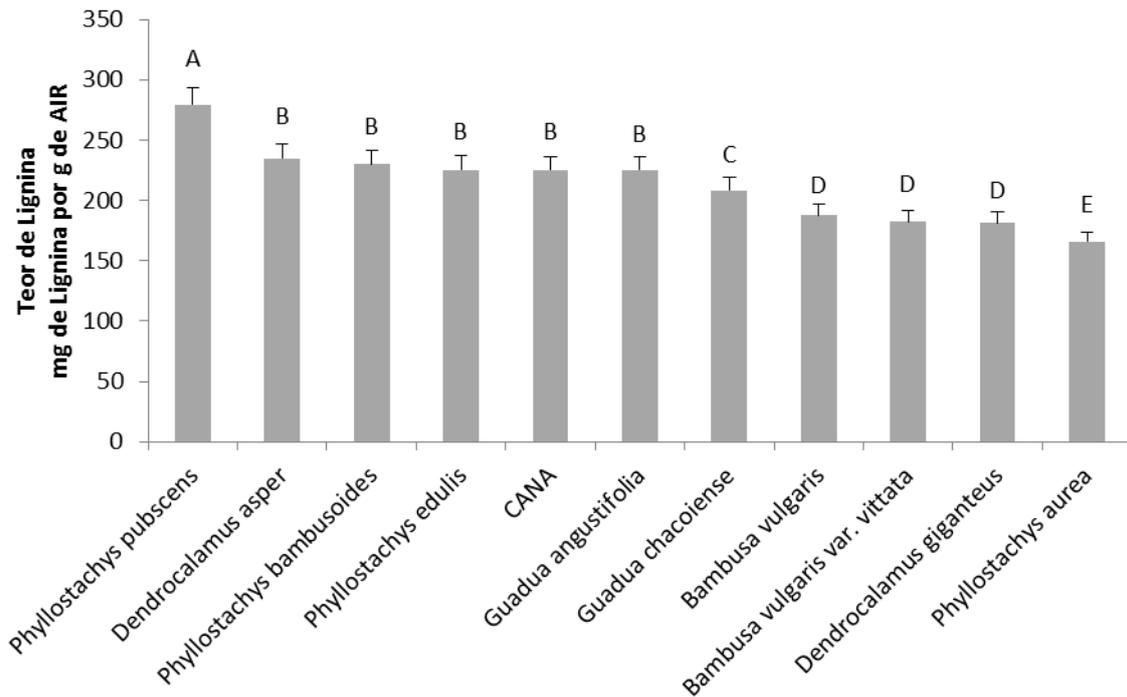


Figura 1. Teor de lignina das espécies de bambu. Valores médios + erro padrão da média (n = 4) marcados com diferentes letras são significativamente diferentes ($p \leq 0.05$, Teste Scott Knott).

Os materiais lignocelulósicos apresentam uma estrutura rígida e complexa, formada principalmente por celulose envolta por hemicelulose e lignina, que dificulta a degradação dessa biomassa para sua utilização (SCHEUFELE *et al.*, 2012), ou seja, a celulose apresenta resistência à hidrólise devido às estruturas cristalinas em algumas regiões nas plantas, às barreiras físicas e fortes interações intermoleculares criadas pela hemicelulose e pela lignina presentes nessa biomassa lignocelulósica. Essa resistência é uma das maiores dificuldades para a conversão biotecnológica da celulose em sacarídeos (AGUILAR *et al.*, 2002).

A tecnologia de conversão de biomassa lignocelulósica em açúcares fermentáveis para a produção de etanol é considerada uma alternativa promissora para um desenvolvimento mais sustentável atendendo à demanda mundial por etanol. Além disso, o mais abundante recurso biológico renovável da terra é a biomassa lignocelulósica (ZHANG *et al.*, 2004).

Todas as outras espécies de bambu analisadas apresentaram teor de lignina semelhante ou inferior ao da cana-de-açúcar, aqui utilizada como parâmetro de material lignocelulósico voltado à produção de álcool de segunda geração. Dessa maneira, os dados sugerem que todas as outras espécies poderiam ser utilizadas para a produção de álcool de segunda geração, destacando a espécie *Phyllostachys*

aurea, a qual apresentou conteúdo de lignina consideravelmente inferior ao da cana-de-açúcar.

A fração fibrosa das espécies vegetais de uma maneira geral, é constituída, principalmente, por três compostos ligados entre si, que são a celulose, a hemicelulose e a lignina, sendo a lignina considerada o principal fator limitante à digestibilidade das forrageiras (VAN SOEST, 1994).

Um agravante para a recalcitrância dos materiais lignocelulósicos está relacionado à diversidade dos tipos de células existentes nesses materiais, a espessura da parede celular e as dimensões das células, que variam significativamente dependendo se são células de vasos, fibras ou células do parênquima (SIQUEIRA *et al.*; 2011), sendo que, a estrutura da lignina é constituída por uma rede polimérica tridimensional, formada por três unidades de fenilpropanos diferentes. Sua função é conferir as células da planta, impermeabilidade à água, rigidez, resistência mecânica e microbiológica (MOSIER *et al.*, 2005).

Os resultados obtidos a partir da digestibilidade, tanto em 4 (figura 2) como em 24 horas (figura 3) indica o quão digerível é parede celular das espécies vegetais, e quanto mais digerível essa parede celular for, menos dispendioso será a obtenção dos polissacarídeos para a produção dos biocombustíveis.

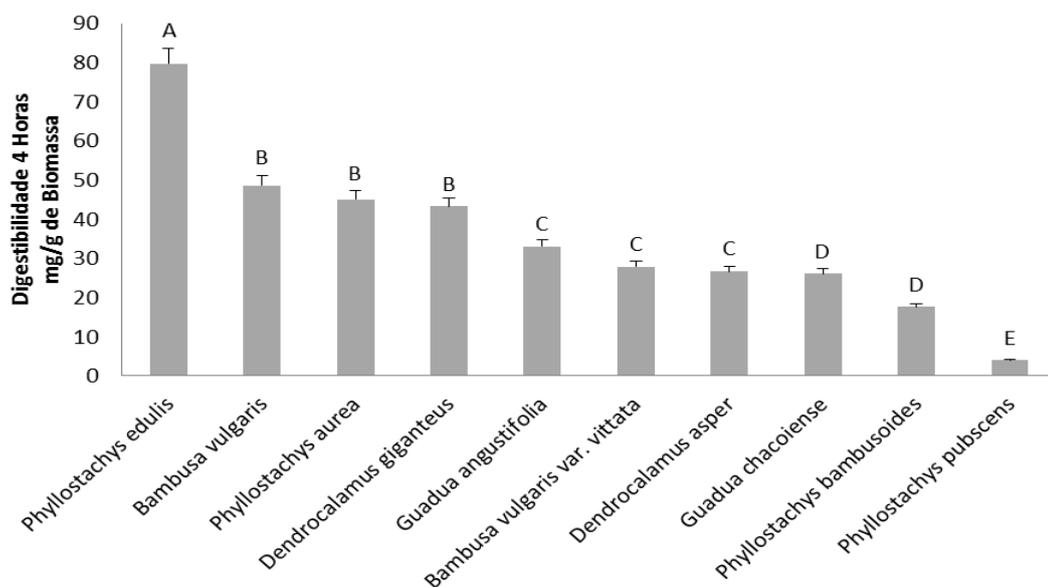


Figura 2. Digestibilidade em 4 horas das espécies de bambu. Valores médios + erro padrão da média (n = 4) marcados com diferentes letras são significativamente diferentes ($p \leq 0.05$, Teste Scott Knott).

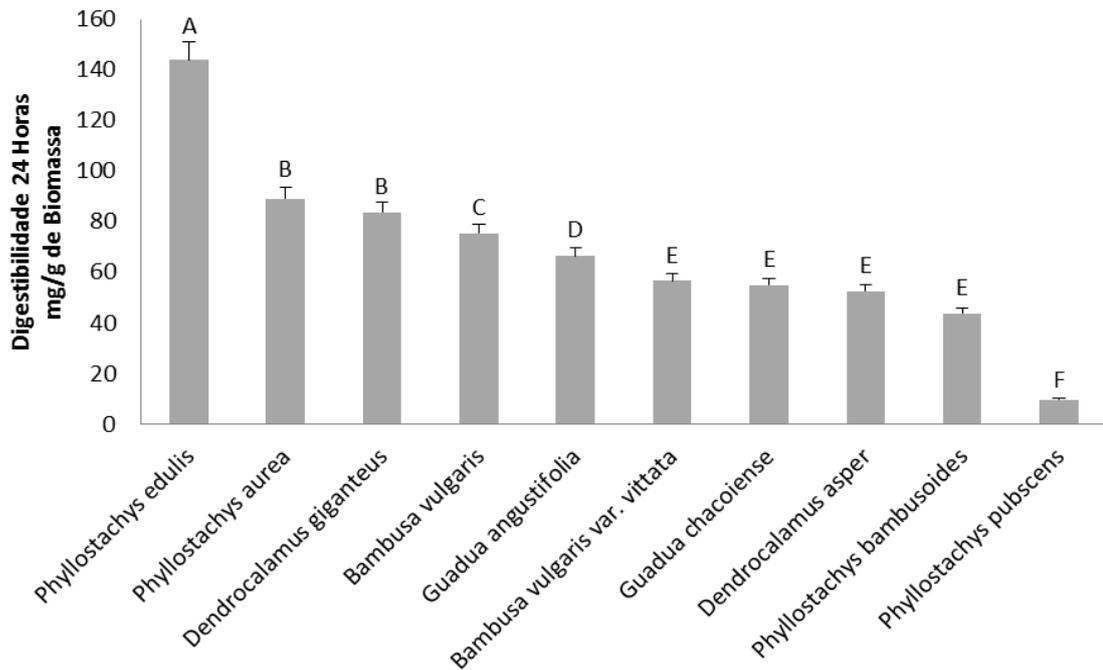


Figura 3. Digestibilidade em 24 horas das espécies de bambu. Valores médios + erro padrão da média (n = 4) marcados com diferentes letras são significativamente diferentes ($p \leq 0.05$, Teste Scott Knott).

Alguns autores têm estabelecido relação entre anatomia, composição química e digestibilidade de gramíneas, ou seja, dependendo da forma interna do vegetal e de sua formação estrutural interna, é possível afirmar que determinado material é mais ou menos digerível (ALVES DE BRITO *et al.*, 2003).

Os dados de digestibilidade com 4 e 24 horas mostraram praticamente o mesmo padrão de espécie correlacionando com a digestibilidade. Entretanto, o tempo pode alterar a digestibilidade de algumas espécies, como foi observado nas espécies *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*, as quais tiveram uma taxa de digestibilidade menor em 24 horas quando comparado com 4 horas, isso pode ser um indicativo de que há algum interferente na parede celular que acaba reduzindo a digestibilidade.

Podem ser destacadas algumas espécies de bambu que apresentaram alta digestibilidade da parede celular, como é o caso da espécie *Phyllostachys edulis*, que tanto em 4 quanto em 24 horas apresentou-se mais digerível quando comparada às outras espécies, sugerindo que essa espécie teria uma aplicabilidade para a produção de bioetanol.

Por outro lado, existem espécies de bambu como a *Phyllostachys bambusoides* e *Phyllostachys pubscens* que possuem baixíssima digestibilidade quando comparadas às outras espécies de bambu, conferindo maior resistência e menor flexibilidade.

Paciullo *et al* (2001), fez um trabalho analisando *Brachiaria*, em que destacou que a *Brachiaria decumbes* apresentou teor mais elevado de lignina (4,0%) quando comparada às outras brachiarias analisadas no trabalho, resultando em uma mais baixa digestibilidade atribuindo esse fato ao maior teor de lignina.

Reforçando o que foi exposto anteriormente, a digestão da parede celular de espécies vegetais seria o aumento dos constituintes da parede celular, bem como de seu espessamento e da deposição de lignina, o que tende a aumentar a fração indigerível e, conseqüentemente, reduzir a fração potencialmente digestível (TRES *et. al.*2014).

No que diz respeito aos ácidos fenólicos, especialmente p-cumárico e ferúlico, estão diretamente envolvidos na associação da lignina com as hemiceluloses (polioses) da parede celular. As principais formas de interação molecular estão bem estabelecidas e envolvem ligações éster e éter com os carboidratos e unidades condensadas da lignina (JUNG e DEETZ, 1993). Portanto, a presença de ácidos hidroxicinâmicos, como ácido ferúlico e p-cumárico, além de outros compostos fenólicos esterificados a pectinas, hemiceluloses, lignina e proteínas estruturais, restringem o crescimento celular (LYGIN *et al.*, 2011).

A concentração de ácidos fenólicos na parede celular dos vegetais pode contribuir para limitações de digestão que muitas espécies tropicais apresentam. Tem-se mostrado que nas plantas jovens, os complexos éster/ácido ferúlico se constituem em sítios iniciadores para a polimerização da lignina, isso porque, com o envelhecimento dos tecidos, a quantidade de ferulatos éster-ligados tende a se manter, enquanto aqueles éter-ligados são incrementados (MORRISON *et al.*, 1998).

Portanto, a interligação do ácido ferúlico com a lignina cria obstáculos para a degradação dos polissacarídeos da parede celular. As diversas formas pelas quais esses ácidos fenólicos podem se associar às hemiceluloses, ou mesmo serem incorporados à lignina, constitui-se na grande barreira para a digestão dos materiais, ou seja, quanto maior a quantidade de ácido ferúlico na parede celular dos vegetais, menor a digestibilidade do material, como é o caso da espécie *Dendrocalamus*

giganteus, que apresentou alta quantidade de ácido ferúlico na parede celular, sendo praticamente o dobro de espécies como a *Phyllostachys edulis* e *Phyllostachys pubscens*, as quais apresentaram quantidade relativamente baixa de fenólico, tendo maior digestão da parede celular (figura 4)

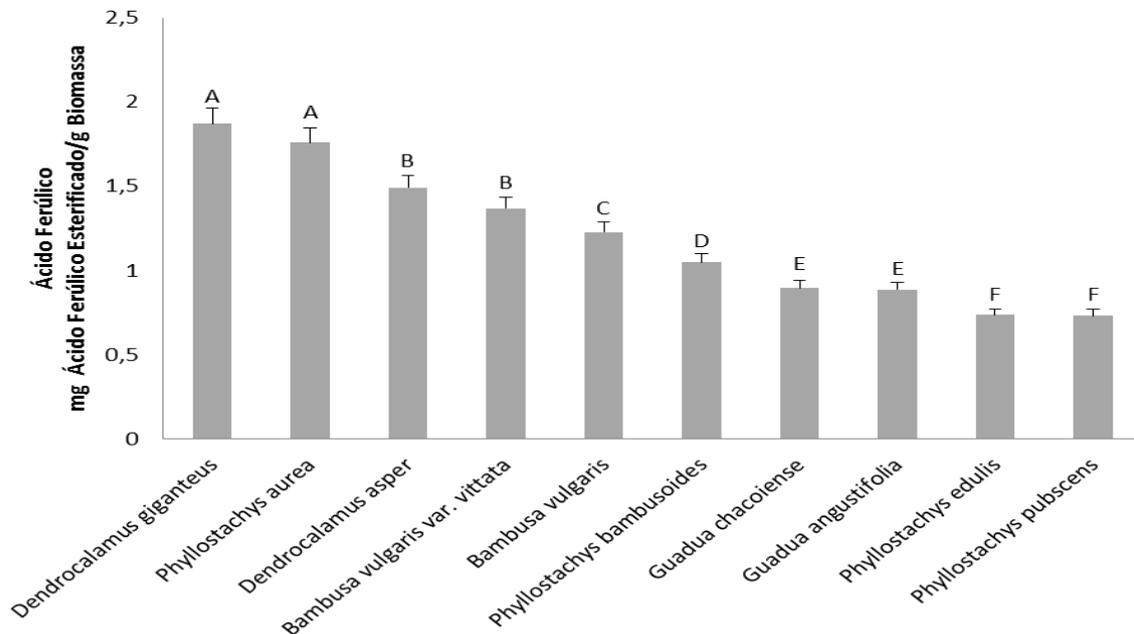


Figura 4. Teor de ácido ferúlico nas espécies de bambu. Valores médios + erro padrão da média (n = 4) marcados com diferentes letras são significativamente diferentes ($p \leq 0,05$, Teste Scott Knott).

O ácido ferúlico é um componente-chave na digestibilidade da parede celular, com papel estrutural interligando os polímeros da parede inibindo a atividade de hidrolases ou como intermediário na síntese dos monômeros da lignina (DOS SANTOS *et al.*, 2008). Além disso, os ácidos hidroxicinâmicos (ferúlico e p_cumárico), fazem a conexão entre hemicelulose e lignina, atuando na limitação da hidrólise enzimática da biomassa (GRABBER, 2005).

Compostos fenólicos como os ácidos p-cumárico e ferúlico são componentes da lignina e estão ligados à parede celular, juntamente com dímeros do ácido ferúlico (BARRIÈRE *et al.*, 2009). A condensação dos chamados ácidos fenólicos leva a formação da lignina, agindo, portanto, como suas unidades precursoras (AKIN *et al.* 1985). A natureza dos compostos fenólicos presentes no parênquima e esclerênquima de caules de gramíneas é diferente, além disso, a quantidade de compostos fenólicos presentes nos diferentes tecidos, tem sido relacionada à digestibilidade (AKIN *et al.*, 1990). O ácido ferúlico é um dos ácidos fenólicos mais

abundantes na matéria lignocelulósica, presente nos componentes da parede celular. (MATHEW e ABRAHAM, 2006).

Dentre os compostos fenólicos que têm relação com uma menor digestibilidade dos materiais de origem vegetal está o ácido p_cumárico. Portanto, acredita-se que quanto maior a quantidade de ácido p_cumárico, mais difícil se torna a obtenção dos polissacarídeos da parede celular. Observando a figura 5, é possível afirmar que as espécies *Dendrocalamus asper* e *Phyllostachys aurea* são as que apresentam maior teor de ácido p_cumárico na parede celular vegetal. Por outro lado, espécies como a *Guadua chacoenses* e *Phyllostachys edulis*, apresentam menor quantidade de ácido p_cumárico.

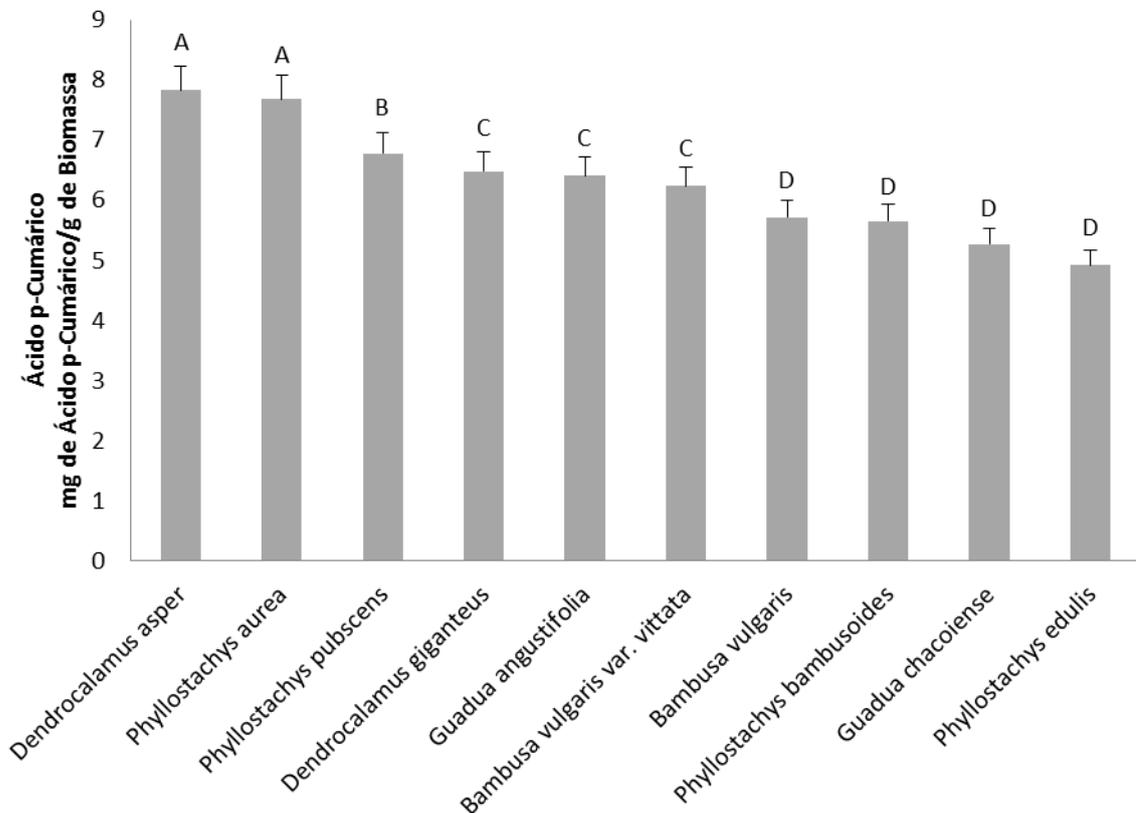


Figura 5. Teor de ácido ferúlico nas espécies de bambu. Valores médios + erro padrão da média (n = 4) marcados com diferentes letras são significativamente diferentes ($p \leq 0.05$, Teste Scott Knott).

A lignina “non-core” representa os ácidos fenólicos p-cumárico e ferúlico (e seus dímeros) depositados na parede celular durante sua formação. Esses ácidos podem estar ligados à lignina “core”, aos polissacarídeos ou a ambos, simultaneamente (JUNG, 1989). Além disso, em geral o ácido p-cumárico é o que apresenta maior efeito negativo sobre a digestibilidade de espécies vegetais

(HARTLEY, 1972), implicando assim diretamente em um pior aproveitamento dos polissacarídeos para a produção bioenergética.

Nos dados obtidos através da análise do crescimento e desenvolvimento das espécies de bambu implantadas em campo, foi possível verificar que, algumas das espécies não conseguiram se adaptar às condições edafoclimáticas da região de Maringá-PR, sendo que em alguns casos logo após terem sido implantadas acabaram morrendo, e em outros casos, as espécies até emitiram brotos, mas não conseguiram sobreviver. As espécies que não se adaptaram à região são todas do gênero *Phyllostachys* (*Phyllostachys aurea*, *Phyllostachys pubscens*, *Phyllostachys bambusoides* e *Phyllostachys edulis*), inferindo que esse gênero não apresenta características favoráveis às condições edafoclimáticas da região.

O quadro 1 expõe as variáveis de crescimento e desenvolvimento verificadas nas espécies que, após terem sido implantadas na área definitiva, conseguiram se adaptar. As espécies vigorosas foram *Guadua angustifolia*, *Guadua chacoenses*, *Dendrocalamus giganteus*, *Bambusa vulgaris var. vittata*, *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus asper*, sendo que a espécie que apresentou melhor desenvolvimento no decorrer dos meses, considerando principalmente a altura do broto e o diâmetro do colmo foi a *Dendrocalamus asper*, chegando a atingir 5,51 metros de altura, justificando o fato de ser conhecida como bambu balde ou bambu gigante.

Quadro 1: Desenvolvimento das espécies de bambu de fevereiro à maio sendo cada valor correspondente à média de 4 repetições.

	Espécies	Médias			
		Fevereiro	Março	Abril	Maior
Diámetro do colmo	<i>Guadua angustifolia</i>	1,87	2	2,37	11
	<i>Guadua chacoenses</i>	3,87	4	4,12	15,25
	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	5	6	6,43	11,6
	<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	7,12	7,5	8,25	15,37
	<i>Bambusa vulgaris</i>	6,62	6,75	7,37	15,87
	<i>Dendrocalamus asper</i>	14	14,6	15	15,6
Perfilhos	<i>Guadua angustifolia</i>	1,5	1,75	6,5	13,5
	<i>Guadua chacoenses</i>	0	1	12	17
	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	0	0	0	0
	<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	52,75	52,12	52	62,3
	<i>Bambusa vulgaris</i>	0	0,3	26	47,3
	<i>Dendrocalamus asper</i>	0	0	11	62
De nó a nó	<i>Guadua angustifolia</i>	9	9,33	9,66	10,66
	<i>Guadua chacoenses</i>	14,37	14,5	14,87	15,37
	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	7	7,5	13	13
	<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	10,75	11	13	15,37
	<i>Bambusa vulgaris</i>	15,25	15,62	15,87	16,12
	<i>Dendrocalamus asper</i>	12,75	13,25	14,16	14,37
Número de Folhas	<i>Guadua angustifolia</i>	0,25	1	27,25	240
	<i>Guadua chacoenses</i>	0	0	17,5	116,25
	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	1	1,75	9	10
	<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	1,5	2	22,5	322,3
	<i>Bambusa vulgaris</i>	1	1,6	41,3	152
	<i>Dendrocalamus asper</i>	6,25	6,25	10,3	245
Altura do Broto	<i>Guadua angustifolia</i>	91,6	94,3	106,25	149,25
	<i>Guadua chacoenses</i>	129	133,5	210,75	254,3
	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	86	96,25	229	295
	<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	58	63	286,6	374,6
	<i>Bambusa vulgaris</i>	149,3	162	288	352
	<i>Dendrocalamus asper</i>	205	238,3	423,75	551,75
Número de Nós	<i>Guadua angustifolia</i>	10,3	10,3	15,3	15,6
	<i>Guadua chacoenses</i>	9,3	9,6	18	23
	<i>Dendrocalamus giganteus</i>	1,25	1,5	12	19,6
	<i>Bambusa vulgaris</i> var. <i>vittata</i>	4,5	4,5	15,75	22,3
	<i>Bambusa vulgaris</i>	14	14,3	17,75	19
	<i>Dendrocalamus asper</i>	4,6	4,6	17	26

Observando os dados de diâmetro do colmo e altura do broto, todas as espécies apresentaram um crescimento satisfatório. No que diz respeito ao número de perfilhos emitidos, é preciso ressaltar que em alguns casos, no primeiro mês de observação não possuíam nenhum perfilho bem desenvolvido devido à mensuração dos brotos ter sido realizada na fase inicial dos mesmos, quando as plantas tinham cerca de um ano de idade. Por outro lado, logo no primeiro mês de observação, *Bambusa vulgaris* var. *vittata* já havia emitido um número considerável de perfilhos. *Dendrocalamus asper* e *Bambusa vulgaris* tiveram maiores taxas de incremento de

perfilhos observada, entretanto, não superou o número total de perfilhos da *Bambusa vulgaris* var. *vittata* no final do 4º mês.

A espécie *Dendrocalamus giganteus* não desenvolveu perfilhos durante os meses observados e as espécies do gênero *Guadua* (*Guadua chacoenses* e *Guadua angustifolia*) apresentaram poucos perfilho.

No dado de mensuração de nó a nó entre as espécies de bambu, o que foi possível analisar é que nos meses de coleta de dados praticamente não houve alterações na quantidade de nós, sendo importante lembrar que em todos os brotos, foi feita uma marcação com o auxílio de uma corda sempre no terceiro nó da base do solo para a parte aérea, para que fosse sempre medido o mesmo nó.

Foi verificado que a espécie *Bambusa vulgaris* var. *vittata* apresentou o maior número de perfilhos, 24% a mais que a espécie *Bambusa vulgaris*, a segunda a ter mais perfilhos. Observou-se também um maior número de folhas na espécie no final do período analisado. *Dendrocalamus asper* e *Guadua angustifolia* também apresentaram número elevado de folhas. Entretanto, *Dendrocalamus giganteus* obteve um menor número de folhas após os 4 meses, cerca de 91% a menos do que a segunda espécie que menos desenvolveu folhas ao final da análise (*Guadua chacoenses*).

A espécie *Dendrocalamus asper*, além de alcançar a maior altura, com cerca de 32% maior que *Bambusa vulgaris* var. *vittata*, também apresentou o maior número de nós ao final do período acompanhado. Essa correlação entre as variáveis foi observada também com a espécie *Guadua angustifolia*, na qual foi identificado o menor número de nós e a menor altura.

De acordo com Mognon (2015), que analisou o crescimento de diferentes espécies de bambu, houve aumento de mortalidade para todas as espécies analisadas, exceto para *Bambusa vulgaris*, sendo *Guadua chacoenses* a espécie com maior mortalidade, embora seu crescimento tenha se mostrado promissor no decorrer do experimento. A espécie *Guadua angustifolia* não se adaptou às condições edafoclimáticas da região de Pinhais-PR, sendo a espécie com menor crescimento. Para *Dendrocalamus asper* e *Bambusa vulgaris* o autor verificou que seu crescimento, provavelmente, foi afetado pelas baixas temperaturas ocorridas no período do inverno, contudo ambas apresentaram potencial de recuperação.

Os resultados obtidos por Costa e Gouvêa (2017) mostraram que a espécie *Guadua angustifolia* foi a que melhor desenvolveu em altura para a região de Aquidauana-MS, acompanhado pela espécie *Bambusa vulgaris*. As espécies *Bambusa vulgaris* var. *vittata* e *Dendrocalamus giganteus* foram as que apresentaram os menores crescimentos. Ainda de acordo com estes autores, foi observado que dentre as espécies avaliadas *Guadua angustifolia*, seguida por *Bambusa vulgaris*, apresentaram o melhor desenvolvimento silvicultural, sendo portanto, as mais indicadas para plantios na região de Aquidauana-MS.

Entretanto, no presente estudo, a espécie *Dendrocalamus asper* foi a melhor adaptada para a região, com provavelmente a maior produção de biomassa, entretanto, é uma espécie que apresenta baixo potencial para produção de biocombustíveis como demonstrado pelas análises laboratoriais. As espécies *Bambusa vulgaris* e *Guadua chacoieneses*, são as que apresentam altos incrementos em altura, de nó a nó e diâmetro do colmo, além de apresentarem boas características como baixos teores de lignina, boa digestibilidade e baixas quantidade de ácidos ferúlico e p-cumárico.

4. CONCLUSÃO

Os resultados indicaram que as espécies de bambu *Phyllostachys edulis*, *Guadua chacoieneses* e *Bambusa vulgaris* teriam maior potencial para a produção de biocombustíveis, porém *Phyllostachys edulis* não se adaptou às condições edafoclimáticas da região, portanto, as espécies *Guadua chacoieneses* e *Bambusa vulgaris* são as mais indicadas para a produção dos biocombustíveis de acordo com as análises laboratoriais e adaptação à região maringense. Em contrapartida, as espécies *Dendrocalamus asper* e *Phyllostachys aurea* não apresentaram indicativos para a utilização como fonte bioenergética, sendo mais recomendado o uso em construções civis devido ao alto teor de lignina, proporcionando maior resistência e sustentação durante seu uso, quando comparadas às outras espécies de bambu analisadas.

REFERÊNCIAS

ABREU, H. S.; NASCIMENTO, A. M.; MARIA, M. A. Lignin and structure. **Wood and Fiber Science**, v. 31, n. 4, p. 426-433, Oct. 1999.

AGUILAR R. et al., Kinetic study of the acid hydrolysis of sugar cane bagasse. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 4, p. 309-318, 2002.

AKIN, D.E.; GOTTFRED, N.A.; HARTLEY, R.D. et al. Microspectrophotometry of phenolic compounds in bermudagrass cell wall in relation to rumen microbial digestion. **Crop Science**, v.30, p.396-401, 1990.

AKIN, D.E.; WILLEMSE, T.M.; BARTON, F.E. Histochemical reactions, autofluorescence and rumen microbial degradation of tissues in untreated and delignified bermudagrass stems. **Crop Science**, v.25, p.901-905, 1985.

ALVES DE BRITO, C.J.F.; RODELLA, R.A.; DESCHAMPS, F.C. Perfil químico da parede celular e suas implicações na digestibilidade de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.8, p.1835-1844, 2003.

BARRIERE Y., MECHIN V., LAFARGUETTE F., MANICACCI D., GUILLON F., WANG H., LAURESSERGUES D., PICHON M., BOSIO M., TATOUT C. Toward the discovery of maize cell wall genes involved in silage quality and capacity to biofuel production. **Maydica**. 54: 161-198, 2009.

BNDES; CGEE; FAO; CEPAL. **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro : BNDES, 316 p, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008. 236 p.: il. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_part2_cap4.pdf> Acesso em 19 jan. 2017.

BARROS, E. V. D. A matriz energética mundial e a competitividade das nações: bases de uma nova geopolítica. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 1, junho de 2007.

BERALDO, A.L.; AZZINI, A. Bambu: Características e aplicações. **Guaíba: Agropecuária**, 127p, 2004.

BRASIL, LEI No 12.484, de 8 de setembro de 2011.

BRODEUR,G. et al. Chemical and Physicochemical Pretreatment of Lignocellulosic Biomass: A Review. **Enzyme Research**, Tallahassee, p.1-17, 2011.

BUABAN, B.; INOUE, H.; YANO, S.; TANAPONGPIPAT, S.; RUANGLEK, V.; CHAMPREDA, V.; PICHYANGKURA, R.; RENGPIPAT, S.; EURWILAICHITR, L. Bioethanol production from ball milled bagasse using a non-site produced fungal enzyme cocktail and xylose-fermenting *Pichias tipitis*. **Journal of Bioscience and**

Bioengineering, 10(1), 18- 25, 2010.

BUCKERIDGE, M. S.; SANTOS, H. P; TINÉ, M. A. Mobilization of storage cell wall polysaccharides in seeds. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 38, n.12, p. 141-156, 1999.

CARPITA, N. C. Cell wall development in maize coleoptiles. **Plant Physiol** 76: 205–212. 1984.

COSTA, R. F; GOUVÊA, A. F. G. Desenvolvimento inicial de cinco espécies de bambu em um plantio experimental em Aquidauana-MS. **Anais do Enic**, 2017 – Disponível em: anaisonline.uems.br.

Costa, T. H. F. Avaliação da recalcitrância de diferentes regiões oriundas de entrenós de cana-de- açúcar em híbridos com teores variados de lignina. **Teses USP**, p. 20. 2012.

CUNHA, M. B; BIANCHINI, J. I. Cinética de mineralização aeróbia de celulose e lignina durante a degradação de *Cabomba piauhyensis* e *Scirpus cubensis*. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 10, p. 59-69, 1998.

DEUSS, P. J.; BARTA, K. From models to lignin: Transition metal catalysis for selective bond cleavage reactions. **Coordination Chemistry Reviews**, v. 306, p.510-532, Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccr.2015.02.004>, 2016.

DESCHAMPS, F.C. Implica es do per odo de crescimento na composi o qu mica e digest o dos tecidos de cultivares de capim elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.6, p.1178-1189, 1999.

DOS SANTOS, W.D., FERRARESE, M.L.L., FERRARESE-FILHO, O. Ferulic Acid: An Allelochemical Troublemaker. **Functional Plant Science and Biotechnology**, 2(1), 47- 55, 2008.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciênc. agrotec.** v.38, n.2, pp. 109-112. Disponível en: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>, , 2014.

GORSHOKOVA, T. A.; WYATT, S. E.; SALNIKOV, V. V.; GIBEAUT, D. M.; IBRAGIMOV, M. R.; LOZOVAYA, V. V.; CARPITA, N. C. Cell-wall polysaccharides of developing flax plants. **Plant Physiology** 110:721-729. 1996.

GRABBER, J.H. How to lignin composition, structure, and cross-linking affect degradability. A review of cell wall model studies. **Crop Science**, v.45, p. 820-831, 2005.

GUARNETTI, R. L. Cogeração de eletricidade utilizando bambu no Brasil: aspectos técnicos, economicos e ambientais. 153 f. **Teses Usp**, São Paulo, 2013.

GUARNETTI, R. L. Estudo da sustentabilidade ambiental do cultivo do bambu gigante: produção de colmos e brotos. 287 f. **Tese (Mestrado)** - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Paulista, São Paulo, 2007.

HARTLEY, R.D.P. Coumaric and ferulic acid components of cell wall of ryegrass and their relationship with lignin and digestibility. **J. Sci. Food Agr.**, 23: 1347-1354, 1972.

HENDRIKS, A.T.W.M., ZEEMAN, G. Pretreatments to enhance the digestibility of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, Ev Wageningen, p.10-18, 2009.

HILL, J.; NELSON, E.; TILMAN, D.; POLASKY, S.; TIFFANY, D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, DC, v. 103, n. 30, p. 11206- 11210, 2006.

JUNG, H.G. Forage lignins and their effects on fiber digestibility. **Agron J**, v.81, p.33-38, 1989.

JUNG, H.G.; DEETZ, D.A. Cell wall lignification and degradability. In: JUNG, H.G.; BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. et al. (Eds.) **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, p.315-346, 1993.

JUNG, H.G. & ALLEN, M.S. Characteristics of plant walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. **J. Anim. Sci.**, 73 2774-90, 1995.

KOSKINEN, O. Evaluation of the main energy scenarios for the global energy. Tese (Mestrado em Tecnologias de Energia) - Lappeenranta University of Technology, **Lappeenranta**, 2016.

LAURICHESSE, S.; AVÉROUS, L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers. **Progress in Polymer Science**, v. 39, n. 7, p.1266-1290, Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004>, 2014.

LYGIN, A.V., UPTON, J., DOHLEMAN, F.G., JUVIK, J., ZABOTINA, O.A., WIDHOLM, J.M., LOZOVAYA, V.V. Composition of cell wall phenolics and polysaccharides of the potential bioenergy crop - Miscanthus. **GCB Bioenergy**, 3, 333-345, 2011.

MATHEW, S.; ABRAHAM, T. E. Bioconversions of Ferulic Acid, an Hydroxycinnamic Acid. **Critical Reviews in Microbiology**, v. 32, n. 3, p. 115–125, 11 jan. 2006.

MARTINS, R.; GUERREIRO, L. Resposta Técnica. **Serviço Brasileiro de Normas Técnicas**. 2006. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 16 abr. 2015.

MARTONE, P. T., ESTEVEZ, J. M., Lu, F., RUEL, K., DENNY, M. W., SOMERVILLE, C., and RALPH, J. Discovery of lignin in seaweed reveals convergent evolution of cell-wall architecture. **Current Biology** 19, 169-175, 2009.

MOGNON, F. Avaliação comportamental do crescimento, biomassa e estoque de carbono em espécies de bambu. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Paraná. 80 f. 2015.

MOSIER N.; WYMAN C. E.; DALE B. E.; ELANDER R. T.; LEE Y. Y.; HOLTZAPPLE M.; LADISCH M. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 673-686, 2005.

MOREIRA, A.C.O. de. Caracterização de *Bambusa vulgaris* schard. Ex j.c. wendl. var. vulgaris, e dos resíduos de caldeira no processo de conversão térmica de energia. Brasília: UNB, 61f. **Dissertação de mestrado**, 2012.

MORRIS, G.P.; RAMU, P.; DESHPANDE, S.P.; HASH ,C.T.; SHAH, T.; UPADHYAYA, H.D. Population genomic and genome-wide association studies of agroclimatic traits in sorghum. **PNAS**, Washington, v. 110, n. 2, p.453-458, 2013.

MORRISON, T.A.; JUNG, H.G.; BUXTON, D.R. et al. Cell wall composition of maize internode of varying maturity. **Crop Science**, v.38, p.455-460, 1998.

NAPOLEÃO, B.A. Biodiesel: alternativa econômica, social e ambiental para o Brasil. **Informe Agropecuário**. Belo horizonte, v.26, p.3-9, 2005.

OGEDA, T. L., PETRI, D. F. S. Hidrólise Enzimática de Biomassa. **Química Nova**, São Paulo, v. 33, n. 7, p.1549-1558, 2010.

OLIVEIRA, L. F. A. Conhecendo Bambus e suas potencialidades para uso na construção civil. 82 f. **Monografia (Especialização)** - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Materiais e Construção, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2013.

OLIVEIRA, A. J.; RAMALHO, J. Plano Nacional de Agroenergia: 2006 – 2011. 2. ed. rev. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, 110p., 2006.

PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, J. A.; QUEIROZ, D. S.; SILVA, E. A. M. Composição química e digestibilidade In Vitro de lâminas foliares e colmos de gramíneas forrageiras, em função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 964-974, 2001.

PEREIRA MAR e BERARDO AL Bambu de corpo e alma. **Bauru, Canal 6**. 240p, 2007.

RODRIGUES, M.T.; GOBBI, K.F. Organização dos tecidos de plantas forrageiras e sua utilização por animais ruminantes. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 55.; REUNIÃO REGIONAL DE BOTÂNICOS DE MG, BA E ES, 26., **Viçosa, Conservação, bioprospecção e biotecnologia**: [Simpósios, palestras e mesas redondas]. Viçosa: SBB,UFV, 2004.

SAEMAN, J. F.; BUBL, J. L.; HARRIS, E. E. Quantitative saccharification of wood and cellulose. **Ind. Eng. Chem. Anal.** Ed. 17, 35–37. 1945.

SARKAR, N. et al. Bioethanol production from agricultural wastes: An overview. **Renewable Energy**, Índia, p.19-27, 2012.

SCHEUFELE, F. B., BUTZKE, A. L., MARRA, I. F., HASAN, S. D. M., FIORESE, M. L. Otimização dos parâmetros de hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. **Engevista**, v. 14, p. 310-321, 2012.

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

SIQUEIRA, G.; MILAGRE, A.M.F.; CARVALHO, W.; KOCH, G.; FERRAZ, A. Topochemical Distribution of Lignin and Hydroxycinnamic Acids in Sugar-Cane Cell Walls and its Correlation with the Enzymatic Hydrolysis of Polysaccharides. **Biotechnol Biofuels**, v.4, n.7, 2011.

SOUZA, E. B. Estudo da viabilidade técnica para o cultivo de bambu gigante (*Dendrocalamus giganteus*). Planaltina-DF. **Boletim técnico**, 2010.

TRES, T.T.; JOBIM, C.C.; PINTO, R.J.B.; NETO, I.L.S.; SCAPIM C.A.; SILVA M.S.J.; Composicao nutricional e digestibilidade "in vitro" de genótipos de milho produzidos em dois anos agrícolas. **Ciencias Agrarias**. P.3258, 2014.

TRUONG, A. H.; LE, T. M. A. Overview of bamboo biomass for energy production. 2014.

VAN ACKER, R.; VANHOLME, R.; STORME, V.; MORTIMER, J. C.; DUPREE P.; BOERJAN W. Lignin biosynthesis perturbations affect secondary cell wall composition and saccharification yield in *Arabidopsis thaliana*. **Biotechnol Biofuels** 6: 46. 2013.

VAN SOEST, P.J. Limiting factors in plant residues of low biodegradability. **Agricultural and Environmental**, Amsterdam, v.6, p.135-143, 1981.

VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2.ed. Ithaca, New York (USA): **Cornell University Press**, 476p. 1994.

WALTER, M.; SILVA, L. P.; EMANUELLI, T. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.4, p.974-980, 2005.

WEC - WORLD ENERGY COUNCIL. World Energy Resources 2016. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/10/world-energy-resources_FullReport_2016.pdf>. 2017.

Zhang, Y. H. P.; LYND, L. R.; Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: noncomplexed cellulase systems. **Biotechnol. Bioeng.** 88-93, 2004.