

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E POTENCIAL ENERGÉTICO
DE *Tachigali vulgaris* EM ÁREAS PLANTADAS NO ESTADO DO
AMAPÁ.**

BRUNA BÁRBARA MACIEL AMORAS ORELLANA

ORIENTADOR: AILTON TEIXEIRA DO VALE

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPGEFL.DM - 248/2015

BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO - 2014

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

“QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E POTENCIAL ENERGÉTICO DE
Tachigali vulgaris EM ÁREAS PLANTADAS NO ESTADO DO AMAPÁ”

BRUNA BÁRBARA MACIEL AMORAS ORELLANA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:



Profº Dr. AILTON TEIXEIRA DO VALE (Departamento de Engenharia
Florestal-EFL/UnB);
(Orientador)



Profº Dr. THIAGO OLIVEIRA RODRIGUES (Fundação de Tecnologia Florestal
e Geoprocessamento-FUNTEC/DF);
(Examinador Externo)



Profº Dr. LUIZ VICENTE BOCORNY GENTIL (Faculdade de Agronomia e
Veterinária – FAV/UnB);
(Examinador Interno/Externo)

Profº Dr. EDER PEREIRA MIGUEL (Departamento de Engenharia Florestal-
EFL/UnB).
(Examinador Suplente)

Brasília-DF, 27 de fevereiro de 2015.

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília. Acervo 1020642.

O66q Orellana, Bruna Bárbara Maciel Amoras.
Quantificação da biomassa e potencial energético de *Tachigali vulgaris* em áreas plantadas no estado do Amapá / Bruna Bárbara Maciel Amoras Orellana. -- 2015.
ix, 77 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, 2015.
Inclui bibliografia.
Orientação: Ailton Teixeira do Vale.

1. Energia da biomassa - Amazônia. 2. Biomassa florestal - Amazônia. I. Vale, Ailton Teixeira do. II. Título.

CDU 620.9

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ORELLANA, B.B.M.A. (2015). Quantificação da biomassa e potencial energético de *Tachigali vulgaris* em áreas plantadas no estado do Amapá. Dissertação de Mestrado, Publicação PPG EFL. DM-248/2015, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 77p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Bruna Bárbara Maciel Amoras Orellana.

TÍTULO: Quantificação da biomassa e potencial energético de *Tachigali vulgaris* em áreas plantadas no estado do Amapá.

GRAU: Mestre

ANO: 2015

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e à minha mãe, pelo apoio incondicional por sempre ter me incentivado aos estudos durante toda minha vida.

Ao meu esposo, companheiro e amigo Jorge Breno por ter me conduzido a este caminho, pois sua iniciativa foi fundamental para ingressarmos juntos no mestrado e continuarmos os estudos.

Ao meu orientador Dr. Ailton Teixeira do Vale pela paciência, pelos ensinamentos ofertados a mim com tanta dedicação, pelos conselhos e pela confiança.

Ao Departamento de Engenharia Florestal da UnB, em especial aos professores Dr. Joaquim Carlos Gonzalez e Dr. Reginaldo Sérgio Pereira e pelo apoio durante o curso.

Aos professores Dr. Ildeu Soares Martins e Dr. Éder Pereira Miguel pelos auxílios nas análises de estatísticas.

A todos os amigos e colegas que fiz na UnB, especialmente à Mayara Machado e Clara Concha, obrigada pela companhia de sempre!

Ao MSc. Vanduí Dantas pela ajuda essencial no Laboratório de Tecnologia da Madeira da FAL.

Ao Dr. Marcelino Carneiro Guedes pela interface com a EMBRAPA/AP e pelo auxílio com as atividades de campo.

À Sr^a. Sulene Santos por ter cedido o plantio de sua propriedade como área de estudo, e aos demais moradores do assentamento Piquiazal que contribuíram no trabalho de campo.

À EMBRAPA/AP pela parceria e pela logística fornecida nos campos experimentais.

À CAPES pela bolsa de estudos concedida.

Com muito orgulho agradeço à Universidade de Brasília pela oportunidade de ter desenvolvido este trabalho e pela obtenção do título.

Por fim, agradeço imensamente a todos os amigos e familiares que alguma forma contribuíram e que torceram por esta conquista.

RESUMO

QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA E POTENCIAL ENERGÉTICO DE *Tachigali vulgaris* EM ÁREAS PLANTADAS NO ESTADO DO AMAPÁ.

Autor: Bruna Bárbara Maciel Amoras Orellana

Orientador: Ailton Teixeira do Vale

Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais

Brasília, fevereiro (2015).

Biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica que pode ser utilizado para produção de energia. O *Tachigali vulgaris*, conhecido popularmente como tachi-branco, é uma árvore de rápido crescimento e produtividade alta, muito utilizada na produção de carvão vegetal e recuperação de áreas degradadas. Este trabalho teve por objetivo analisar a produção de biomassa lenhosa da parte aérea e o potencial energético em dois plantios experimentais desta espécie localizados em ecossistemas distintos no estado do Amapá, um em área de cerrado e outro em área de terra-firme. Para a coleta das amostras, foram obtidos dados dendrométricos de todas as árvores dos plantios que permitiu classificá-las em classes diamétricas. Após a seleção ao acaso de 3 árvores por classe procedeu-se a retirada de 5 discos em diferentes posições do tronco e 3 amostras de galhos. Foram determinados a umidade máxima, a análise imediata, o poder calorífico superior, a massa seca, a densidade básica pelo método do máximo teor de umidade e a densidade energética. O plantio do cerrado produziu mais árvores por hectare, logo mais biomassa por área (246.214kg/ha), enquanto o plantio da terra-firme gerou 84.766kg/ha. Nos dois plantios, as classes 3, 4 e 5 foram as que mais produziram massa seca no fuste, sendo este componente o que mais contribuiu na produção de biomassa por árvore. Na produção individual de massa seca a classe 7 apresentou os maiores valores, porém, na relação da produção por hectare a classe 4 se destacou nos dois plantios. Observou-se nos plantios uma tendência de aumento da densidade básica conforme o diâmetro do tronco aumenta. Os valores médios de densidade básica foram respectivamente 581,25kg/m³ e 562,41kg/m³, para cerrado e terra-firme. As médias de poder calorífico por área foram 19MJ/kg na terra-firme e 19,10MJ/kg no cerrado. Os teores de materiais voláteis e cinzas e o carbono fixo mostraram-se de acordo com o encontrado em estudos semelhantes. Ao analisar a produção energética por hectare observou-se que a classe 4 foi a mais produtiva nos dois plantios, e estabeleceu um limite no crescimento do incremento energético anual que tende a declinar a partir desta classe. A produção energética anual foi significativamente maior no plantio do cerrado nos níveis experimentais propostos e nas condições edafoclimáticas do ambiente de cerrado na Amazônia.

Palavras-chave: tachi-branco, bioenergia, plantio, Amazônia.

ABSTRACT

QUANTIFICATION OF BIOMASS AND POTENTIAL ENERGY OF *Tachigali vulgaris* IN PLANTED AREAS AT THE AMAPÁ STATE.

Author: Bruna Bárbara Maciel Amoras Orellana
Supervisor: Ailton Teixeira do Vale
Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais
Brasília, february (2015).

Biomass is a renewable resource that come from all the organic matter which can be used for energy production. The *Tachigali vulgaris*, popularly known as tachi-branco, is a fast-growing and highly productive tree, widely used in charcoal production and recovery of degraded areas. This study aimed to analyze the production of biomass and the energy potential in two experimental plantings of this species located in different ecosystems in the state of Amapá, one in cerrado and another in terra-firme area. For sample collection, dendrometric data of all the trees of the plantations that allowed classify them into diameter classes were obtained. After the random selection of 3 trees per class proceeded to the removal of 5 discs in different positions of the trunk and 3 samples of branches. Were determined the maximum moisture, immediate analysis, gross calorific value, dry mass, the basic density by the the maximum moisture content method and the energy density. The planting of the cerrado produced more trees per hectare, soon more biomass per area (246.214kg/ha), while the planting of terra-firme generated 84.766kg/ha. In both areas the classes 3, 4 and 5 were the most produced dry matter in the trunk, being this component contributed most in the production of biomass per tree. In the individual production of dry mass the class 7 showed the highest values, however, the ratio of production per hectare the class 4 was excelled in both areas. It was observed an increase of the density trend as the trunk diameter increases. The average values of basic density were respectively 581,25kg/m³ and 562,41kg/m³ for cerrado and terra-firme. The average calorific value per area were 19MJ/kg in upland and 19,10MJ/kg in the cerrado. Volatile material and ash content and the fixed carbon were satisfactory and consistent with findings in similar studies. The energy production per hectare showed that the class 4 was the most productive in both areas and set a limit on the growth of annual energy increment that tends to decline from this class. The annual energy production was significantly higher in the planting of the cerrado in the proposed experimental levels and at conditions of cerrado environment in the Amazon.

Keywords: tachi-branco, bioenergy, planting, Amazon.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1. Biomassa	13
2.2. Biomassa para energia	14
2.3. Florestas Plantadas.....	16
2.4. A espécie <i>Tachigali vulgaris</i>	17
2.5. Caracterização da biomassa	20
2.5.1. <i>Estrutura da Biomassa.....</i>	20
2.5.2. <i>Teor de Umidade</i>	20
2.5.3. <i>Densidade Básica</i>	21
2.5.4. <i>Análise Imediata</i>	22
a. <i>Teor de Voláteis</i>	22
b. <i>Teor de Cinzas</i>	23
c. <i>Carbono Fixo</i>	23
2.5.5. <i>Poder Calorífico</i>	24
2.5.6. <i>Densidade Energética.....</i>	24
2.5.7. <i>Estoque de carbono</i>	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Caracterização das áreas de coleta	25
3.2. Dendrometria e classificação das árvores	28
3.3. Coletas e amostragem	29
3.4. Determinação da umidade máxima, densidade e relação madeira/casca.	31
3.5. Análise Imediata	32
3.6. Estimativa de estoque de carbono.....	34
3.7. Análise estatística	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34

4.1. Características dos plantios	34
4.2. Biomassa dos plantios.....	37
4.3. Potencial Energético	43
5. CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
APÊNDICE A – ANÁLISES DE VARIÂNCIA DO PLANTIO DE CERRADO	69
APÊNDICE B – ANÁLISES DE VARIÂNCIA DO PLANTIO DE TERRA-FIRME	73
APÊNDICE C – VALORES MÉDIOS POR ÁRVORE.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Caracterização dos plantios experimentais.	28
Tabela 3.2. Classificação diamétrica das árvores dos plantios.	29
Tabela 4.1. Distribuição de frequências absoluta e relativa, amplitude e média de diâmetro da distribuição de classes do plantio de <i>Tachigali vulgaris</i> nos plantios cerrado e terra-firme.	35
Tabela 4.2. Caracterização física e química do solo dos plantios nas áreas de coleta .	36
Tabela 4.3. Médias de produção de biomassa seca de madeira e casca no fuste e no galho por classe diamétrica, para os dois ecossistemas estudados.	37
Tabela 4.4. Médias de produção de biomassa seca de madeira e cascas no fuste e nos galhos por classe diamétrica produzida por hectare nos ecossistemas de cerrado e terra-firme.	38
Tabela 4.5. Relação madeira do fuste/madeira do galho e madeira do fuste e galhos/casca do fuste e galhos nos plantios de cerrado e terra-firme.	40
Tabela 4.6. Médias de umidade máxima (Umáx) e densidade básica (Db) por classe na madeira em plantios de terra-firme e cerrado.	44
Tabela 4.7. Valores de “F” para umidade máxima, densidade básica, poder calorífico superior e densidade energética no plantio de terra-firme.	46
Tabela 4.8. Valores de “F” para umidade máxima, densidade básica, poder calorífico superior e densidade energética no plantio de cerrado.	46
Tabela 4.9. Valores de “F” para a análise imediata do plantio de terra-firme.	47
Tabela 4.10. Valores de “F” para a análise imediata do plantio de cerrado.	47
Tabela 4.11. Teste de Tukey para as médias de umidade máxima (Umáx), poder calorífico superior (PCS), densidade energética (DE), material volátil (MV), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) no plantio de terra-firme.	48
Tabela 4.12. Teste de Tukey para as médias de umidade máxima (Umáx), densidade básica (Db), poder calorífico superior (PCS), densidade energética (DE), material volátil (MV), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) no plantio de cerrado.	49
Tabela 4.13. Densidade energética por classe diamétrica nos plantios de terra-firme e cerrado.	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. <i>Tachigali vulgaris</i> nativo (esquerda) e povoamento plantado (direita).	18
Figura 3.1. Localização do PA Piquiazal, município de Mazagão, Amapá	26
Figura 3.2. (A) Plantio experimental do Campo Experimental da Embrapa em cerrado. (B) Plantio experimental da Embrapa em floresta de terra-firme	27
Figura 3.3. Secção das árvores abatidas para retirada dos discos nas posições ao longo da altura do tronco	29
Figura 3.4. (A) Divisão do tronco para o corte dos discos. (B) Pesagem dos galhos para obtenção do peso verde. (C) Coleta dos discos de troncos e galhos. (D) Armazenamento das amostras nos sacos de polietileno	30
Figura 3.5. (A) Saturação das sub-amostras (cunhas e cascas). (B) Secagem em estufa	31
Figura 3.6. (A) Trituração das amostras de madeira. (B) Classificação das amostras..	32
Figura 3.7. Dessecador com cadinhos contendo resíduos após ensaio de materiais voláteis (A) e ensaio de teor de cinzas na mufla (B)	33
Figura 4.1. Número de árvores por hectare, biomassa seca por árvore e por hectare em função da classe diamétrica para A – cerrado e B – terra-firme	41
Figura 4.2. Materiais voláteis por classe diamétrica nas áreas de terra-firme (A) e cerrado (B)	51
Figura 4.3. Teor de cinzas por classe diamétrica nas áreas de terra-firme (A) e cerrado (B)	52
Figura 4.4. Carbono fixo (CF) por classe diamétrica nas áreas de terra-firme (A) e cerrado (B)	53
Figura 4.5. Poder calorífico superior (PCS) por classe diamétrica nas áreas de terra-firme (A) e cerrado (B)	54
Figura 4.6. Relações lineares entre densidade energética (DE) com poder calorífico superior (PCS), diâmetro, massa seca e densidade básica (Db) no plantio de terra-firme	56
Figura 4.7. Relações lineares entre densidade energética (DE) com poder calorífico superior (PCS), diâmetro, massa seca e densidade básica (Db) no plantio de cerrado.	57

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIACÕES E NOMENCLATURA

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF- Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica
ASTM - American Society for Testing and Materials
°C - Graus Celsius
cal/g - Calorias por grama
CF - Carbono fixo
cm - Centímetros
cmolc/dm³ - Centímol de carga por centímetro cúbico
CZ - Teor de Cinzas
Db - Densidade Básica
DE - Densidade Energética
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g/kg - Gramas por quilo
Gcal/m³ - Giga calorias por metro cúbico
GJ/m³ - Giga joules por metro cúbico
GJ/ha - Giga joules por hectare
GJ/ha/ano - Giga joules por hectare por ano
ha - Hectare
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEPA - Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Amapá
kcal/kg - Quilocaloria por quilo
km - Quilômetro
kg - Quilograma
kg/ha - Quilograma por hectare
kg/m³ - Quilograma por metro cúbico
kpa - Quilopascal
m - Metro
m² - Metro quadrado
m³ - Metro cúbico
M_{0%} - Massa seca
mg/dm³ - Miligrama por decímetro cúbico
mm - Milímetro
Msat - Massa Saturada
MTU - Máximo Teor de Umidade
MV - Material Volátil
NBR - Norma Brasileira
P.A - Projeto de Assentamento
PCI - Poder Calorífico Inferior
PCS - Poder Calorífico Superior
RENABIO - Rede Nacional de Biomassa para Energia
t - Tonelada
t/ha - Tonelada por hectare
TU - Teor de Umidade
Umáx - Umidade Máxima

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da civilização o homem vem aprimorando e diversificando o uso de fontes de energia para o desenvolvimento de suas tecnologias. Por ser uma fonte renovável e de fácil acesso, o uso da lenha e o desenvolvimento do carvão rapidamente se alastraram durante a revolução industrial, e mesmo com a sua perda de espaço no mercado para os combustíveis fósseis, até hoje e principalmente em países subdesenvolvidos é uma importante, e em alguns casos, a principal fonte de energia.

Com a expansão dos combustíveis fósseis, a biomassa passou a ocupar um plano secundário como insumo energético nos países desenvolvidos, e vista erroneamente como um combustível inferior. Porém, a partir dos problemas ambientais oriundos das diversas atividades de exploração econômica, e com a crise do petróleo, houve a necessidade de se ampliar a diversificação das fontes energéticas, com isso o interesse pela biomassa despertou a atenção para estudos e aprimoramentos tecnológicos.

O Brasil é um dos países pioneiros no crescimento das tecnologias desenvolvidas na área da energia da biomassa, sendo o maior produtor e consumidor mundial de carvão vegetal industrial, e o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Além disso, o Brasil tem investido no uso da biomassa proveniente de resíduos industriais, agrícolas e florestais, e ainda nos plantios energéticos. Dessa forma, no Brasil existe um potencial considerável para modernização do uso dos combustíveis de biomassa que, no entanto, precisa ser mais bem explorado.

Diferentemente de outros estados da Amazônia, o estado do Amapá ainda conserva praticamente intacto seu patrimônio florestal e possui 75% de seu território coberto por florestas de valor comercial madeireiro (VERÍSSIMO *et al.*, 1999). Ainda assim, a silvicultura é uma atividade bastante representativa no estado, principalmente com finalidade para produção de papel e celulose. Entretanto, a crescente demanda por carvão vegetal de origem regular para abastecer as siderurgias atraídas recentemente para o estado, tem despertado o interesse na implantação de áreas plantadas para essa finalidade. As condições edafoclimáticas, bem como a extensão territorial, aliadas à disponibilidade

de terras e mão-de-obra são fatores propícios ao estabelecimento de plantios com finalidade energética no estado.

Nesse sentido, Couto e Müller (2008) afirmam que as florestas energéticas constituem uma importante alternativa econômica, social e ambiental, uma vez que são economicamente sustentáveis, proporcionam geração de trabalho e renda no campo, aumento de arrecadação municipal, melhoria na qualidade de vida das populações, preservação de áreas naturais em função da própria lei, melhoria da qualidade do solo, etc.

Desse modo, este trabalho tem como objetivo analisar a produção de biomassa e o potencial energético de *Tachigali vulgaris* em povoamentos plantados no estado do Amapá, a partir da caracterização energética da parte aérea das árvores através da análise imediata, determinação do poder calorífico, da densidade básica e densidade energética.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Biomassa

Biomassa é a massa de matéria de origem biológica, viva ou morta, animal ou vegetal. Já biomassa florestal é toda a biomassa existente na floresta ou apenas na sua fração arbórea, e, em se tratando de biomassa de origem vegetal, vem sendo empregado o termo fitomassa (SANQUETTA, 2002). A biomassa pode ser obtida de vegetais lenhosos, não-lenhosos, resíduos orgânicos (agrícolas, urbanos e industriais), além de biofluidos, como os óleos vegetais.

Mais detalhadamente Coelho (1982) define biomassa como o conjunto de materiais orgânicos gerados por organismos autótrofos do reino vegetal (fitomassa) ou acumulados nos seres heterótrofos do reino animal (zoomassa). Os organismos fotossintéticos (autótrofos) são capazes de transformar a energia solar em energia química, mediante a atuação biogeoquímica dos cloroplastos contidos na clorofila das plantas. Essa energia é retida e acumulada nos espaços intermoleculares e é liberada em processos que envolvem oxidação, redução e hidrólise, que podem ser de natureza termoquímica, bioquímica e biológica.

De acordo com Couto *et al.* (2000), a biomassa de origem florestal, é uma forma de energia limpa, renovável, equilibrada com o meio ambiente rural e urbano, geradora de empregos e criadora de tecnologia própria. Possui características que permitem sua utilização como fonte alternativa de energia, seja pela queima direta da madeira; seja a partir de produtos oriundos de sua transformação em combustíveis tais como carvão vegetal, adensados ou o gás de madeira, seja pelo aproveitamento de resíduos da exploração e do processamento industrial.

Os estudos de biomassa florestal são feitos com objetivos diversos, dentre os quais destacam-se a quantificação da ciclagem de nutrientes, a quantificação para fins energéticos e como base de informação para estudos de sequestro de carbono. Esses estudos são de grande importância para a tomada de decisões no manejo dos recursos florestais (PÁSCOA *et al.*, 2004).

Para Higuchi e Carvalho Júnior (1994), os estudos para quantificação de biomassa florestal dividem-se em métodos diretos (ou determinação) e métodos indiretos (ou estimativas). Determinação significa uma medição real feita diretamente na biomassa, por exemplo, a pesagem de um fuste inteiro por meio de um dinamômetro ou uma balança. Todas as árvores de uma determinada parcela são derrubadas e pesadas, sendo feita em seguida a extrapolação da avaliação amostrada para a área total de interesse. A estimativa de biomassa aérea pelo método indireto consiste em correlacioná-la com alguma variável de fácil obtenção e que não requeira a destruição do material vegetal. As estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais (dap, altura e volume), por dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite) e utilizando-se uma base de dados em um sistema de informação geográfica (SIG).

2.2. Biomassa para energia

O uso da biomassa florestal para a geração de energia teve grande contribuição histórica para o desenvolvimento da humanidade. A madeira foi a primeira fonte energética do homem, inicialmente empregada para aquecimento, caça e cocção de alimentos. Através dos tempos, passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica. Hoje participa

da matriz energética mundial, com maior ou menor intensidade em cada país. Seu uso é afetado por variáveis como o nível de desenvolvimento do país, preço, disponibilidade e questões ambientais relacionadas às fontes energéticas como petróleo, gás natural, hidroeletricidade, energia nuclear e outras, que competem com a biomassa florestal (BRAND, 2007).

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento, principalmente em sistemas de cogeração (pela qual é possível obter energia térmica e elétrica) dos setores industrial e de serviços. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2002).

A valorização da biomassa como insumo energético moderno surgiu na década de 70 com as crises do petróleo (1973 e 1979). Na ocasião, a biomassa passou a ser considerada alternativa viável para atendimento das demandas por energia térmica e de centrais elétricas de pequeno e médio porte. Entretanto, a partir de 1985, os preços do petróleo despencaram novamente, reduzindo o interesse em energias alternativas. Na década de 90 a biomassa voltou a ganhar destaque no cenário energético devido ao desenvolvimento das tecnologias de transformação, pela ameaça de esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, além da assinatura do Protocolo de Kyoto, que estabeleceu que os países em desenvolvimento deveriam reduzir as emissões de gases de efeito estufa (NOGUEIRA *et al.*, 2000; BARROS e VASCONCELOS, 2001).

Qualquer matéria orgânica que possa ser transformada em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. Assim, a biomassa pode ser considerada como uma forma indireta de energia solar. Essa energia é responsável pela fotossíntese, base dos processos biológicos que preservam a vida das plantas e produtora da energia química que se converterá em outras formas de energia ou em produtos energéticos como carvão vegetal, etanol, gases combustíveis e óleos vegetais combustíveis, entre outros. A fotossíntese proporciona, também, a liberação de oxigênio e a captura de dióxido de carbono (CO₂, principal agente do efeito estufa). Portanto, contribui para a mitigação do aquecimento global (ANEEL, 2002).

A biomassa florestal é um recurso renovável e seu uso para a geração de energia apresenta algumas vantagens como baixo custo de aquisição, não emite dióxido de enxofre, baixos teores de cinzas, e com isto causam menor corrosão dos equipamentos e menor risco ambiental. Apresenta também, quando utilizadas em uso direto tradicional, algumas desvantagens como menor poder calorífico, quando relacionadas com combustíveis à base de petróleo, maior possibilidade de geração de material particulado para a atmosfera, maior custo de investimento em equipamentos para remoção de material particulado e encontra dificuldade no estoque e armazenamento (GRAUER, 2001).

2.3. Florestas Plantadas

O termo “florestas energéticas” é comumente usado, tanto para plantações silviculturais com espécies exóticas (eucalipto, por exemplo), como também para o manejo de florestas nativas. Plantações silviculturais e manejo de florestas nativas são atividades que, segundo Fearnside (2008), apresentam diferentes impactos ambientais. Segundo Magalhães (1982) o conceito de florestas energéticas foi introduzido na década de 80, para definir as plantações florestais com grande número de árvores por hectare, que tinham como finalidade a produção do maior volume de biomassa por área em menor espaço de tempo.

As florestas com fins energéticos ou florestas energéticas são florestas plantadas que tem como objetivo aumentar a viabilidade da utilização de alternativas energéticas renováveis. O uso da madeira proveniente dessas florestas pode ser tanto para a produção de carvão vegetal quanto para a queima direta da lenha, o que contribui para o aumento de alternativas renováveis mais sustentáveis na matriz energética brasileira (PUENTES, 2010).

A maioria das florestas plantadas é formada por *Eucalyptus* e *Pinus* e estão localizadas principalmente nos biomas de mata atlântica e cerrado, tendo grande importância econômica e contribuindo de forma significativa para as exportações brasileiras. A maior concentração de plantios florestais ocorre nas regiões Sul e Sudeste do país (72,3%), segundo os dados da ABRAF (2013), o que se justifica em função da localização das principais unidades industriais dos segmentos de celulose e papel, painéis de madeira industrializada, siderurgia a carvão vegetal e madeira mecanicamente

processada. Em 2012, a área ocupada por plantios florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* no Brasil totalizou 6.66 milhões de hectares, sendo 76,6% correspondente à área de plantios de *Eucalyptus* e 23,4% aos plantios de *Pinus* (ABRAF, 2013).

Até agora, plantações silviculturais na Amazônia têm sido de área limitada, e nenhuma dessas é dedicada à produção de energia. As maiores plantações de espécies do gênero *Eucalyptus* estão na Jari, na fronteira entre Pará e Amapá, e na Amcel/Champion, no Amapá central. Grandes plantações foram planejadas na área da estrada de ferro de Carajás, dedicadas à geração de energia, mas a continuada e fácil disponibilidade de madeira a partir do desmatamento, limitou e continua limitando a competitividade de florestas plantadas (FEARNSIDE, 2008).

Plantar florestas com a finalidade exclusiva de produção de biomassa destinada à energia, como geração de eletricidade, cria uma perspectiva ambiental mais sustentável, se comparadas com outros tipos de exploração de biomassa energética, uma vez que o sistema de produção contempla o aproveitamento da madeira e, conseqüentemente, o retorno dos resíduos culturais (galhos, folhas e ponteiros) para o solo (MÜLLER *et al.*, 2005).

Um dos fatores que pode afetar o desenvolvimento e a produtividade das florestas plantadas, principalmente para as espécies de rápido crescimento, é o espaçamento. Se realizado de forma inadequada, o espaçamento pode acentuar os efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas, diminuindo a produtividade da floresta (LELES *et al.*, 1998). Para a produção madeireira com fins energéticos normalmente recomenda-se espaçamentos mais adensados, tendo em vista que o objetivo é a produção do maior volume de biomassa por unidade de área em menor espaço de tempo possível (COUTO e MÜLLER, 2008).

2.4. A espécie *Tachigali vulgaris*

Primeiramente é importante mencionar que Silva e Lima (2007), ao revisar o gênero *Tachigali* Aubl. (Leguminosae – Caesalpinioideae) no Brasil, promoveram uma mudança nomenclatural considerando os gêneros *Tachigali* e *Sclerolobium* como sinônimos, devido à grande semelhança estrutural entre ambos. Assim, de acordo com a revisão dos autores o *Sclerolobium paniculatum*, conhecido vulgarmente como tachi-

branco ou carvoeiro, passa a ser denominado *Tachigali vulgaris* (L. G. Silva & H. C. Lima, nom. nov.).

O tachi-branco é uma espécie pioneira, colonizadora de terrenos marginais e margens de estradas, que freqüentemente inicia a sucessão secundária em áreas abertas pela germinação intensa de suas sementes no solo. Tem se destacado pelo rápido crescimento e sua madeira é amplamente utilizada por comunidades rurais do Centro-Oeste e Nordeste, na confecção de mourões, esteios, embalagens e caibros, na construção civil, além de fonte para a produção de lenha e carvão vegetal, sendo inclusive indicada para plantios energéticos (DIAS *et al.* 1992; CARVALHO, 1994; LORENZI, 1998; FRANKE, 1999) (Figura 2.1).



Figura 2.1. *Tachigali vulgaris* nativo (esquerda) e povoamento plantado (direita). Fotos: Bruna Orellana.

É uma espécie arbórea endêmica do Brasil que ocorre naturalmente nas regiões Norte (Pará, Amazonas e Tocantins), Nordeste (Maranhão, Piauí, Ceará e Bahia), Centro-Oeste (Mato Grosso, Goiás, Distrito Federal e Mato Grosso do Sul) e Sudeste (São Paulo e Minas Gerais) (LIMA, 2012). É perenifólia, com períodos de floração de dezembro a abril e de frutificação de abril a maio. Ocorre tanto em fisionomias savânicas quanto florestais, típica de estágios iniciais de sucessão, possui crescimento rápido e ciclo de vida relativamente curto (inferior a 20 anos) (FELFILI *et al.*, 1999).

De acordo com Oliveira Júnior (1997), esta espécie florestal possui rápido crescimento e elevada produção e desrama de folhas, o que possibilita uma rápida

formação de “litter”. Estas características lhe fornecem grande potencial para a recuperação de áreas degradadas e programas de reflorestamentos.

Franczak *et al.* (2011) verificaram que, em área de transição Amazônia – Cerrado, *Tachigali vulgaris* exerceu importante papel na dinâmica da comunidade, mantendo altos índices de abundância ao longo de um período de seis anos. A queda de indivíduos mais antigos da espécie promovia a abertura de clareiras, que beneficiavam a germinação de suas sementes e de outras espécies que necessitam de luz para crescimento e estabelecimento. Espécies como *T.vulgaris* contribuem para a compreensão das interações ecológicas de florestas tropicais e para estudos de recuperação de ambientes degradados.

O tachi-branco é capaz de vegetar em uma ampla faixa de condições edafoclimáticas, sendo capaz ainda de associar-se com bactérias do gênero *Rizhobium*, fixadoras de nitrogênio (N) atmosférico, contribuindo para recuperação de áreas degradadas (DIAS *et al.*,1991; DIAS, 1995) e de áreas abandonadas pela agricultura migratória (MOCHIUTTI *et al.*,1999). Quanto ao solo, o tachi-branco ocorre naturalmente nos cerradões de solos mais arenosos, ácidos, de baixa fertilidade e drenados. Em plantios experimentais conduzidos na região Norte, tem crescido melhor em solos de textura muito argilosa e areias quartzosas (GONÇALVES *et al.*, 2009).

No Amapá, apenas a Embrapa possui plantio de tachi-branco em campo experimental, resultado do experimento de Castro *et al.* (1998) iniciado em 1989, onde analisaram o efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de Tachi-branco. As mudas utilizadas foram oriundas da mistura de sementes de 21 árvores selecionadas na Floresta Nacional do Tapajós no Estado do Pará. Os autores concluíram que a produção de biomassa foi influenciada pela densidade de plantio, sendo as maiores produções de biomassa obtidas nos menores espaçamentos.

Nas demais áreas de ocorrência no território do Estado do Amapá, essa espécie se propaga naturalmente, sendo encontrado com mais frequência no ecossistema de domínio da Floresta de Terra-Firme, principalmente, em áreas de regeneração de florestas de porte mediano com predomínio de espécies emergentes.

2.5. Caracterização da biomassa

2.5.1. Estrutura da Biomassa

A composição elementar da madeira varia pouco com a espécie, podendo-se admitir que ela contenha, em base seca, cerca de 50% de carbono, 6% de hidrogênio, 44% de oxigênio e entre 0,1 e 0,5% de nitrogênio (BRITO e BARRICHELO, 1982), sem considerar traços de outros elementos. Independente de diferenças genéticas ou da idade, essa composição mantém-se aproximadamente constante. Esses constituintes químicos se combinam para formar os polímeros celulose, hemicelulose e lignina.

Assim, a celulose, hemicelulose e lignina são os principais componentes da biomassa vegetal, sendo que o teor de celulose varia de 40 a 50%, a hemicelulose de 20 a 40% e o teor de lignina de 25%, por isso a biomassa vegetal também é considerada como resíduo ligno-celulósico (MARTINI, 2009). A hemicelulose e a celulose estão grupadas formando a holocelulose, a qual compõe as paredes das fibras da madeira (celulose é a parede e a hemicelulose ocupa os espaços vazios). A lignina é um polímero tridimensional com a finalidade de manter as fibras juntas.

Abbasi (2010) cita que além de quantidades variáveis de celulose, hemicelulose e lignina a biomassa apresenta ainda pequenas quantidades de outros produtos orgânicos e inorgânicos, sendo estes responsáveis pelo desenvolvimento de processos para produção de combustíveis e produtos químicos.

2.5.2. Teor de Umidade

O teor de umidade (TU) é definido como a massa de água contida na biomassa e pode ser expressa tanto na base úmida (bu) quanto na base seca (bs), portanto, na apresentação de resultados de umidade, é necessário expressar em que base foi feito o cálculo (NOGUEIRA e RENDEIRO, 2008). O teor de umidade é o fator que exerce maior influência sobre a queima de materiais combustíveis (SOUZA, 2010).

O conteúdo máximo de umidade que uma madeira pode ter para ser queimada no forno está em torno de 65 a 70% em base úmida (QUIRINO *et al.*, 2004). Para Farinhaque (1981) um teor demasiadamente elevado reduz o valor do calor de combustão, da

temperatura de câmara de queima e da temperatura dos gases de escape tendo como consequência a formação de gases não combustíveis, que em condições diferentes seriam queimados e produziriam energia. Segundo o mesmo autor uma exigência indispensável para queima em instalações é que a madeira possua teores de umidade abaixo de 25 %

Panshin e Zeeuw (1970) relatam que a quantidade de água existente na madeira de árvores vivas pode atingir o máximo de 2/3 da quantidade correspondente à saturação total. Existem variações do teor de umidade de árvore para árvore, bem como dentro de uma mesma árvore.

Ao reduzir o teor de umidade para valores inferiores a 8%, inicia o processo de decomposição da estrutura molecular da madeira. Essa água faz parte da composição da estrutura macro da madeira e está ligada às paredes de celulose (NOGUEIRA e RENDEIRO, 2008).

O teor de umidade pode apresentar variações quando relacionado às diferentes espécies, clima e armazenamento, dificultando o controle do processo de combustão, principalmente por ser inversamente proporcional ao poder calorífico, pela quantidade de calor necessária para evaporá-la (BRITO e BARRICHELO, 1979).

2.5.3. Densidade Básica

Chimelo (1980) afirma que a densidade básica é considerada a propriedade física mais importante da madeira, pois guarda grandes relações com outras propriedades e com o uso da madeira, além disso, ela define a logística a ser tratada: o transporte e o armazenamento (NOGUEIRA, 2007).

A densidade básica da madeira é influenciada por vários fatores e varia significativamente em função da idade, procedência, local de origem, espaçamento, em função da taxa de crescimento, entre gêneros e espécies, e até mesmo entre árvores da mesma espécie (FERREIRA e KAGEYAMA, 1978; TOMAZELLO FILHO, 1985; SOUZA *et al*, 1986).

Nas madeiras da mesma espécie, as variações da densidade básica são decorrentes, principalmente, de alterações nos componentes estruturais, como lenho inicial ou outonal,

lenho de nó, lenho de reação, alterações químicas e posição de coleta da amostra no fuste (ELOY, 2013).

O fator densidade populacional por meio do espaçamento e/ou desbaste, ou a combinação de ambos são métodos silviculturais que acarretam em maior desempenho na formação da planta e logo, na massa específica básica da madeira, conforme Malan e Hoon (1992).

Carpim e Barrichelo (1984) relatam que os valores da densidade básica da madeira também podem variar de acordo com a posição na árvore, tanto no sentido radial como no longitudinal. Em estudos de variação de densidade básica no sentido longitudinal, Sturion *et al.* (1986) e Panshin e Zeeuw (1970), concluíram que essas variações podem se dar de forma continuamente decrescente, da base para o topo, decrescente até o meio do tronco e, a partir daí, crescente até o topo, crescente da base para o topo ou ainda de forma não significativa ao longo da altura do fuste.

2.5.4. Análise Imediata

A análise imediata tem por objetivo quantificar os teores de umidade, voláteis (condensáveis e não condensáveis) e carbono fixo contidos numa amostra de biomassa. Dependendo do procedimento adotado para fazer as quantificações, diferentes resultados podem ser obtidos no final.

a. Teor de Voláteis

Segundo McKendry (2002) o teor de voláteis é a parte da biomassa que evapora como um gás (incluindo umidade) por aquecimento. É quantificado medindo-se a fração de massa da biomassa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada e previamente seca. Após a extração dos voláteis, fica como resíduo o carbono fixo e as cinzas.

A biomassa é um combustível rico em voláteis, que constituem cerca de $\frac{3}{4}$ de sua massa. Isso faz com que o processo de combustão transcorra em seis etapas consecutivas bem definidas, de secagem, emissão de voláteis, ignição dos voláteis, queima dos voláteis

em chama, extinção da chama dos voláteis e combustão do resíduo de carbono (NOGUEIRA e LORA, 2003).

b. Teor de Cinzas

A cinza de madeira é o resíduo remanescente após a combustão de madeira e seus produtos. As propriedades físicas e químicas de diferentes espécies de madeira relacionam-se com as propriedades da cinza, determinando seu uso. Assim, o método de combustão e temperatura também implica no resultado final (SIDDIQUE, 2009).

Dessa maneira, as cinzas são resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos. O conhecimento do teor de cinzas permite avaliar o seu comportamento a diversos critérios, como por exemplo, o ataque a refratários pelas cinzas pode ser evitado, ou seja, os refratários devem apresentar o mesmo comportamento químico ao das cinzas e, ainda devem ter baixa porosidade para que as cinzas ao se alojarem não provoquem rachaduras na superfície do mesmo (NOGUEIRA e RENDEIRO, 2008).

Brand (2010), afirma que altos teores de cinzas contribuem para a redução do poder calorífico, visto que os materiais minerais (cinzas) não participam do processo de combustão, mas são contabilizados na massa do combustível submetido ao processo de queima.

c. Carbono Fixo

O teor de carbono fixo (CF) representa a massa restante após a libertação de compostos voláteis, excluindo as cinzas e teores de umidade (MCKENDRY, 2002). O teor de carbono fixo depende principalmente do teor de material volátil, desta forma, madeira com maiores teores de material volátil tem menores teores de carbono fixo (CHAVES *et al.*, 2013).

Combustíveis com alto índice de carbono fixo devem ter queima mais lenta, implicando maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo (BRITO e BARRICHELLO, 1982).

2.5.5. Poder Calorífico

Segundo Quirino (2011), o poder calorífico é a quantidade de energia em forma de calor liberada por uma unidade de massa de um material em sua combustão completa. Sendo assim, o calor gerado durante a combustão de diferentes espécies florestais ou resíduos madeireiros pode variar dependendo de suas propriedades físicas, químicas e anatômicas (ALMEIDA, 2010).

a) Poder Calorífico Superior (PCS): É determinado em bomba calorimétrica e durante a água formada durante o processo de combustão da amostra é condensada, recuperando o calor derivado da condensação. Segundo Nogueira (2007), PCS representa a quantidade máxima de energia que pode ser obtida da transferência de calor do combustível, expresso em calorias por grama (cal/g), quilocalorias por quilograma (kcal/kg) ou megajoules por quilograma (MJ/Kg). Quanto maior for este parâmetro, maior será a energia contida no combustível (CARVALHO JÚNIOR, 2010). A condição de queima de um material é considerada como ideal quando se encontra absolutamente seco, mas também está diretamente influenciada pela constituição química da madeira – lignina e extrativos, que elevam seu potencial (QUIRINO *et al.*, 2005).

b) Poder Calorífico Inferior (PCI): Calegari *et al* (2005) apontam PCI como a quantidade de calor liberado durante a combustão sendo que a água está no estado de vapor. O PCI é calculado a partir do PCS, porém considerando o teor de umidade que está presente no combustível.

Protásio *et al.* (2012) constataram que quanto maiores os teores de carbono e hidrogênio e menores os valores de oxigênio e cinzas, maiores são os valores do poder calorífico superior dos combustíveis de biomassa.

2.5.6. Densidade Energética

A densidade energética está relacionada à energia contida num determinado volume de madeira. A produtividade energética por unidade de área permite uma melhor visualização do potencial energético da cultura (LIMA *et al*, 2011).

2.5.7. *Estoque de carbono*

A elevação nos níveis de dióxido de carbono na atmosfera e as mudanças climáticas a níveis globais têm aumentado consideravelmente a preocupação com o balanço do carbono em ecossistemas florestais (BERT e DANJON, 2006).

A quantificação da biomassa e do carbono possibilita o conhecimento sobre as características da vegetação florestal, indicando as florestas que se destacam quanto a estas variáveis. A biomassa e o carbono presentes na vegetação florestal são indicadores da magnitude dos recursos florestais (IBGE, 2011).

Da mesma forma Watzlawick *et al.* (2004) afirmam que os compostos de carbono são grandes constituintes da biomassa da floresta, sendo por isso necessário desenvolver estudos quanto a métodos de quantificação, nos diversos componentes da planta, que possibilitem uma melhor compreensão do “sequestro” e “armazenamento” de carbono da atmosfera pelas florestas.

Arias *et al.* (2011), avaliando teores de carbono em espécies de rápido crescimento na Costa Rica, observaram maior concentração de carbono no fuste, seguido dos galhos, folhas e casca. Os autores constataram ainda que as espécies folhosas apresentaram teores de carbono inferiores a 50% enquanto as coníferas apresentaram teores superiores a 50%, exceto para a folhagem.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização das áreas de coleta

A coleta dos dados de campo foi realizada em duas áreas distintas: o Campo Experimental da Embrapa/Amapá Cerrado, e uma propriedade particular localizada no assentamento Piquiazal no município de Mazagão em terra-firme, estado do Amapá. Ambas possuem plantios experimentais de tachi-branco em ecossistemas diferentes (Figura 3.1).



Figura 3.1. (A) Plantio experimental do Campo Experimental da Embrapa em cerrado. (B) Plantio experimental da Embrapa em floresta de terra-firme.

O campo experimental do Cerrado possui uma área de 1.327 ha. Está situado na margem direita da BR-156, a 44km da capital Macapá, localizado entre as coordenadas geográficas 00°22'55" e 00°24'30" de latitude norte e 51°01'40" e 51°04'10" de longitude a Oeste de Greenwich. O clima predominante na área, segundo a classificação de Köppen, é Ami-Tropical chuvoso, com precipitação pluvial anual média de 2.260 mm concentrada entre os meses de janeiro a julho. A temperatura média é de 26,7 °C (MEIRELLES et al., 2005). A vegetação predominante na área é a característica de campo cerrado e cerrado *stricto sensu* nas áreas planas e suave onduladas. O solo é do tipo Latossolo Amarelo, textura média, e de baixa fertilidade (EMBRAPA, 1990).

Este campo experimental do cerrado possui 3 plantios de *T. vulgaris* e o escolhido ocupa uma área de 6.125m², plantado com espaçamento de 3 x 2,5m, e possuía 20 anos no momento da coleta (Figura 3.1-A).

A comunidade do Piquiazal está localizada a 65 km da capital Macapá, na porção nordeste do município de Mazagão, região sul do Amapá. O assentamento começou com alguns poucos agregados familiares de três moradores, sendo efetivado como Projeto de Assentamento (PA) a partir do Decreto n°92.627/86 (Figura 3.2).

A atividade de produção de carvão representa, juntamente com a mandioca, uma das principais fontes de renda das famílias do PA. A falta de alternativas representa a justificativa para a produção de carvão (IEPA, 2004). Entretanto, com a frequência da atividade e a falta de manejo das áreas exploradas, os impactos ambientais tornaram-se um

entreve para os produtores. Uma alternativa para ajudar na solução desse problema foi a realização de um projeto destinado à reposição florestal com as espécies *Acacia mangium* e *Tachigali vulgaris* por iniciativa da Embrapa em duas propriedades do assentamento.



Figura 3.2. Localização do PA Piquiazal, município de Mazagão, Amapá. Fonte: COT/IEPA.

Uma das propriedades escolhidas para o projeto da Embrapa foi o lote nº54 do assentamento. Nesta área foi realizado um plantio de *T. vulgaris* em consórcio com *A. mangium*, que possui características de crescimentos semelhantes à primeira espécie. Este plantio possui idade de 15 anos, espaçamento 3m x 3m que corresponde a uma área de 3897m² e representa o segundo ponto de coleta deste trabalho.

O ambiente onde se encontra o assentamento é constituído por floresta de terra-firme e por pequenos recortes de áreas alagadiças. O relevo predomina o suave ondulado, com solos do tipo Latossolo Amarelo com elevada pedregosidade (IEPA, 2004). Segundo os dados da estação meteorológica da Embrapa no campo experimental de Mazagão, o total médio anual de precipitação é de 2.250mm no município, e a temperatura média anual é de 27,3°C (Figura 3.2-B).

Nas duas áreas foi realizada uma coleta de solo para análise no Laboratório de solos da Embrapa/AP, com a finalidade de obter as características físicas e químicas do solo nas duas regiões (Tabela 4.2). A Tabela 3.1 a seguir apresenta a síntese das características dos plantios e as condições naturais das áreas em que se encontram.

Tabela 3.1. Caracterização dos plantios experimentais

	CERRADO	TERRA-FIRME
Área	6.125 m ²	3.897 m ²
Espaçamento	3m x 2,5m	3m x 3m
Idade	20 anos	15 anos
Ecossistema	Campo cerrado e cerrado <i>stricto sensu</i>	Floresta terra-firme
Solo	Latossolo amarelo	Latossolo amarelo
Temperatura média anual	26,7° C	27,3° C
Precipitação	2.260 mm	2.250 mm

3.2. Dendrometria e classificação das árvores

Nos dois plantios obtiveram-se as medidas de diâmetro à altura do peito (DAP) de todas as árvores vivas e a altura das árvores abatidas. As árvores foram numeradas e a cada dez árvores uma fita de demarcação foi amarrada contendo sua numeração correspondente. As árvores mortas foram contabilizadas, porém elas foram marcadas com um “x” na tabela do inventário.

Esses dados foram digitalizados e organizados em ordem crescente do diâmetro. Dessa forma às árvores foram distribuídas em intervalos de 3,0 cm de diâmetro conforme Scolforo e Melo (2006) que afirmam que em povoamentos florestais o intervalo da classe diamétrica pode ficar compreendido entre 2 e 5cm.

Assim, chegou-se ao número de 7 classes diamétricas (Tabela 3.2). Após classificadas, foram sorteadas ao acaso três árvores de cada classe para serem abatidas, totalizando 21 árvores de cada plantio e 42 árvores no total do experimento.

Tabela 3.2. Classificação diamétrica das árvores dos plantios.

Classe	TERRA-FIRME	CERRADO
	Intervalo de diâmetro (cm)	Intervalo de diâmetro (cm)
1	10 -13,9	10,2 - 14,3
2	14 -17,9	14,4 - 18,5
3	18 - 21,9	18,6 - 22,7
4	22 - 25,9	22,7 - 26,9
5	26 - 29,9	27,0 - 31,1
6	30 - 33,9	31,2 - 35,3
7	34 - 37.	35,4 - 39,5

É importante ressaltar que no plantio do cerrado as árvores das linhas de bordas foram desconsideradas na classificação diamétrica, porém, incluídas no inventário, pelo fato de sofrerem maior influência solar. Já no plantio do assentamento Piquiazal (Terra-firme) as linhas de bordas foram consideradas tendo em vista que este plantio está localizado em mata de terra firme cercado por árvores do mesmo porte.

3.3. Coletas e amostragem

Com a definição das árvores que seriam coletadas, iniciou-se o processo de derrubada e retirada das amostras. Os indivíduos foram abatidos ao nível do solo com o uso de motosserra e, em seguida, a altura foi mensurada com o auxílio de uma fita métrica de 50m. O limite da altura foi considerado até o meristema apical do tronco.

O valor da altura foi dividido por 5, de modo a dividir o tronco em 5 partes iguais para serem coletadas amostras de seções transversais (discos) com aproximadamente 2,50cm de espessura, nas posições correspondentes a 0, 25%, 50%, 75% e 100% na altura do tronco, conforme a o esquema da Figura 3.3.

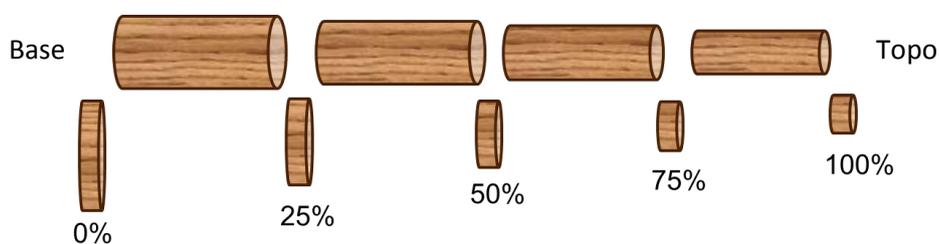


Figura 3.3. Secção das árvores abatidas para retirada dos discos nas posições ao longo da altura do tronco.

As amostras de cada posição foram guardadas em sacos de polietileno transparente e devidamente identificadas com a classe a que pertencem, o número da árvore dentro da classe e o número do inventário. Os galhos foram separados do tronco e aqueles com diâmetro menor que 3 cm foram descartados. Amostras de galhos também foram coletadas sendo escolhidos um de menor diâmetro, outro de médio diâmetro e o terceiro com maior diâmetro, cortados distante aproximadamente 3,0cm da base.

As partes do tronco e os galhos remanescentes foram pesados separadamente em balança de 200kg que foi levada para campo visando a obtenção do peso verde, conforme a metodologia de Vale (2000).



Figura 3.4. (A) Divisão do tronco para o corte dos discos. (B) Pesagem dos galhos para obtenção do peso verde. (C) Coleta dos discos de troncos e galhos. (D) Armazenamento das amostras nos sacos de polietileno.

Esse material foi despachado para a Universidade de Brasília- UnB onde foram realizados os procedimentos laboratoriais para determinação da relação entre madeira e

casca, os teores de umidade, a densidade básica, poder calorífico superior e análise imediata.

3.4. Determinação da umidade máxima, densidade e relação madeira/casca.

Na Universidade de Brasília as amostras foram levadas para o laboratório de tecnologia da madeira da Fazenda Água Limpa (FAL). Das amostras foram retiradas sub-amostras compostas de duas cunhas opostas com 2,5cm e realizada a separação da casca e madeira. Visando a determinação do teor de umidade máximo de cada sub-amostra em cada posição, essas sub-amostras foram submersas em água para saturação até massa constante (Figura 3.5-A).



Figura 3.5. (A) Saturação das sub-amostras (cunhas e cascas). (B) Secagem em estufa. Fotos: Autora.

Após saturadas, estas foram colocadas em embalagens de alumínio devidamente identificadas e colocadas para secar em estufa, a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ com circulação forçada de ar da marca Marconi, modelo MA 035, até massa constante (Figura 3.5-B). Após secas, foram pesadas novamente em balança com sensibilidade de 10^{-2}g para obter a massa seca a 0% de umidade. A massa foi considerada constante quando a diferença entre duas pesagens consecutivas em um período de 24 horas foi inferior a 1%.

Com os dados de massa úmida e seca foi possível determinar a umidade máxima (ABNT, 1997) e a densidade básica (SMITH, 1954; FOELKEL *et al.*, 1971) pelo método do máximo teor de umidade (MTU) segundo Vital (1984), conforme Equações 01 e 02, onde M_U – massa úmida, $M_{0\%}$ - massa seca, TU – teor de umidade, ρ_b – densidade básica,

M_{SAT} – massa saturada. A relação percentual madeira/casca e madeira do tronco/madeira do galho de cada árvore, na condição seca, foram também determinados.

$$TU = \frac{M_U - M_{0\%}}{M_{0\%}} 100 \quad (\text{Equação 01})$$

$$\rho_b = \frac{1}{\frac{M_{SAT}}{M_{0\%}} - 0,346} \quad (\text{Equação 02})$$

A massa seca total da madeira e a da casca foi estimada conforme a Equação 03 de Soares *et al.* (2006), onde $M_{0\%C}$ – massa seca de campo a 0% de umidade, $M_{0\%A}$ – massa seca da amostra a 0% de umidade e M_{UA} – massa úmida da amostra.

$$M_{0\%C} = M_{UC} \left(\frac{M_{0\%A}}{M_{UA}} \right) \quad (\text{Equação 03})$$

3.5. Análise Imediata

As amostras dos discos que sobraram após a retirada das cunhas foram utilizadas para os ensaios de análise imediata. A casca foi descartada e a madeira foi fragmentada em forma de palito para então ser moída (Figura 3.6-A) e classificada com auxílio de peneiras padronizadas (Figura 3.6-B).



Figura 3.6. (A) Trituração das amostras de madeira. (B) Classificação das amostras. Fotos: Autora.

As amostras de madeira moídas foram colocadas em peneiras da marca Betel com duas frações diferentes, sendo agitados por 3 minutos. A fração com partículas entre 40 e 60 mesh foi utilizada para materiais voláteis, e a fração abaixo de 60 mesh para o teor de cinzas e poder calorífico superior.

Para os ensaios de materiais voláteis e cinzas, utilizou-se respectivamente 1g e 2g de amostra, pesadas em balança de sensibilidade de 10^{-4} . Após a pesagem, e isentas de umidades as amostras eram colocadas em cadinho de porcelana e colocadas em mufla da marca Quimis a 900°C para voláteis e 700°C para cinzas (Figura 3.7), segundo procedimentos descritos na norma NBR 8112 (ABNT, 1986).

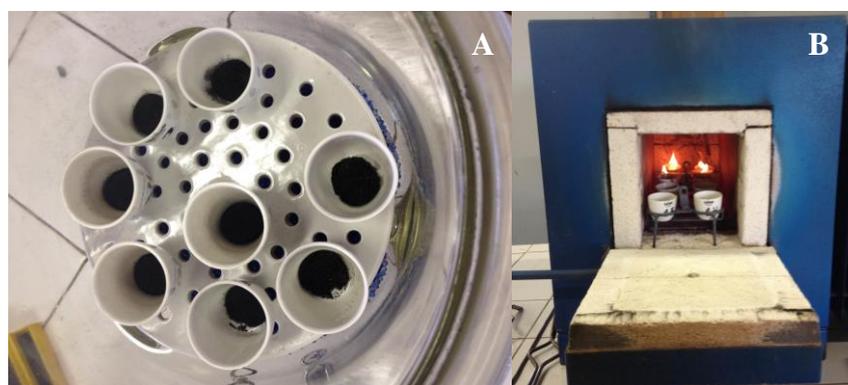


Figura 3.7. Dessecador com cadinhos contendo resíduos após ensaio de materiais voláteis (A) e ensaio de teor de cinzas na mufla (B). Fotos: Autora.

As Equações 04 e 05 a seguir, foram utilizadas para o cálculo de teor de voláteis (MV) e teor de cinzas (CZ), onde m – massa da amostra(g); m_0 – massa do cadinho(g); m_1 - massa cadinho + resíduo (g); m_2 - massa inicial do cadinho + amostra (g); m_3 - massa final do cadinho + amostra (g).

$$MV_{\%} = \frac{m_2 - m_3}{m} \times 100 \quad \text{(Equação 04)}$$

$$CZ_{\%} = \frac{m_1 - m_0}{m} \times 100 \quad \text{(Equação 05)}$$

O poder calorífico da biomassa foi determinado com a utilização de uma bomba calorimétrica, conforme a norma NBR 8633 (ABNT, 1984). A bomba permite medir o calor liberado pela combustão da biomassa na presença de oxigênio de amostras peneiradas

em peneiras de malha 60 e queimadas em atmosfera com oxigênio puro com pressão específica de 3.000kPa. O método determina o poder calorífico superior a volume constante, com o seu valor podendo ser convertido a poder calorífico inferior mediante a utilização da Equação 06, onde “h” é o teor de hidrogênio.

$$PCI = PCS - 600 \left(\frac{9h}{100} \right) \quad (\text{Equação 06})$$

3.6. Estimativa de estoque de carbono

Com a conclusão dos ensaios de análise imediata será determinado o teor de carbono da biomassa aérea usando a relação comumente utilizada na literatura para folhosas (SOARES *et al.*, 2006; HIGUCHI e CARVALHO JR., 1994), que é de 48 – 50% da massa seca da árvore. Neste trabalho considerou-se 48% da massa seca. A partir disso, calculou-se também a quantidade de CO₂ na proporção de 1 - 3,66 conforme Cunha *et al.*, (1989).

3.7. Análise estatística

O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado (DIC). Para os dados de biomassa foi realizada regressão (Excel) considerando as classes diamétricas e para a análise dos dados de densidade básica, umidade máxima, análise imediata e densidade energética, utilizou-se ANOVA por fatorial simples. Em caso de pelo menos uma diferença significativa foi aplicado um teste de média visando identificar diferenças entre as médias obtidas. Os dados obtidos foram tratados pelo *software* GENES, segundo Cruz (2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Características dos plantios

No plantio do cerrado foram inventariadas 747 árvores, com DAP médio de 19,85cm, das quais 583 estavam vivas e 150 mortas. A amplitude do diâmetro variou de

10,2 a 39,5 cm. As amostras coletadas representaram 3,27% de toda a área do plantio e 4,11% apenas dentre as árvores vivas. As linhas de borda foram inventariadas, porém desconsideradas para coleta tendo em vista que receberam mais influência solar tornando-as com diâmetro maior que as demais.

No plantio da área de terra-firme contabilizou 416 árvores, sendo 153 mortas e 61 de *Acacia mangium* plantada em consórcio com tachi-branco (Tabela 4.1), totalizando 202 árvores válidas de *T.vulgaris*. As amostras coletadas representaram 4,78% do plantio total e 10,39% dentre as árvores válidas.

Neste plantio as linhas de bordas foram consideradas pela sua localização ser em área de floresta densa de terra firme e não haver tanta influência solar como no cerrado. As frequências, absoluta e relativa, por classe de diâmetro das árvores vivas das duas áreas de coleta constam na Tabela 4.1 a seguir.

Tabela 4.1. Distribuição de frequências absoluta e relativa, amplitude e média de diâmetro da distribuição de classes do plantio de *Tachigali vulgaris* nos plantios cerrado e terra-firme.

Classe	DAP(cm) Cerrado	DAP(cm) Terra- firme	Frequência Total			
			Cerrado		Terra-firme	
			Absoluta	Relativa(%)	Absoluta	Relativa(%)
1	10,2-14,3	10-13	98	16,81	44	21,78
2	14,4-18,5	14-17	103	17,67	49	24,26
3	18,6-22,7	18-21	101	17,32	46	22,77
4	22,7-26,9	22-25	97	16,64	31	15,35
5	27-31,1	26-29	73	12,52	19	9,41
6	31,2-35,3	30-33	32	5,49	9	4,46
7	35,4-39,5	34-37	29	4,97	4	1,98
TOTAL			583	100	202	100

No plantio da terra-firme o número de árvores mortas contabilizadas no inventário, em relação ao número total de árvores, foi maior do que no plantio de cerrado. Esse fato é justificado por Yared *et al.* (1990) onde afirma que por ser uma espécie heliófila ocorre maior mortalidade das árvores plantadas em sombra seletiva na floresta primária do que a pleno sol, indicando má adaptação do tachi-branco à baixa luminosidade. Segundo Carpanezzi (1983), em razão do uso energético pretendido para sua madeira, esta espécie

deve ser empregada em plantios densos, a pleno sol. Outro fato que provavelmente contribuiu para a baixa taxa de sobrevivência foi a competição com *Acacia mangium* devido ao plantio consorciado.

Os resultados da análise de solo das duas áreas de coleta demonstram, como pode-se observar na Tabela 4.2 a seguir, a área de terra-firme possui teores de matéria orgânica, argila e silte bastante superiores, em contrapartida, a área de cerrado possui solo estritamente arenoso. Segundo Gonçalves *et al.* (2009) o tachi-branco é apto tanto para solos arenosos quanto para solos argilosos, assim como, para terrenos trabalhados de terraplanagem (subsolo).

Tabela 4.2. Caracterização física e química do solo dos plantios nas áreas de coleta.

Parâmetros	Áreas de coleta	
	Cerrado	Terra-firme
pH	4,9	5,0
Matéria Orgânica (g/kg)	16,9	47,93
P (mg/dm ³)	1	1
K (cmolc/dm ³)	0,02	0,02
Al (cmolc/dm ³)	1,1	1,3
Saturação de Bases (%)	3	2
Argila (g/kg)	232	544
Areia Grossa (g/kg)	412	33
Areia Fina (g/kg)	273	43
Areia Total (g/kg)	685	76
Silte (g/kg)	83	380
Classificação SBCS*	Franco-argiloarenosa	Argila
Classificação Embrapa	Textura média	Textura argilosa

*Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Diversos estudos constataam que a adubação pode não ser um fator de forte influência no incremento de biomassa em plantios de tachi-branco, como concluiu Oliveira *et al.* (2008) em um estudo sobre a biomassa e características da madeira desta espécie cultivada em diferentes níveis de adubação. Os autores verificaram que a adubação, nas condições de plantio, não influenciou a produção de biomassa seca a 0% de umidade; o comprimento e o diâmetro das fibras, o diâmetro dos lúmens e a espessura da parede

celular; e o teor de material volátil e o poder calorífico. O teor de carbono fixo foi o único parâmetro em que houve influência da adubação.

4.2. Biomassa dos plantios

Na área de cerrado a altura das árvores coletadas teve uma amplitude de 16,2m a 22,46m. O peso úmido do tronco variou de 110,0kg a 1236,0kg, enquanto que a variação do peso úmido dos galhos foi de 12,3kg a 398,6kg. Já no plantio da terra-firme, a altura das árvores coletadas teve uma amplitude de 16,06m a 20,30m. O peso úmido do tronco variou de 91,16kg a 1111,56kg, enquanto que a variação do peso úmido dos galhos foi de 14,66kg a 250,83kg.

A biomassa seca foi obtida separadamente da madeira e casca de troncos e galhos. A Tabela 4.3 apresenta as médias de massa seca por classe em cada um dos componentes analisados nas duas áreas. Na Tabela 4.4 consta a produção de massa seca por hectare, de acordo com a frequência de árvores em cada classe por hectare.

Tabela 4.3. Médias de produção de biomassa seca de madeira e casca no fuste e no galho por classe diamétrica, para os dois ecossistemas estudados.

Classe Diam étrica	CERRADO				TERRA-FIRME			
	Massa seca (kg/árvore)				Massa seca (kg/árvore)			
	Madeira		Casca		Madeira		Casca	
	Fuste	Galho	Fuste	Galho	Fuste	Galho	Fuste	Galho
1	35,65	5,19	16,81	1,29	25,82	4,50	14,10	1,61
2	100,35	8,98	49,34	1,99	54,77	8,60	28,11	2,30
3	162,32	44,63	36,52	7,65	86,48	16,51	41,28	3,81
4	211,19	40,83	57,23	8,81	158,82	28,47	62,15	6,69
5	244,69	58,50	113,03	14,50	193,18	39,15	84,91	9,28
6	312,88	73,34	147,64	21,70	174,31	36,54	79,17	9,48
7	422,43	164,01	190,40	30,78	354,29	105,09	207,12	23,24

Tabela 4.4. Médias de produção de biomassa seca de madeira e cascas no fuste e nos galhos por classe diamétrica produzida por hectare nos ecossistemas de cerrado e terra-firme.

Classe Diamétrica	CERRADO					TERRA-FIRME				
	N° árv/ha	Massa seca (kg/ha)				N° árv/ha	Massa seca (kg/ha)			
		Madeira		Casca			Madeira		Casca	
		Fuste	Galho	Fuste	Galho		Fuste	Galho	Fuste	Galho
1	160	5.704	831	2.690	207	113	2.917	508	1.594	182
2	168	16.858	1.508	8.288	334	126	6.901	1.083	3.542	290
3	165	26.783	7.364	6.026	1.262	118	10.205	1.948	4.871	449
4	158	33.369	6.451	9.043	1.392	80	12.705	2.277	4.972	535
5	119	29.118	6.961	13.451	1.726	49	94.66	1.918	4.161	455
6	52	16.270	3.813	7.677	1.128	23	4.009	840	1.821	218
7	47	19.854	7.708	8.949	1.447	10	3.543	1.051	2.071	232
Total	870	147.956	34.638	56.124	7.496	518	49.747	9.626	23.031	2.362
Total		246.214					84.766			

As classes 3, 4 e 5 foram as que mais produziram massa seca no fuste, conforme a Tabela 4.4, conseqüentemente de estoque de carbono. Houve um maior número de indivíduos nas menores classes de diâmetro, o que elevou a massa seca/ha em relação às classes diamétricas maiores, que possuem as maiores massas secas individuais, conforme também foi constatado por Vale (2000).

Assim, ao analisar a produção individual de massa seca por classe (Tabela 4.3), observa-se que a classe 7 apresentou os maiores valores em todos os componentes, porém, na relação da produção por hectare a classe 4 se destaca na produção de biomassa seca de madeira do tronco em ambos plantios. No plantio de terra-firme o destaque da classe 4 foi maior por conter os melhores valores de biomassa em todos os componentes analisados.

Logo, apesar da produção da massa seca por árvore aumentar proporcionalmente com o diâmetro, a produção por área (ha) não acompanha e tende a diminuir. A produção por área é maior nas classes intermediárias, no intervalo de 18cm a 30cm de diâmetro, pois leva em consideração a frequência absoluta de árvores em cada classe (Tabelas 4.3 e 4.4 e Figuras 4.1).

Tanto para cerrado quanto para terra firme há uma relação forte entre a biomassa seca por árvore e a biomassa seca por hectare em função da classe diamétrica, com valores de coeficiente de determinação elevados e acima de 0,8, conforme Figura 4.1.

No total, o plantio do cerrado produziu mais árvores por hectare, logo mais biomassa por área, totalizando 246,2t/ha, enquanto o plantio da terra-firme gerou 84,7t/ha de biomassa seca de todos os componentes analisados. Conseqüentemente quanto ao estoque de carbono, o plantio do cerrado contribuiu com 123,1t/ha e o plantio da terra-firme com 42,3t/ha. Com este estoque de carbono, há um sequestro de 450,5t/CO₂ no plantio do cerrado, e 154,8t/CO₂ na terra-firme.

Diferentes estudos em plantios apresentaram valores de biomassa próximos aos encontrado neste trabalho. Oliveira *et al.* (2008) analisando a produção de biomassa de tachi-branco com 520kg/m³ de densidade básica, em plantios com 18 anos de idade em Planaltina/DF encontrou uma produção média de 109,8t/ha. RENABIO (2009) citado por Quéno *et al.* (2011) produzindo clone de eucalipto (a partir de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*) em plantio sob diferentes espaçamentos com 6 anos de idade, obteve produção de biomassa seca com casca de 116,4 t/ha em espaços de 3,0 x 2,5m e 114, t/ha em 3,0 x 3,0m. Já Watzlawick (2003) trabalhando com plantios de *Araucaria angustifolia* em idades de 23 a 32 anos chegou a uma produção de biomassa arbórea média de 241,8t/ha.

No experimento de Castro *et al.* (1998) no cerrado do Amapá, a produção de biomassa de tachi-branco por parcela (150m²) foi de 726kg/parcela aos 7 anos de idade no espaçamento de 3,0 x 2,5m, o que corresponde a 48,4t/ha. Se fizemos um prospecto deste valor considerando um ritmo de crescimento linear das árvores, ao atingir 20 anos a estimativa de produção de biomassa neste plantio seria o equivalente a 138,28t/ha.

Nas tabelas 4.3 e 4.4 é notório que o fuste foi o componente que mais contribuiu na produção de biomassa nos dois plantios, diferente do que foi encontrado por Thompson (2009) ao estimar produção de biomassa no cerrado do centro-oeste, onde o tachi-branco apresentou a maior parte da biomassa úmida e seca concentrada nos galhos grossos, seguido do fuste e galhos finos.

O tachi-branco apresenta características ecológicas que favorecem seu uso na recuperação de áreas degradadas, conforme afirmam Carvalho *et al.* (2005) e Tonini *et al.* (2006). Além disso, por ser uma espécie nativa com rápido crescimento, não oferece o risco do desequilíbrio ambiental observada nas espécies exóticas. Assim, tendo em vista que os dois plantios apresentaram boa contribuição de biomassa, esta espécie, quando utilizada para fins de recuperação de áreas degradadas, além da importância ambiental exercida, pode oferecer um retorno econômico para pequenos produtores na exploração da biomassa lenhosa produzida.

No que se refere à relação madeira do fuste/madeira do galho, na área de cerrado as duas classes com menor diâmetro apresentaram relação superior do que a classe com diâmetro maior (Tabela 4.5). Na terra-firme houve mais equilíbrio na quantidade de madeira no fuste comparada a madeira nos galhos, sendo a classe 7 a que obteve a menor relação assim como no cerrado. Logo, os indivíduos com os maiores diâmetros tendem a investir mais na produção de madeira nos galhos.

Observa-se que a relação madeira/casca tanto no fuste quanto nos galhos também apresenta mais uniformidade nas classes da terra-firme, sendo a menor relação novamente na classe 7. Enquanto no cerrado, as classes intermediárias 3 e 4 tiveram maior relação quanto a madeira/casca, e a classe 2 a menor. Também analisando biomassa de tachi-branco, Oliveira *et al.*(2005) encontraram relações madeira fuste/madeira galho inferiores, variando de 1,47/1 a 1,78/1. Em contrapartida os resultados para madeira/casca foram mais elevados com relações que variaram de 4,26/1 a 6,34/1 para fuste e galhos.

Tabela 4.5: Relação madeira do fuste/madeira do galho e madeira do fuste e galhos/casca do fuste e galhos nos plantios de cerrado e terra-firme.

Classe diamétrica	Madeira fuste/Madeira galho (kg/ha)		Madeira/Casca (kg/ha)	
	Cerrado	Terra-firme	Cerrado	Terra-firme
1	6,86/1	5,74/1	2,35/1	1,93/1
2	8,89/1	6,37/1	2,12/1	2,08/1
3	3,64/1	5,24/1	4,78/1	2,28/1
4	5,17/1	5,58/1	4,15/1	2,72/1
5	4,18/1	4,93/1	2,54/1	2,47/1
6	4,27/1	4,77/1	2,43/1	2,38/1
7	2,58/1	3,37/1	3,00/1	1,99/1

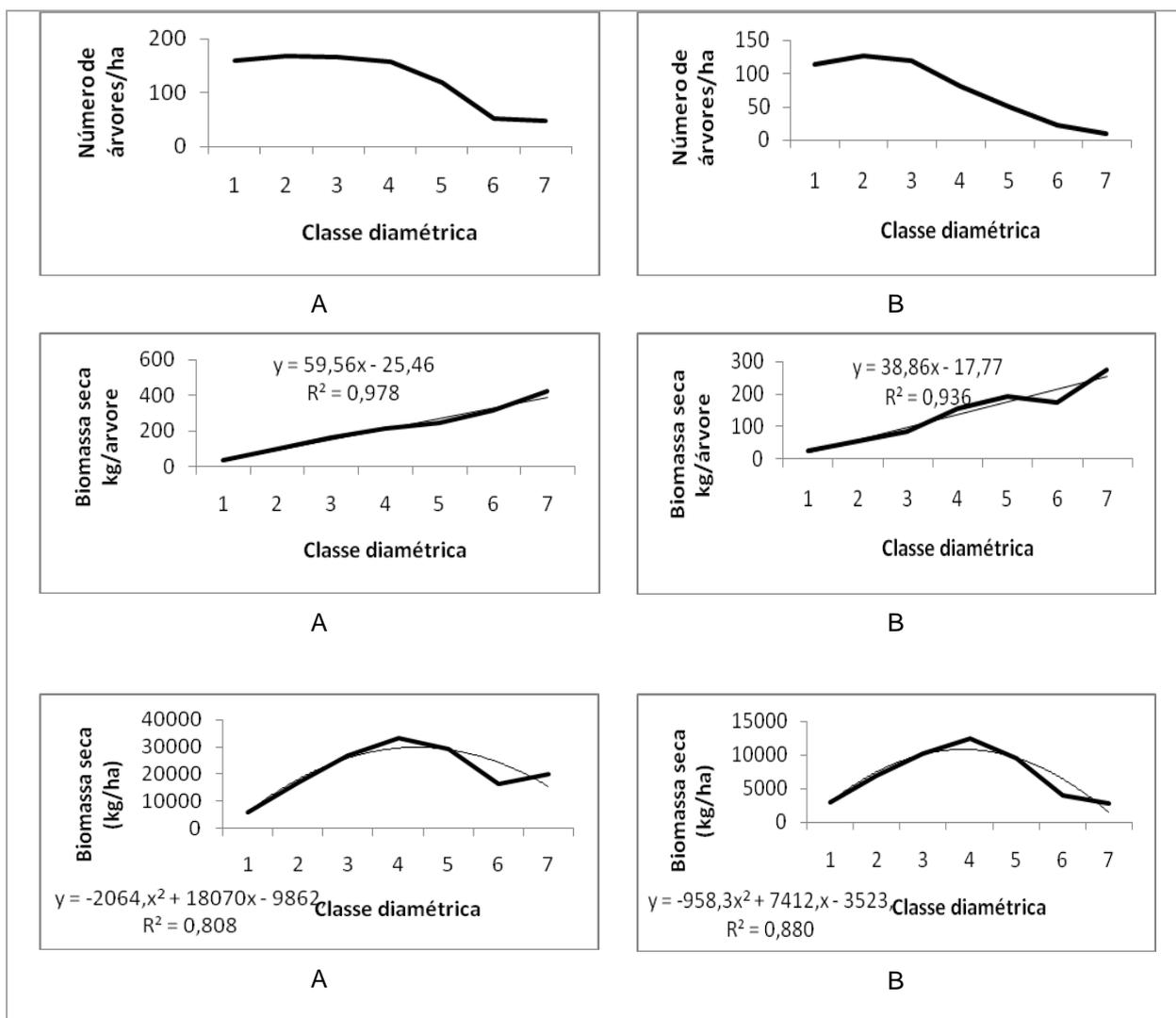


Figura 4.1. Número de árvores por hectare, biomassa seca por árvore e por hectare em função da classe diamétrica para A – cerrado e B – terra firme.

O cerrado, com 20 anos, possui 5 anos a mais que o plantio de terra-firme, sendo este um fator que favorece a produção de biomassa seca neste bioma. No entanto ao calcular o incremento médio anual de biomassa seca chega-se a 12.310kg/ha/ano no cerrado e 5.651kg/ha/ano na terra-firme. Nestas condições pode-se estimar, para o ecossistema terra-firme aos 20 anos de idade, considerando tudo o mais constante, uma produção de 113.020kg de biomassa seca, ainda assim, abaixo da produção do cerrado.

Outro fator que interfere na produção de biomassa, segundo Eloy *et al.* (2010), é o espaçamento, que apresenta implicações do ponto de vista silvicultural, tecnológico e econômico, interferindo nas taxas de crescimento das plantas, idade de corte, qualidade da

madeira, bem como as práticas silviculturais empregadas e, conseqüentemente, os custos de produção. No estudo de Castro *et al.* (1998) o espaçamento de 3,0 x 2,5m apresentou baixa produção de biomassa comparado aos espaçamentos menores. O plantio do cerrado foi executado em espaçamento mais fechado (3,0 x 2,5m) contra 3,0m x 3,0m do plantio de terra-firme. Apesar da pequena diferença é um fator que pode ter contribuído para a maior produção do cerrado.

Na região centro-sul do Amapá, onde está localizado o assentamento do plantio da terra-firme, devido à alta pluviosidade há a intensificação do processo erosivo dos solos, sendo o tipo mais comum de erosão hídrica ou laminar, onde a água das chuvas lixivia a superfície dos solos tornando-os pedregosos. A erosão é mais acentuada em relevos mais acentuados, o que não é o caso do plantio. Entretanto, por ser uma área plana, serve de depósito de particulados carregados pela chuva, o que se explica pelo alto teor de areia encontrado na análise de solo.

Nesta área, 80% das chuvas anuais concentram-se no primeiro semestre do ano (IEPA, 2004), sendo o segundo semestre caracterizado por um período extremamente seco agravado pela distribuição irregular das chuvas, o que pode contribuir para um crescimento irregular do plantio. O período muito seco de verão, aliado a temperaturas elevadas pode causar danos severos ao desenvolvimento/crescimento de plantas.

Quanto ao ambiente de cerrado, IEPA (2002) destaca que este ambiente, embora possa conservar algumas semelhanças com os cerrados do planalto central brasileiro, possui características particulares, atribuídas à sua história evolutiva no âmbito dos regimes amazônicos. Assim, apesar da pluviosidade ser menor em relação à terra-firme, há uma estabilidade maior do clima, o que confere um crescimento mais padronizado das plantas ao longo do ano.

Um importante fator de influência na produção de biomassa nos plantios mencionados é a incidência solar. Sabe-se que variáveis como superfície, diâmetro, comprimento e altura da copa estão diretamente relacionadas com o crescimento e a produção de biomassa. Segundo Nutto (2001), tais variáveis são modificadas pela concorrência entre as plantas, considerando-se que a luz solar e o vento são os principais fatores responsáveis por essas modificações, ou seja, quanto mais adensado o povoamento

florestal, menor a quantidade de luz que atingirá as camadas subsequentes do dossel, ocasionando a morte dos galhos nestas posições.

Dessa forma, enquanto a estrutura e composição da floresta de terra-firme é marcada pela alta frequência de espécies arbóreas que formam dosséis dominantes, no cerrado, especificamente na área de ocorrência do plantio em questão, há o predomínio de um estrato lenhoso arbóreo-arbustivo pouco diversificado, o que confere maior incidência de luz no plantio ali desenvolvido.

Assim, a forma como a radiação fotossinteticamente ativa é interceptada e absorvida pelas plantas, é o fator determinante da taxa fotossintética, podendo limitar a produção e o acúmulo de biomassa e, conseqüentemente, o seu desenvolvimento (CARON *et al.*, 2003; PILAU, 2005).

Desse modo, Poggiani (1984) afirma que a produção de biomassa em povoamentos florestais depende basicamente de luz, água e suprimento adequado de nutrientes. É imprescindível, contudo, que as espécies utilizadas estejam adaptadas ao clima, ao solo e às condições ambientais que os diferentes espaçamentos podem proporcionar.

4.3. Potencial Energético

A Tabela 4.6 apresenta as médias de umidade máxima e densidade básica por classe diamétrica da madeira em plantio da terra-firme e do cerrado. Nota-se que a distribuição do teor de umidade ao longo do fuste foi mais uniforme na área de terra-firme, onde apresentou amplitude de 95,14% a 141,32%, enquanto na área de cerrado a amplitude foi de 81,57% a 133,29%. Ao passo que na terra-firme as menores classes foram as que apresentaram os maiores valores, no cerrado foram as classes 1 e 5 as que apresentaram as maiores umidades na madeira.

Tabela 4.6. Médias de umidade máxima (Umáx) e densidade básica (Db) por classe na madeira em plantios de terra-firme e cerrado.

Classe diamétrica	TERRA-FIRME		CERRADO	
	Db (kg/m ³)	Umáx (%)	Db (kg/m ³)	Umáx (%)
1	486,28	141,31	510,33	133,29
2	521,15	128,73	549,09	119,90
3	538,70	121,74	695,71	81,57
4	583,76	107,83	558,07	115,26
5	560,57	113,60	587,33	130,63
6	625,47	95,14	586,42	105,77
7	620,91	96,89	581,84	107,17

Observa-se uma tendência de aumento da densidade básica conforme o diâmetro do tronco aumenta, principalmente no plantio de terra-firme. No cerrado, as classes 3 e 5 apresentaram os maiores valores de densidade básica, enquanto em terra-firme foram as classes 6 e 7. Em ambas as áreas a classe 1 representou as menores densidades básicas. Os valores médios totais de densidade obtidos foram respectivamente 581,25kg/m³ e 562,41kg/m³, para cerrado e terra-firme.

Tomaselli *et al.* (1983) comparando duas áreas de tachi-branco no Pará, um plantio e uma área nativa, com fins energéticos, concluiu que a densidade básica da madeira oriunda do plantio experimental foi de 630kg/m³ e, para a madeira de mata nativa, foi de aproximadamente 600kg/m³, não apresentando diferença significativa estatisticamente, sendo classificada como madeira de densidade média.

Em estudos mais recentes com a espécie no centro-oeste foram encontrados valores superiores de densidade básica. Vale (2000) encontrou valores de densidade básica na faixa de 700kg/m³ para madeira. Já Thompson (2009) obteve valores para a madeira do fuste de 740kg/m³.

Segundo Elliott (1970), há evidências que mostram que a redução do tecido fotossintético, pela poda dos ramos vivos da copa, causa uma redução na produção de lenho inicial na madeira formada no tronco, influenciando assim os seus valores. Logo,

quando há intensa presença de galhos ao longo do tronco, a densidade pode oscilar demasiadamente.

O coeficiente de correlação entre densidade básica e umidade máxima da madeira foi de -0.826 para o cerrado e -0.964 para terra-firme, portanto, uma correlação inversa entre estas duas variáveis.

Nas Tabelas 4.7 e 4.8 estão os valores de “F” das análises de variância para os efeitos de classe, de posição axial (base, meio e topo) e da interação entre estes para umidade máxima (Umáx), densidade básica (Db), poder calorífico superior (PCS) e densidade energética (DE) dos plantios de terra-firme e cerrado. Em todos os casos, tanto para terra-firme quanto para o cerrado, o efeito da interação entre classe diamétrica e posição axial foi não significativo.

Na área de terra-firme foram constatadas diferenças significativas ($p < 0,01$) na umidade máxima e na densidade básica entre as classes diamétricas e nas posições axiais do tronco. Para o poder calorífico superior houve efeito significativo da posição axial, enquanto para a densidade energética o efeito foi significativo apenas para a classe diamétrica (Tabela 4.7). O parâmetro densidade energética será discutido mais detalhadamente à frente.

Quanto a área de cerrado houve efeito significativo ($p < 0,05$) das posições axiais na umidade máxima, densidade básica, poder calorífico e densidade energética. Somente o poder calorífico superior não foi influenciado significativamente pelas classes diamétricas (Tabela 4.8).

Tabela 4.7. Valores de “F” para umidade máxima, densidade básica, poder calorífico superior e densidade energética no plantio de terra-firme.

FV	GL	Valores de F			
		Umáx (%)	Db (kg/m ³)	PCS (kcal/kg)	DE (Gcal/m ³)
Classe diamétrica	6	7,94**	10,60**	0,38ns	5,70**
Posição axial (b/m/t)	2	5,72**	9,61**	4,30*	1,14ns
C x Pa	12	0,40ns	1,25ns	1,09ns	0,22ns
Resíduo	42				
CVe		12,75	7,85	1,57	17,41

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 4.8. Valores de “F” para umidade máxima, densidade básica, poder calorífico superior e densidade energética no plantio de cerrado.

FV	GL	Valores de F			
		Umáx (%)	Db (kg/m ³)	PCS (kcal/kg)	DE (Gcal/m ³)
Classe diamétrica	6	6,95**	7,67**	1,31ns	7,61**
Posição axial (b/m/t)	2	4,30*	3,78*	5,11*	3,99*
C x Pa	12	0,99ns	0,98ns	1,39ns	0,76ns
Resíduo	42				
CVe		15,38	9,42	5,38	9,63

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Nas Tabelas 4.9 e 4.10 estão os valores de “F” das análises de variância para os efeitos de classe, de posição axial (base, meio e topo) e da interação entre estes, para material volátil, cinzas e carbono fixo dos plantios de terra-firme e cerrado. Em todas as variáveis analisadas, tanto para terra-firme quanto para o cerrado, o efeito da interação entre classe diamétrica e posição axial foi não significativo.

Verificou-se que no plantio de terra-firme houve diferença significativa para os valores médios de material volátil, cinzas e carbono fixo, tanto entre classes diamétricas quanto posições axiais. Na área de cerrado, tanto para as classes diamétricas, quanto para posições axiais houve diferença significativa entre as médias de material volátil e cinzas.

Tabela 4.9. Valores de “F” para a análise imediata do plantio de terra-firme.

FV	GL	Valores de F		
		Material Volátil (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
Classe diamétrica	6	4,19**	7,59**	4,34**
Posição axial (b/m/t/)	2	22,60**	39,74**	13,37**
C x Pa	12	0,91ns	0,60ns	0,79ns
Resíduo	42			
CVe		0,97	24,72	5,83

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 4.10. Valores de “F” para a análise imediata do plantio de cerrado.

FV	GL	Valores de F		
		Material Volátil (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
Classe diamétrica	6	3,29**	9,36**	1,10ns
Posição axial (b/m/t/)	2	19,56**	108,00**	3,93*
C x Pa	12	0,99ns	1,46ns	1,11 ns
Resíduo	42			
CVe		0,91	22,68	1,39

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns não significativo ($p \geq .05$)

Para a maioria das variáveis ocorreu efeito significativo de um dos dois fatores considerados. Neste sentido pode-se afirmar que há uma classe diamétrica e uma posição axial em que a espécie nos dois ecossistemas estudados produz biomassa de melhor qualidade, entendendo que melhor qualidade traduz-se em valores maiores de densidade energética e teor de carbono fixo e valores menores de teor de cinza e material volátil.

Nas Tabelas 4.11 (terra-firme) e 4.12 (cerrado) seguintes, são apresentados os testes de Tukey para as variáveis que apresentaram diferença significativa em relação as classes diamétricas e posições axiais.

Tabela 4.11. Teste de Tukey para as médias de umidade máxima (Umáx), densidade básica (Db), poder calorífico superior (PCS), densidade energética (DE), material volátil (MV), cinzas (CZ) e carbono fixo (CF) no plantio de terra-firme.

Posição/ Classe diamétrica	Umáx(%)	Db (Kg/m ³)	PCS (kcal/kg)	DE (Gcal/m ³)	Material Volátil (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
Base	99,65 b	608,7 a	4.502 a	2,80 a	84,03 b	0,78 a	15,16 a
Meio	121,53 a	547,7 ab	4.552 a	2,58 a	85,18 a	0,47 a	14,33 ab
Topo	110,55 ab	573,0 b	4.556 a	2,67 a	85,72 a	0,42 a	13,84 b
Classe 1 (10-13cm)	136,97 a	496,28 d	4.560 a	2,26 b	85,10 ab	0,69 ab	14,19 ab
Classe 2 (14-17cm)	117,91 ab	550,72 cd	4.544 a	2,50 b	85,95 a	0,60 ab	13,44 b
Classe 3 (18-21cm)	115,88 ab	556,21 bcd	4.543 a	2,52 b	84,41 ab	0,76 a	14,83 ab
Classe 4 (22-25cm)	107,57 bc	586,08 abc	4.530 a	2,65 b	85,07 ab	0,47 ab	14,44 ab
Classe 5 (26-29cm)	108,31 bc	576,56 abc	4.518 a	2,60 b	85,33 ab	0,49 ab	14,17 ab
Classe 6 (30-33cm)	91,91 c	642,01 a	4.534 a	3,43 a	84,32 b	0,42 b	15,26 a
Classe 7 (34-37cm)	95,49 bc	627,63 ab	4.529 a	2,84 ab	84,73 ab	0,48 ab	14,78 ab

Tabela 4.12. Teste de Tukey para as médias de umidade máxima (Umáx), densidade básica (Db), poder calorífico superior (PCS), densidade energética (DE), material volátil (MV), cinzas (CZ) e carbono fixo (CF) no plantio de cerrado.

Posição/ Classe diamétrica	Umáx(%)	Db (Kg/m ³)	PCS (kcal/kg)	DE (Gcal/m ³)	Material Volátil (%)	Cinzas (%)	Carbono Fixo (%)
Base	99,30 b	611,0 ab	4.535 b	2,77 ab	84,18 b	0,94 a	14,89 a
Meio	112,52 a	571,6 b	4.554 ab	2,60 b	85,24 a	0,42 b	14,33 ab
Topo	100,71 ab	614,3 a	4.597 a	2,82 a	85,63 a	0,40 b	14,28 b
Classe 1 (10,2-14,3cm)	125,50 a	532,00 c	4.550 a	2,41 c	84,42 b	0,84 a	14,20 a
Classe 2 (14,4-18,5cm)	111,34 ab	575,67 bc	4.534 a	2,61 bc	85,30 ab	0,66 ab	14,41 a
Classe 3 (18,6-22,7cm)	80,91 c	695,43 a	4.575 a	3,18 a	84,94 ab	0,62 ab	14,66 a
Classe 4 (22,7-26,9cm)	111,03 ab	570,94 bc	4.568 a	2,60 bc	85,80 a	0,55 ab	14,35 a
Classe 5 (27-31,1cm)	94,89 bc	626,29 ab	4.561 a	2,85 ab	84,83 ab	0,49 b	14,67 a
Classe 6 (31,2-35,3cm)	101,01 bc	601,88 bc	4.606 a	2,77 bc	84,60 b	0,44 b	14,95 a
Classe 7 (35,4-39,5cm)	104,56 abc	590,89 bc	4.541 a	2,68 bc	85,24 ab	0,51 b	14,24 a

A umidade máxima da madeira tem uma relação inversa com a densidade básica e isto pode ser observado nos resultados apresentados nas Tabelas 4.11 e 4.12. Tanto no bioma terra-firme quanto no cerrado a umidade máxima da base das árvores foram as menores enquanto a densidade básica apresentou-se com valores mais elevados. Observa-se que a densidade básica em ambos os biomas diminui da base para o meio do tronco, aumentando a partir daí até o topo, sendo que as densidades básicas dos extremos são iguais estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. Esta tendência de aumento da densidade a partir do meio do tronco também foi observada por Vale (1995) estudando a madeira de *Eucalyptus grandis* e naquela oportunidade a explicação para esta ocorrência foi a presença de galhos. Nas árvores de *Tachigali vulgaris* a ocorrência de galhos é ainda maior. Thompson (2009), concluiu em seu trabalho com carvoeiro em cerrado do Centro Oeste, que o componente copa contribuía com a maior parte da biomassa da árvore.

Quando se analisa a umidade máxima em diferentes classes diamétricas, observa-se diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade entre as classes um e seis para terra-firme e entre um e três para o cerrado ao nível de 5% de probabilidade. As demais classes se dividem em dois grupos, umas aproximando e sendo iguais estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade à classe de maior valor e outras à classe de menor valor. A densidade básica tem comportamento análogo no plantio de terra-firme, onde as maiores densidades básicas ocorrem nas classes maiores e as menores densidades nas menores.

Tanto para posição axial quanto para classes diamétricas, os valores médios de poder calorífico superior não diferiram entre si ao nível de 5% de probabilidade para terra-firme. Para o cerrado apenas a posição axial influenciou os valores médios implicando em diferença estatística significativa, e neste caso, o topo apresentou o maior valor, diferente da base, mas igual estatisticamente ao meio do tronco. Desta forma a densidade energética é menos influenciada pelo poder calorífico e mais influenciada pela densidade básica tanto dentro de posições axiais, quanto classes diamétricas.

Observa-se para material volátil, cinzas e carbono fixo, apresentados nas Tabelas 4.11 e 4.12 e nas Figuras 4.2 a 4.4, um comportamento semelhante nestes biomas para matéria volátil e carbono fixo entre as posições axiais, com os valores de material volátil maiores no meio e topo e diferindo da base e os valores de carbono fixo maiores na base e diferindo do topo, estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. Os teores de cinzas não sofreram influência das posições axiais na terra-firme e os teores de carbono fixo não sofreram influência das classes diamétricas no mesmo nível de significância.

Quando se analise o efeito da classe diamétrica na análise imediata, verifica-se para terra-firme que os teores de material volátil das classes dois e seis, os teores de cinzas das classes três e seis e os teores de carbono fixo das classes dois e seis diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade. Para o cerrado os teores de material volátil da classe quatro diferiram estatisticamente ao nível de 5% de probabilidade das classes um e seis, enquanto o teor de cinzas da classe um diferiu estatisticamente das classes cinco, seis e sete.

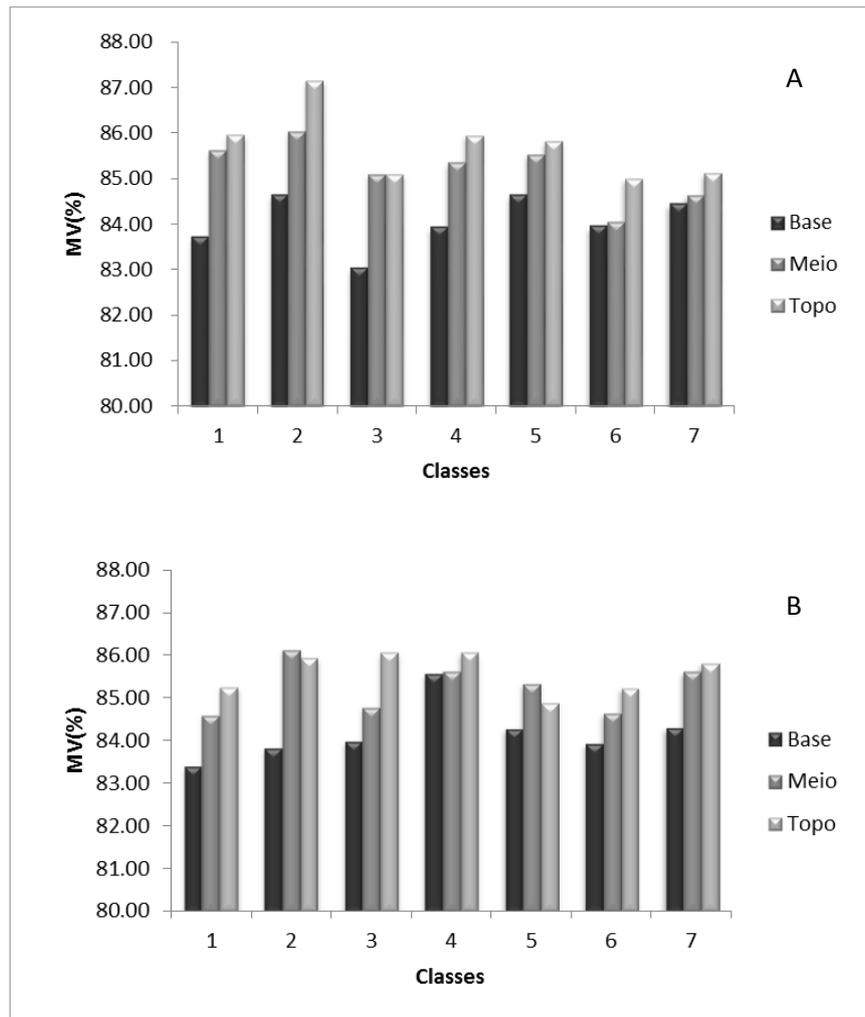


Figura 4.2. Materiais voláteis por classe diamétrica nas áreas de terra-firme (A) e cerrado (B).

O teor de materiais voláteis pode contribuir para a baixa eficiência energética durante a queima da biomassa (CHAVES *et al.*, 2013). A biomassa com alto teor de voláteis apresenta maior facilidade de incendiar e queimar, porém o processo de combustão em geral pode ser afetado, já que existe dificuldade de controle do mesmo (VIEIRA, 2012).

Quanto ao teor de cinzas, Brand (2010) afirma que é desejável que o combustível apresente baixas quantidades, uma vez que altos teores de minerais contribuem para a redução do poder calorífico, visto que eles não participam do processo de combustão. A lenha é o combustível mais utilizado em caldeiras e tem um teor de cinzas em torno de 1%, o que é um bom índice por não prejudicar caldeiras e fornalhas (VALE *et al.*, 2007).

Além disso, o conhecimento do teor de cinzas permite avaliar o seu comportamento a diversos critérios, como por exemplo, o ataque a refratários pelas cinzas que pode ser evitado, ou seja, os refratários devem apresentar o mesmo comportamento químico ao das cinzas e, ainda devem ter baixa porosidade para que as cinzas ao se alojarem não provoquem rachaduras na superfície do mesmo. Outro critério é o ponto de amolecimento e fusão das cinzas, pois processos de combustão com temperaturas maiores do amolecimento podem propiciar a aglomeração de material particulado denominado —sinter, ou a fusão da cinza —slagging, que geralmente inviabilizam a continuidade do processo ou reduzem a eficiência da troca de calor no equipamento (NOGUEIRA; RENDEIRO, 2008).

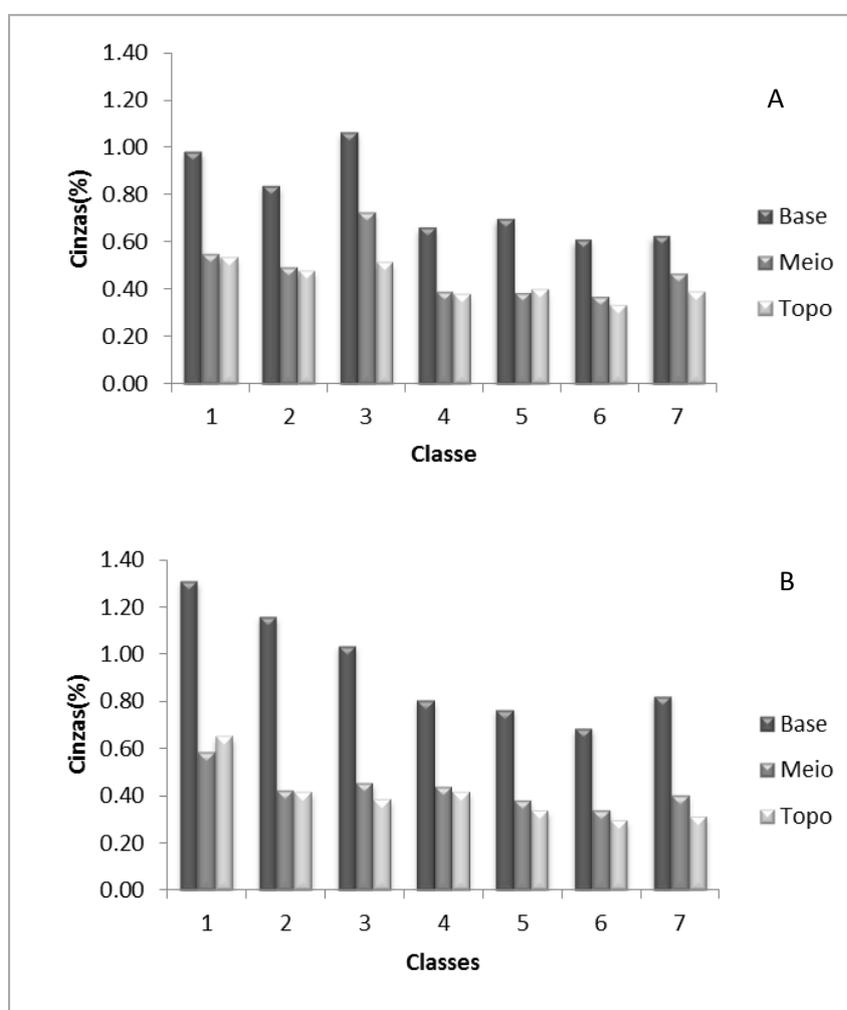


Figura 4.3. Teor de cinzas por classe diamétrica nas áreas de terra-firme (A) e cerrado (B).

Quanto ao teor de carbono fixo os dois plantios apresentaram comportamentos semelhantes, como pode-se observar na Figura 4.4. Segundo Vale *et al.* (2007), o teor de carbono fixo não está diretamente relacionado com os teores de material volátil e de cinzas.

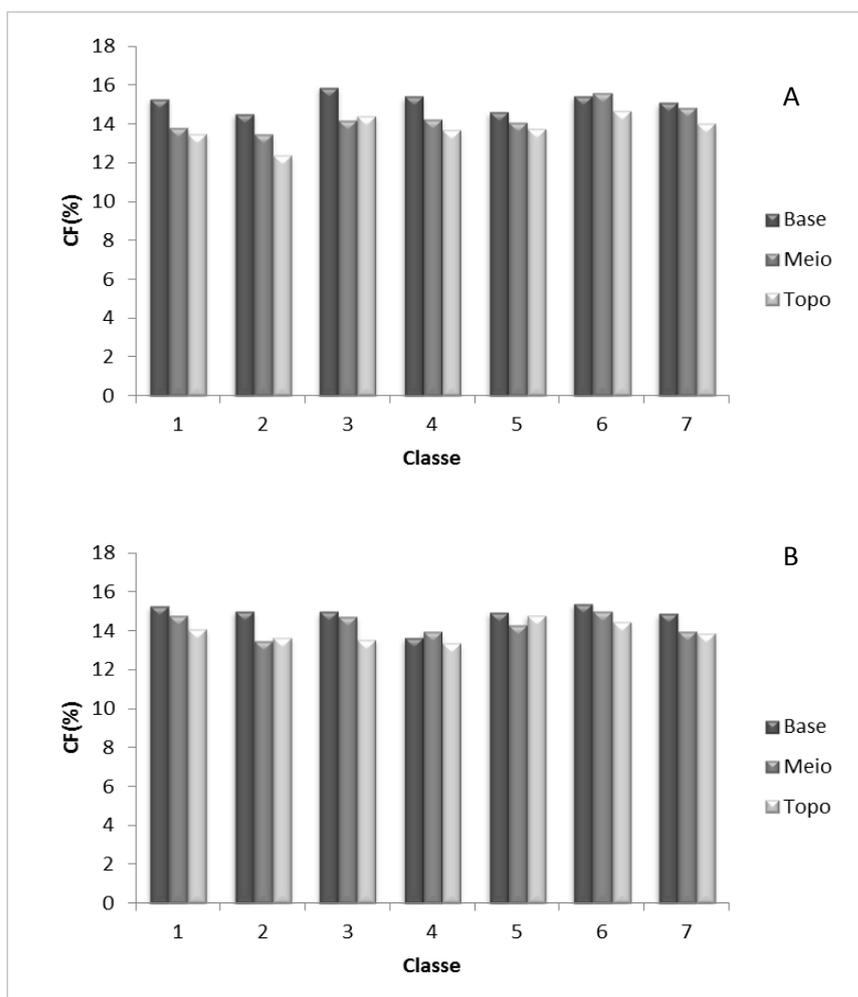


Figura 4.4. Carbono fixo (CF) por classe diamétrica nas áreas de terra-firme (A) e cerrado (B).

Combustíveis com altos teores de carbono fixo e baixos teores de materiais voláteis tendem a queimarem-se mais lentamente, ou seja, eles poderão requerer longo tempo de residência na fornalha para queima total, quando comparados com combustíveis que possuam baixo índice de carbono fixo (BRAND, 2010; NOGUEIRA e LORA, 2003).

As médias de poder calorífico superior em kcal/kg por classe diamétrica nos dois plantios estão expressas nos gráficos da Figura 4.5 a seguir. Não há um comportamento

simétrico da variação do PCS ao longo das posições axiais base, meio e topo do tronco. Na terra-firme as classes 3 e 4 destacam-se por apresentarem os maiores valores na base, já no cerrado, a amplitude de variação foi menor, com destaque para a classe 7 que apresentou o menor e o maior valor de PCS entre todas as classes deste plantio.

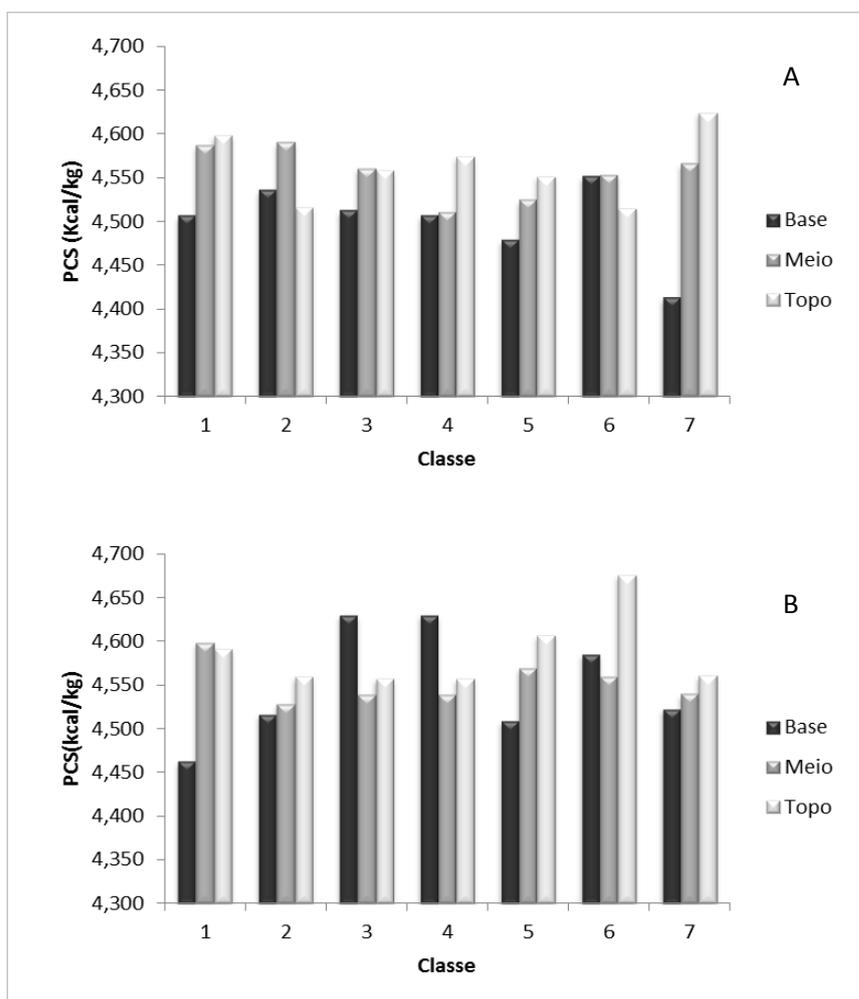


Figura 4.5. Poder calorífico superior (PCS) por classe diamétrica nas áreas de terra-firme (A) e cerrado (B).

Tomaselli (1983) pesquisando o poder calorífico obtido para madeira de *T.vulgaris* em áreas nativas e plantadas na Amazônia encontrou valores de 4.580Kcal/kg e 4.390Kcal/kg, respectivamente. Oliveira *et al* (2008) analisando a madeira de tachi-branco em diferentes níveis de adubação no centro-oeste chegaram a valores de PCS que variaram entre 4.616kcal/kg a 4.731kcal/kg, apresentando uma média de 4.671kcal/kg, inferior à

média encontrada por Vale (2000) para *T.vulgaris* nativo também no centro-oeste, que foi de 4.849kcal/kg.

A densidade energética dos plantios está expressa na Tabela 4.13 nas unidades Gcal/m³, GJ/m³, GJ/ha e GJ/ha/ano por classe diamétrica. No plantio de terra-firme a produção por metro cúbico foi maior na classe 6, enquanto no plantio do cerrado a classe 3 foi a mais significativa. Quando analisamos a produção energética por hectare a densidade populacional de indivíduos da classe 4 a torna a classe mais produtiva nos dois plantios, seguindo a tendência de produção de massa seca por hectare observada na Tabela 4.4.

Tabela 4.13. Densidade energética por classe diamétrica nos plantios de terra-firme e cerrado.

Classe diamétrica	TERRA-FIRME				CERRADO			
	Gcal/m ³	GJ/m ³	GJ/ha	GJ/ha/ano	Gcal/m ³	GJ/m ³	GJ/ha	GJ/ha/ano
1	2,22	9,27	55,56	3,70	2,32	9,71	108,68	5,43
2	2,37	9,90	132,03	8,80	2,49	10,41	320,14	16,01
3	2,45	10,23	193,86	12,92	3,18	13,31	513,06	25,65
4	2,64	11,05	235,59	15,71	2,55	10,65	637,41	31,87
5	2,53	10,59	178,69	11,91	2,68	11,20	555,17	27,76
6	3,14	13,14	80,10	5,34	2,70	11,29	313,69	15,68
7	2,81	11,76	51,76	3,45	2,64	11,04	376,95	18,85

Assim, nota-se na Tabela 4.13 que o incremento energético anual em GJ/ha/ano nos dois plantios tende a crescer até a classe 4 e declinar a partir daí, o que indica que árvores com diâmetros até 25cm e 27cm apresentam maior produção energética por hectare em plantios.

No cerrado, a produtividade energética anual foi bastante superior à terra-firme em todas as classes. O sucesso do crescimento desta espécie em ecossistema de cerrado no Amapá, foi constatado por Castro *et al.* (1990), quando avaliou o comportamento silvicultural do tachi-branco com outras 13 espécies e verificou que apenas o tachi-branco adaptação às condições ecológicas do local. As demais apresentaram alta mortalidade e baixo ritmo de crescimento após três anos de plantio. Os autores chegam a inferir que no cerrado amapaense esta espécie encontrou o ambiente ideal para seu desenvolvimento.

Como constatado para biomassa, observa-se que a produtividade energética em kg/ha/ano foi maior para a classe diamétrica 4, representada por diâmetro entre 22 a 25 cm, confirmando esta amplitude diamétrica como sendo o momento ideal para corte.

Na Figura 4.6 encontram-se as relações lineares simples estabelecidas entre a densidade energética em Gcal/m³ com o poder calorífico, diâmetro, densidade básica e massa seca na madeira do fuste do plantio de terra-firme. A densidade energética não foi influenciada pelo poder calorífico superior como já era esperado devido a pouca variação do PCS na madeira do fuste. Quando em função do diâmetro a densidade energética apresentou relação moderada com tendência de dispersão nos diâmetros maiores. Já a relação entre a densidade energética e massa seca se apresentou baixa, enquanto a relação entre a densidade energética e densidade básica foi significativamente positiva, representado por uma equação linear com coeficiente de determinação de 0,87, conforme a Figura 4.6.

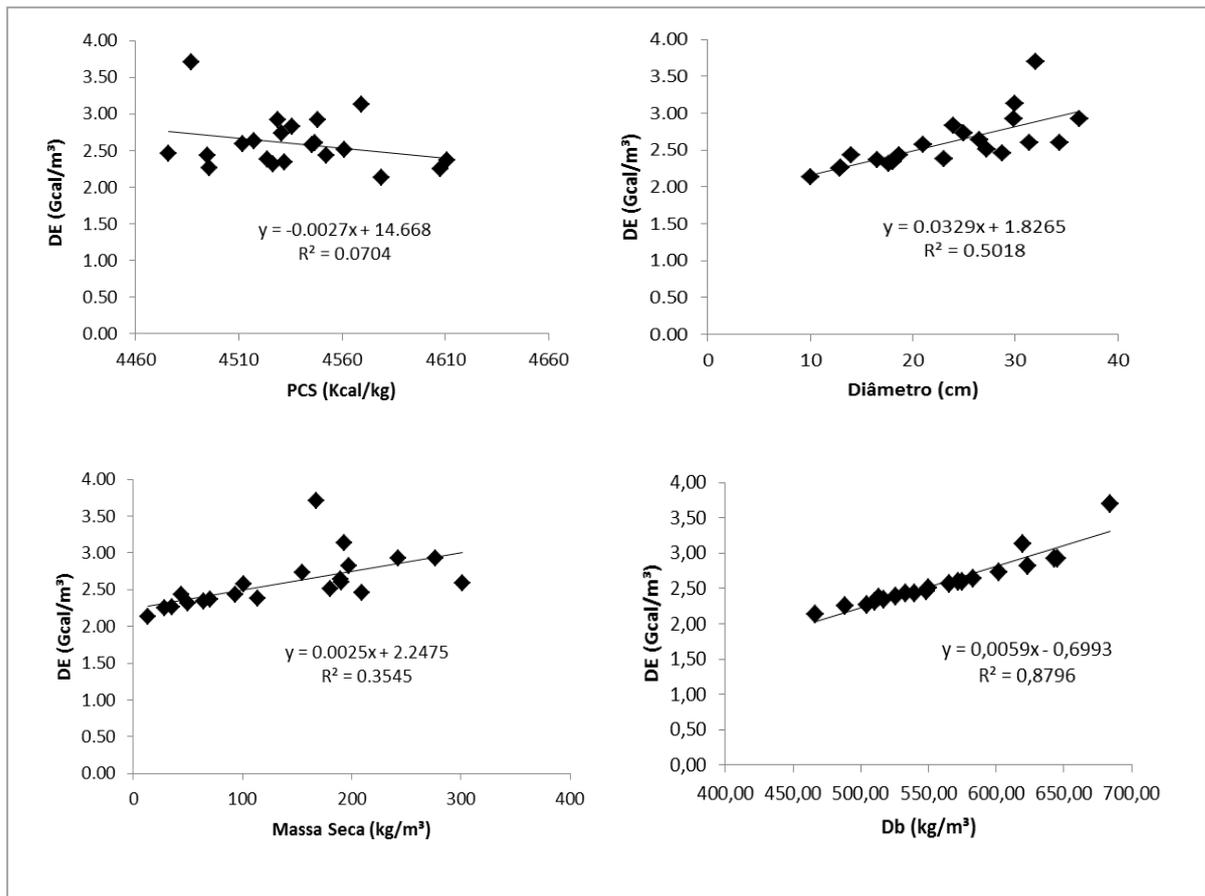


Figura 4.6. Relações lineares entre densidade energética (DE) com poder calorífico superior (PCS), diâmetro, massa seca e densidade básica (Db) no plantio de terra-firme.

No plantio de cerrado as relações lineares entre densidade energética com poder calorífico superior, diâmetro do fuste e massa seca foram bastante fracas, como constam nos gráficos da Figura 4.7. Entretanto, a densidade energética apresentou relação com a densidade básica mais elevada que o plantio da terra-firme, com um coeficiente de relação de 0,99. Assim, quanto maior a densidade básica maior a produção energética, tal como afirmam Neves *et al.* (2013) em que para produção de bioenergia, são recomendáveis maiores valores de densidade da madeira, uma vez que essa propriedade está relacionada à produtividade de massa seca e, conseqüentemente, de energia, apesar da fraca relação com a massa seca. Ainda segundo os autores, quanto maior a densidade energética maior a disponibilidade de energia por volume, o que confirma o elevado coeficiente de determinação com a densidade básica em kg/m³.

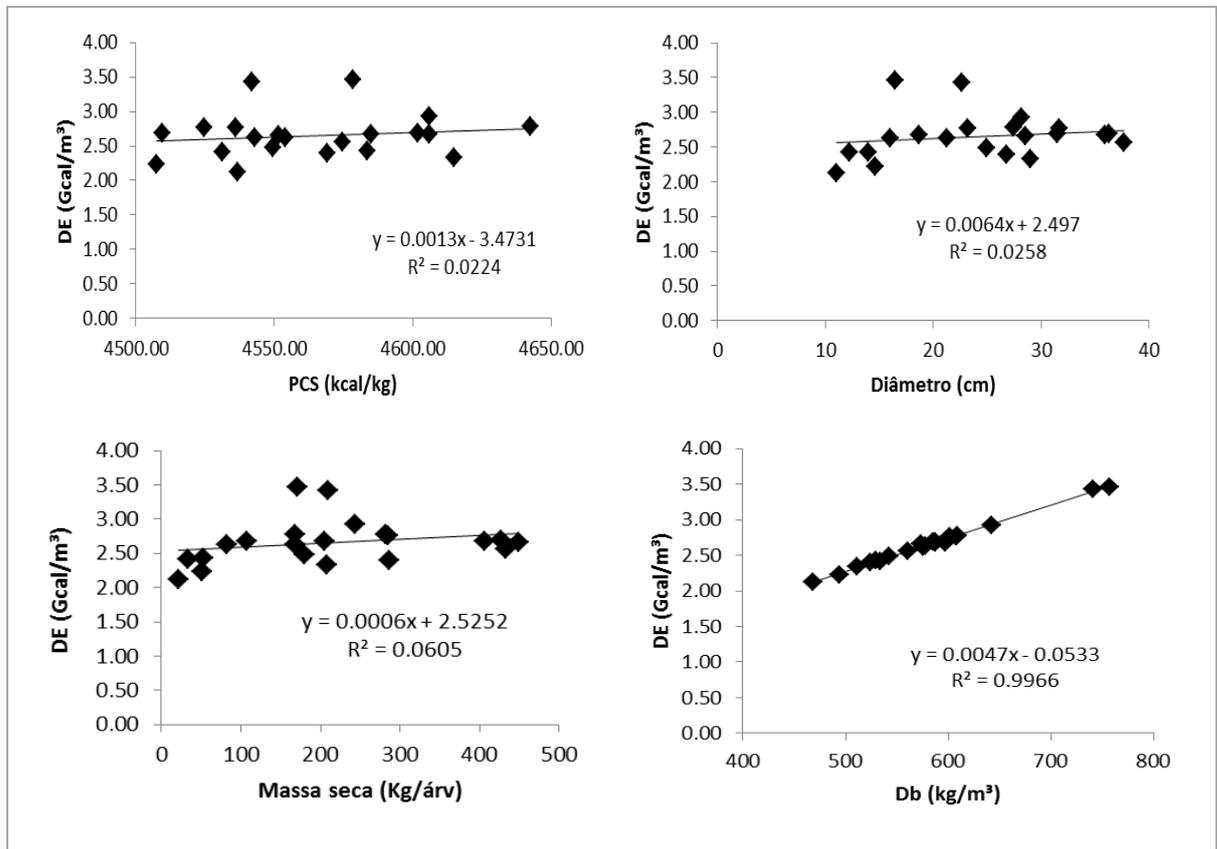


Figura 4.7. Relações lineares entre densidade energética (DE) com poder calorífico superior (PCS), diâmetro, massa seca e densidade básica (Db) no plantio de cerrado.

5. CONCLUSÃO

- Em geral a madeira de *Tachigali vulgaris*, nos dois biomas, apresentou boa qualidade para produção de biomassa e energia, uma vez que apresenta bons índices de cinzas, material volátil, densidade básica e poder calorífico.
- Ainda que semelhantes quanto à qualidade da madeira, o cerrado foi mais eficaz que a terra-firme em relação à produção de árvores por hectare e biomassa seca em todos os componentes analisados, conseqüentemente também mostrou-se superior na estocagem de carbono.
- Nos dois plantios o fuste foi o componente que mais contribuiu na produção de biomassa, sendo a classe 4 a que apresentou os melhores resultados em relação a produção por hectare, que corresponde a árvores com diâmetro entre 18cm a 30cm.
- Em ambos os plantios, o incremento em biomassa seca e energético anual atingiu o valor máximo para árvores compreendidas entre os diâmetros de 18 a 30cm, caindo a partir daí até a última classe diamétrica.
- O cerrado, devido à diferença de idade e ausência de competição, teve um melhor desempenho na produção de biomassa seca, na estocagem de carbono e na produção energética, com valores elevados de densidade energética tanto individualmente quanto por área.
- A espécie *T. vulgaris* quando utilizada para recuperação de áreas degradadas pode oferecer um retorno econômico através da exploração da sua biomassa para produção de energia ao atingir o ápice do diâmetro indicado.
- Assim, as análises feitas neste trabalho indicaram o cerrado como o ecossistema mais apropriado para o estabelecimento de plantios de tachi-branco com finalidade de produção de biomassa para energia, nas condições ambientais da região amazônica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASI, T. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. India: Elsevier, v. 14, p. 919-937, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2008. Brasília, 2009.129p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF**: ano base 2012. Brasília, 2013. 142p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão vegetal – Determinação do poder calorífico. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal – Análise imediata. Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986. 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília, 2002.153p.

ALMEIDA, G.; BRITO, J.O.; PERRÉ, P. Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator. **Bioresource Technology**. v.101, Issue 24, p.9778–9784, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410012149>>. Acesso em: 12/08/2014.

ARIAS, D.; CALVO-ALVARADO, J.; RICHTER, D.B.; DOHRENBUSCH, A. Productivity, aboveground biomass, nutrient uptake and carbon content in fast-growing tree plantations of native and introduced species in the Southern Region of Costa Rica. **Biomass and Bioenergy**, v.35, n.5, p.1779-1788, 2011.

BARROS, D.M.; VASCONCELOS, E.C. Termelétricas a lenha. In: M.G. Mello (ed). **Biomassa: energia dos trópicos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: LabMídia, p.221-41, 2001.

BERT, D.; DANJON, F. Carbon concentration variations in the roots, stem and crown of mature *Pinus pinaster* (Aait.). **Forest Ecology and Management**, v.222, p.279–295, 2006.

BRAND, M.A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 165 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

BRAND, M.A. Energia da Biomassa Florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Usos diretos e propriedades da madeira para a geração de energia. IPEF, São Paulo, **Circular Técnica**, n.52, 1979. 7p. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>>. Acesso em: 25/09/2014.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: Seminário de Abastecimento Energético Industrial com Recursos Florestais, 2, 1982, São Paulo. São Paulo, p.101-137, 1982.

CALEGARI, L.; FOELKEL, C.E.B.; HASELEIN, C.R.; ANDRADE, J.L.S.; SILVEIRA, P.; SANTINI, E.J. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no sul do Brasil. **Biomassa e Energia**. v.2, n.1, p.37-46, 2005.

CARON, B.O.; MONFRON, P.A.; LÚCIO, A.D.; SCHMIDT, D.; MEDEIROS, S.L.P.; BONNECARRÈRE, A.G.; NETO, D.D. Influência da temperatura do ar e radiação solar no acúmulo de fitomassa da alfaca. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria/RS, v.11, n.2, p.275-283, 2003.

CARPANEZZI, A.A.; MARQUES, L.C.T.; KANASHIRO, M. Aspectos ecológicos e silviculturais de taxi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Circular Técnica**, 8. Curitiba, EMBRAPA-URPFCS, 1983.

CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Influência da procedência e classe de diâmetro sobre as características da madeira de *Eucalyptus grandis*. In: Congresso Anual da Associação Brasileira de Celulose e Papel, 17, São Paulo, 1984. **Anais...** São Paulo: ABCP, p.411-422, 1984.

CARVALHO JÚNIOR, R.M. **Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ**. 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/174.pdf>>. Acesso em: 27/07/2014.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira**. Colombo: EMBRAPA-CNPQ. 1994. 640p.

CARVALHO, P.E.R. Taxi-branco: Taxonomia e Nomenclatura. **Circular Técnica**: Embrapa Florestas. Colombo, n.111, 2005. 11p.

CASTRO, A.W.V.; YARED, J.A.G.; ALVES, R.N.B.; SILVA, L.S.; MEIRELLES, S.M.L.B. Comportamento silvicultural de *Sclerolobium paniculatum* (Taxi-branco) no cerrado amapaense. **Comunicado Técnico**: EMBRAPA. n.7, p.1-4, 1990.

CASTRO, A.W.V.; FARIAS NETO, J.T.; CAVALCANTE, E.S. Efeito do espaçamento na produtividade de biomassa de Taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel). **Acta Amazônica**, v.2, n.17, p.141-146, 1998.

CHAVES, A.M.B.; VALE, A.T.; MELIDO, R.C.N.; ZOCH, V.P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus spp*. **Enciclopédia Biosfera**, v.9, n.17; p.533-542. 2013.

CHIMELLO, J. Anotações sobre anatomia e identificação de madeiras. São Paulo: IPT, 1980 (Apostila).

COELHO, J.C. **Biomassa – Biocombustíveis - Bioenergia**. Brasília, Ministério das Minas e Energia. 1982. 100p.

COUTO, L.; FONSECA, E.M.B.; MÜLLER, M.D. **O Estado da arte das plantações de florestas de rápido crescimento para a produção de biomassa para energia em Minas Gerais: aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais**. Belo Horizonte: CEMIG, 2000. 44p.

COUTO, L.; MÜLLER, M.D. Florestas Energéticas no Brasil. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. (Org.). **Biomassa para Energia**. 1ed. Campinas: Editora da Unicamp, v.1, p.93-108, 2008.

CRUZ, C. D. GENES – a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, p.271-276, 2013.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I.A.; CABRAL, M.T.F.D.; NETO, Z.B.C.; BARBOSA, A.P. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. III Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas da Madeira. **Anais...**, USP, São Carlos, v.2, p.93-120, 1989.

DIAS, L.E.; BRIENZA JÚNIOR, S.; PEREIRA, C.A. Taxi branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma leguminosa arbórea nativa da Amazônia com potencial para recuperação de áreas degradadas. In: KANASHIRO, M.; PARROTA, J.A., (Eds.) **Manejo e reabilitação de áreas degradadas e florestas secundárias na Amazônia**. UNESCO. Paris, France, p.148-153, 1995.

DIAS, L.E.; JUCKSCH, J.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N.F.; BRIENZA JUNIOR, S. Formação de mudas de táxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): resposta a nitrogênio, potássio e enxofre. **Revista Árvore**, v.2, n.16, p.135-143. 1992.

DIAS, L.E.; ALVAREZ, V.H.; JUCKSCH, I.; BARROS, N.F.; BRIENZA JÚNIOR, S. Formação de mudas de taxi branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) I. Resposta a calcário e fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.1, p. 69-76, 1991.

ELLIOTT, G.K. Wood density in conifers. **Technical Communication CAB**, Oxford, v.8, p.1-44,1970.

ELOY, E.; CARON, B.O.; SOUZA, V.Q.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; BAMBERG, R.; VIAN, A.L.; BUSANELLO, C. Espécies florestais em plantios de curta rotação para biomassa. **Revista da Madeira**, v.21, p.50-53, 2010.

ELOY, E. **Quantificação e Caracterização da Biomassa Florestal em Plantios de Curta Rotação**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2013. 88p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Boletim Agrometeorológico**. Macapá: Embrapa-UEPAE. 1990. 55p.

FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth) e aspectos gerais da combustão. **Seria Técnica**, nº 6. Curitiba: FUPEF, 1981.

FEARNSIDE, P.M. Florestas Energéticas. Painel Florestal. 2008. Disponível em: <http://www.academia.edu/1198855/Florestas_Energ%C3%A9ticas>. Acesso em 29 de novembro de 2014.

FELFILI, J.M.; HILGBERT, L.F.; FRANCO, A.C.; SOUSA-SILVA, J.C.; RESENDE, A.V.; NOGUEIRA, M.V.P. Comportamento de plântulas de *Sclerolobium paniculatum* Vog. var. *rubiginosum* (Tul.) Benth. sob diferentes níveis de sombreamento, em viveiro. **Revista Brasileira de Botânica**, v.22, n.2, p.297-301, 1999.

FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P.Y. Melhoramento genético da densidade de eucalipto. **Boletim Técnico - IPEF**, v.6, n.20, p.1-15, 1978.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n.2/3, p.65-74. 1971.

FRANKE, I.L. Principais usos e serviços de árvores e arbustos promissores que ocorrem em pastagens no estado do Acre. **Comunicado Técnico: EMBRAPA/AC**, n.106, p.1-6, 1999.

FRANCZAK, D.D.; MARIMON, B.S.; MARIMON-JUNIOR, B.H.; MARACAHIPES, L.; OLIVEIRA E.A. Changes in the structure of a savanna forest over a six-year period in the Amazon-Cerrado transition, Mato Grosso state, Brazil. **Rodriguésia**, v.62, p.425-436, 2011.

GONÇALVES, D.A.; BRIENZA JUNIOR, S.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GALEÃO, R.R.; TONINI, H.; FERREIRA, L.M.M.; LIMA, R.M.B.; SOUZA, C.R.; GUEDES, M.C.; SOUSA, V.; BALIEIRO, E.M. Taxi branco (*Sclerolobium paniculatum* Vogel): uma espécie leguminosa nativa com uso potencial em florestas energéticas. In: I Congresso Brasileiro Sobre Florestas Energéticas. Belo Horizonte, 2009.

GRAUER, A.; KAWANO, M. Uso de Biomassa para Produção de Energia. **Boletim Informativo da Bolsa de Reciclagem**, v.1, n.5, 2001. Disponível em <http://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/biomassa/vantagens_da_biomassa_na_producao_de_energia.html>. Acesso em 10/11/2014.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JR. J. A. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies da Amazônia. In: Seminário Emissão x Seqüestro de CO₂ – Uma nova oportunidade de negócios para o Brasil. Rio de Janeiro. 1994. **Anais...** Companhia Vale do Rio Doce. Rio de Janeiro. p.125 – 154, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geostatísticas de recursos naturais da Amazônia Legal**: 2003. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO AMAPÁ. **Macrodiagnóstico do Estado do Amapá**: primeira aproximação do ZEE. Macapá: IEPA-ZEE, 2002. 137p.

INSTITUTO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS E TECNOLÓGICAS DO AMAPÁ. Plano de Recuperação de Assentamentos: P.A Piquiazal. Macapá-AP: INCRA, 2004.

LELES, P.S.S.; REIS, G.G.; REIS, M.G.F.; MORAIS, E.J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, v.22, n.1, p.41-50, 1998.

LIMA, E.A.; SILVA, H.D.; LAVORANTI, O.J. Caracterização dendroenergética de árvores *Eucalyptus benthamii*. **Pesq. flor. Bras**, Colombo, v.31, n.65, p.09-17, 2011.

LIMA, H.C. *Tachigali*. In: **LISTA de espécies da flora do Brasil 2012**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/FB100914>>. Acesso em: 12 de maio de 2014.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2a ed., v.2. Nova Odessa: Editora Plantarum, 1998. 373p.

MAGALHÃES, J.G.R. Tecnologia de obtenção da madeira. In: Uso da madeira para fins energéticos. Belo Horizonte: **CETEC**, p.56-66, 1982.

MALAN, F.S.; HOON, M. Effect of initial spacing and thinning on some wood properties of *Eucalyptus grandis*. **South African Forestry Journal**, Pretoria, n.163, p.13-20, 1992.

MARTINI, P.R.R. **Conversão Pirolítica de Bagaço Residual da Indústria de Suco de Laranja e Caracterização Química dos Produtos**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009. 117p.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. **Bioresource Technology**, v.83, n.1, p.37-46, 2002.

MEIRELLES, P.R.L.; MOCHIUTTI, S.; YOKOMIZO, G.K. Comportamento Produtivo de Forrageiras Cultivadas sob Sombreamento no Cerrado do Amapá. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Embrapa Amapá, n.78, 2005.

MOCHIUTTI, S.; MELÉM JÚNIOR, N.J.; FARIAS NETO, J.T.; QUEIROZ, J.A.L. Taxi-branco (*Sclerolobium gumiferum* Vogel.): leguminosa arbórea para recuperação de áreas degradadas e abandonadas pela agricultura migratória. **Comunicado técnico**, n.28. Macapá: Embrapa Amapá, 1999. 5p.

MÜLLER, M.D.; COUTO, L.; LEITE, H.G.; BRITO, J.O. Avaliação de um clone de eucalipto estabelecido em diferentes densidades de plantio para produção de biomassa e energia. **Biomassa & Energia**, v.2, n.3, p. 177-186, 2005.

NEVES, T. A.; PROTÁSIO, T.P.; TRUGILLO, P.F.; VALLE, M.L.A.; SOUSA, L.C.; VIEIRA, C.M.M. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Rev. Cienc. Agrar.**, v.56, n.2, p.139-148, 2013.

NOGUEIRA, M.F.M.; RENDEIRO, G. Caracterização Energética da Biomassa Vegetal. In: BARRETO, E.J.F. (Coord). **Combustão e Gaseificação da Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações**. 2ªed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S.; TROSSERO, M.A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília: ANEEL, 2000.

NOGUEIRA, M.F.M. Biomassa Energética: Caracterização da Biomassa. Palestra Proferida na I Escola de Combustão, Florianópolis – SC, 2007.

NUTTO, L.; TONINI, H.; BORSOI, G.A.; MOSKOVICH, F.A.; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n.42, p.123-138, 2001.

OLIVEIRA JÚNIOR, V.M. **Crescimento e nutrição mineral de Táxi-branco-de-terra-firme (*Sclerobium paniculatum* Vogel) micorrizadas e adubadas com diferentes fontes de fosfato natural**. 1997. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém, 1997. 77p.

OLIVEIRA, I.R.M. **Características da madeira e rendimento em biomassa de um plantio homogêneo de *Sclerobium paniculatum* com diferentes níveis de adubação**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2005. 39p.

OLIVEIRA, I.R.M.; VALE, A.T.; MELO, J.T.; COSTA, A.F.; GONÇALEZ, J.C. Biomassa e características da madeira de *Sclerobium paniculatum* cultivado em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v.14, n.4, p. 351-357, 2008.

PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. Textbook of wood technology. 3ª ed. New York: McGraw-Hill, 1970.

PÁSCOA, F.; MARTINS, F.; GONZÁLES, R. S.; JOAO, C. Estabelecimento simultâneo de equações de biomassa para o pinheiro bravo. In: SIMPÓSIO IBEROAMERICANO DE GESTIÓN Y ECONOMÍA FORESTAL, Barcelona, 2004. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/242152093_ESTABELECIMENTO_SIMULTNEO_DE_EQUAES_DE_BIOMASSA_PARA_O_PINHEIRO_BRAVO> Acesso em 22 de julho de 2014.

PILAU, F.G. **Saldo de radiação da copa de laranjeira num pomar e de renques de cafeeiros: medidas e estimativas**. 2005. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005. 92p.

POGGIANI, F. Ciclagem e exportação de nutrientes em florestas para fins energéticos. **IPEF**, n.27, p.17-30, 1984.

PROTÁSIO, T.P.; BUFALINO, L.; GUIMARÃES JÚNIOR, M.; TONOLI, G.H.D.; TRUGILHO, P.F. Modelagem do poder calorífico superior em função dos componentes elementares e minerais. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, Vitória – UFES, 2012. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/235466445_Termos_para_indexao_Relao_entre_o_poder_calorifico_superior_e_os_componentes_elementares_e_minerais_da_biomassa_vegetal> Acesso em: 15 de outubro de 2014.

PUNTES, R. S. E. S. **Expansão das Florestas Plantadas com Fins Energéticos no Brasil e sua Influência nas Emissões dos Gases de Efeito Estufa – GEE: Análise de Dois Cenários Futuros**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. 135p.

QUÉNO, L.M.R.; SOUZA, A.N.; ÂNGELO, H.; VALE, A.T.; MARTINS, I.S. Custo de Produção das biomassas de eucalipto e capim-elefante para energia. **Cerne**, Lavras, v.17, n.3, p.417-426, 2011.

QUIRINO, W. F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, n.89, p.100-106, 2005.

QUIRINO, W. F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, v.1, n.2, p.173-182, 2004.

QUIRINO, W.F. **Utilização Energética de Resíduos Vegetais**. (Apostila). Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf>> Acesso em: 12 de janeiro de 2014.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R. *et al.* (Eds.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: [s.n.], p.119-140, 2002.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2006. 561p.

SIDDIQUE, R. Utilization of waste materials and by-products in producing controlled low-strength materials. **Resources, Conservation and Recycling**, v.54, p.1–8, 2009.

SILVA, L.F.G.; LIMA, H.C. Mudanças nomenclaturais no gênero *Tachigali* Aubl. (Leguminosae – caesalpinioideae) no Brasil. **Rodriguésia**, v.2, n.58, p-397-401, 2007.

SMITH, D.M. **Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples**. USDA Forest Products Laboratory, 1954. 8p.

SOARES, C.P.B.; NETO, F. de P.; SOUZA, A.L. de. **Dendrometria e Inventário Florestal**. Viçosa: Ed.UFV, 2006. 278p.

SOUZA, M.M. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L.** 2010. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. 77p. Disponível em: <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/24932/Marina%20Moura_77paginas.pdf?sequence=1>. Acesso em 06 de agosto de 2010.

SOUZA, V.R.; CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posição em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, v.3, p.63-72, 1986.

STURION, J.A.; ALBINO, J.C.; MORITA, M. **Variação da densidade básica da madeira em doze espécies de *Eucalyptus* plantadas em Uberaba, MG.** Curitiba: EMBRAPA/CNPF, 1986. 14p.

THOMPSON, R.M. **Estimativas de volume, biomassa e carbono para o carvoeiro (*Sclerolobium paniculatum*) vog. Var. *Subvelutinum* Benth).** 2009. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009. 64p.

TOMASELLI, I.; MARQUES, L.C.T.; CARPANEZZI, A.A.; PEREIRA, J.C.D. Caracterização da madeira de tachi-branco-da-terra-firme (*Sclerolobium paniculatum* Vogel) para energia. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n.6/7, p. 33-44, 1983.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica em estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus globulus*, *E. pellita* e *E. aacmenoides*. **IPEF**, n.36, p.35-42, 1987.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M.F.; SCHWENGBER, D.; MOURÃO JÚNIOR, M. Avaliação de espécies florestais em área de mata no estado de Roraima. **Cerne**, Lavras, v.12, n.1, p. 8-18, 2006.

VALE, A.T.; MOURA, V.P.G.; MARTINS, I.S.; REZENDE, D.C.A. Densidade básica média em função da profundidade de penetração do “pilodyn” e da classe diamétrica, e variação axial da densidade básica em *Eucalyptus grandis* Rill ex Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.19, n.1, p. 65-69, 1995.

VALE, A. T. **Caracterização da Biomassa Lenhosa de um Cerrado Ssensu Stricto da Região de Brasília para uso energético.** 2000. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de São Paulo, Botucatu, 2000. 111p.

VALE, A.T.; GENTIL, L.V.; GONÇALEZ, J.C.; COSTA, A.F. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), DUKE. **Cerne**, Lavras, v.13, n.4, p. 416-420, 2007.

VERÍSSIMO, A.; CAVALCANTE, A.; VIDAL, E.; LIMA, E.; PANTOJA, F.; BRITO, M. **O setor madeireiro do Amapá – situação atual e perspectivas para o desenvolvimento sustentável.** Macapá: IMAZON, 1999. Disponível em <<http://amazon.org.br/publicacoes/1857/>> Acesso em 23 de abril de 2014.

VIEIRA, A.C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas para geração de energia.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012. 56p.

VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico**, n.2, 1984, 21p.

WATZLAWICK, L.F.; KIRCHNER, F.F.; COUTO, L.C.; SANTOS, R.T. Estimativa de biomassa e carbono em plantios de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze utilizando imagens do satélite Ikonos II. **Biomassa & Energia**, v.1, n.2, p.209-219, 2004.

WATZLAWICK, L.F.; CALDEIRA, M.V.W.; SANQUETTA, C.R. Quantificação de biomassa e carbono orgânico em povoamento de *Pinus taeda* L. no sul do estado do Paraná – Brasil. **Anais.. 3º Simpósio Latino-Americano sobre Manejo Florestal**. Santa Maria, 2004. 465 p.

YARED, J.A.G.; KANASHIRO, M.; CONCEIÇÃO, J.G.L. da. Espécies florestais nativas e exóticas: comportamento silvicultural no planalto do Tapajós-PA. Belém: EMBRAPA-CPATU, Documentos, n.49, 1988. 29 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Análises de variância do plantio de cerrado

Tabela A.1. ANOVA para material volátil

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	23.59191	11.79595	19.56737	
AMBIENTES	6	11.91255	1.98543	3.29346	
TRATxAMB	12	7.23158	.60263	.99966	
TRAT/AMB	14	30.82349	2.20168	3.65219	P=.00056
TRAT/AMB 1	2	5.24807	2.62403	4.3528	P=.01914
TRAT/AMB 2	2	9.79102	4.89551	8.12077	P=.00104
TRAT/AMB 3	2	6.5954	3.2977	5.47029	P=.00774
TRAT/AMB 4	2	.84827	.42413	.70356	P=1.0
TRAT/AMB 5	2	1.64127	.82063	1.36128	P=.26741
TRAT/AMB 6	2	2.5802	1.2901	2.14004	P=.1303
TRAT/AMB 7	2	4.11927	2.05963	3.41656	P=.04219
AMB/TRAT	18	19.14413	1.06356	1.76426	P=.06527
AMB/TRAT 1	6	8.30166	1.38361	2.29516	P=.0526
AMB/TRAT 2	6	6.16136	1.02689	1.70343	P=.14407
AMB/TRAT 3	6	4.68111	.78019	1.29419	P=.2809
RESÍDUO	42	25.3192	.60284		
TOTAL	62	68.0552			
MÉDIA		85.0215873015873			
CV(%)		0.913211003462578			

Tabela A.2. ANOVA para teor de cinzas

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	3.8913	1.94565	108.47905	
AMBIENTES	6	1.01183	.16864	9.40239	
TRATxAMB	12	.3203	.02669	1.48819	
TRAT/AMB	14	4.2116	.30083	16.7726	P=.0
TRAT/AMB 1	2	.97736	.48868	27.24607	P=.0
TRAT/AMB 2	2	1.10509	.55254	30.80694	P=.0
TRAT/AMB 3	2	.77896	.38948	21.71521	P=.0
TRAT/AMB 4	2	.29176	.14588	8.13337	P=.00103
TRAT/AMB 5	2	.33947	.16973	9.46343	P=.0004
TRAT/AMB 6	2	.27216	.13608	7.58697	P=.00154
TRAT/AMB 7	2	.44682	.22341	12.45621	P=.00005
AMB/TRAT	18	1.33213	.07401	4.12626	P=.00008
AMB/TRAT 1	6	.97131	.16189	9.02589	P=.0
AMB/TRAT 2	6	.10472	.01745	.97314	P=1.0
AMB/TRAT 3	6	.2561	.04268	2.37975	P=.04549
RESÍDUO	42	.7533	.01794		
TOTAL	62	5.9767			
MÉDIA		0.58984126984127			
CV(%)		22.7051399237886			

Tabela A.3. ANOVA para poder calorífico superior

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	41361.72222	20680.86111	5.11702	
AMBIENTES	6	31909.38889	5318.23148	1.31588	
TRATxAMB	12	67613.11111	5634.42593	1.39411	
TRAT/AMB	14	108974.83333	7783.91667	1.92596	P=.05121
TRAT/AMB 1	2	35032.05556	17516.02778	4.33396	P=.01944
TRAT/AMB 2	2	2947.72222	1473.86111	.36467	P=1.0
TRAT/AMB 3	2	13735.16667	6867.58333	1.69923	P=.19515
TRAT/AMB 4	2	17920.5	8960.25	2.21702	P=.12152
TRAT/AMB 5	2	14731.16667	7365.58333	1.82245	P=.17418
TRAT/AMB 6	2	22417.05556	11208.52778	2.7733	P=.07391
TRAT/AMB 7	2	2191.16667	1095.58333	.27108	P=1.0
AMB/TRAT	18	99522.5	5529.02778	1.36804	P=.1982
AMB/TRAT 1	6	54288.2381	9048.03968	2.23874	P=.05795
AMB/TRAT 2	6	9957.64286	1659.60714	.41063	P=1.0
AMB/TRAT 3	6	35276.61905	5879.43651	1.45474	P=.21724
RESÍDUO	42	169746.3334	4041.57937		
TOTAL	62	310630.5556			
MÉDIA		4562.55555555556			
CV(%)		1.39337299818953			

Tabela A.4. ANOVA para carbono fixo

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	4.81841	2.4092	3.94548	
AMBIENTES	6	4.04123	.67354	1.10303	
TRATxAMB	12	8.1731	.68109	1.1154	
TRAT/AMB	14	12.99151	.92797	1.5197	P=.14603
TRAT/AMB 1	2	7.51802	3.75901	6.15602	P=.00452
TRAT/AMB 2	2	.44942	.22471	.368	P=1.0
TRAT/AMB 3	2	.69527	.34763	.56931	P=1.0
TRAT/AMB 4	2	.46402	.23201	.37996	P=1.0
TRAT/AMB 5	2	.71582	.35791	.58614	P=1.0
TRAT/AMB 6	2	1.30676	.65338	1.07002	P=.35217
TRAT/AMB 7	2	1.8422	.9211	1.50846	P=.23299
AMB/TRAT	18	12.21433	.67857	1.11128	P=.37537
AMB/TRAT 1	6	2.90758	.4846	.79361	P=1.0
AMB/TRAT 2	6	2.71796	.45299	.74185	P=1.0
AMB/TRAT 3	6	6.58879	1.09813	1.79838	P=.12281
RESÍDUO	42	25.6462	.61062		
TOTAL	62	42.6789			
MÉDIA		14.502380952381			
CV(%)		5.38824777280157			

Tabela A.5. ANOVA para umidade máxima

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	2211.22127	1105.61063	4.30622	
AMBIENTES	6	10715.67777	1785.9463	6.95604	
TRATxAMB	12	3069.55167	255.79597	.99629	
TRAT/AMB	14	5280.77293	377.19807	1.46914	P=.16548
TRAT/AMB 1	2	1848.97529	924.48764	3.60077	P=.03603

TRAT/AMB 2	2	2492.63602	1246.31801	4.85426	P=.01269
TRAT/AMB 3	2	784.08549	392.04274	1.52696	P=.22901
TRAT/AMB 4	2	129.27576	64.63788	.25176	P=1.0
TRAT/AMB 5	2	2.15376	1.07688	.00419	P=1.0
TRAT/AMB 6	2	.55842	.27921	.00109	P=1.0
TRAT/AMB 7	2	23.0882	11.5441	.04496	P=1.0
<hr/>					
AMB/TRAT	18	13785.22944	765.84608	2.98288	P=.00178
AMB/TRAT 1	6	1287.9698	214.66163	.83608	P=1.0
AMB/TRAT 2	6	6996.80285	1166.13381	4.54195	P=.0013
AMB/TRAT 3	6	5500.45679	916.7428	3.5706	P=.00606
<hr/>					
RESÍDUO	42	10783.3913	256.74741		
<hr/>					
TOTAL	62	26779.842			
<hr/>					
MÉDIA		104.181904761905			
CV(%)		15.3801561179129			

Tabela A.6. ANOVA para densidade básica

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	23675,61769	11837,80884	3,78159	
AMBIENTES	6	143441,37524	23906,89587	7,63706	
TRATxAMB	12	36867,04989	3072,25416	,98143	
<hr/>					
TRAT/AMB	14	60542,66758	4324,47626	1,38146	P=,2047
TRAT/AMB 1	2	13828,08996	6914,04498	2,20869	P=,12244
TRAT/AMB 2	2	21021,51287	10510,75643	3,35766	P=,04438
TRAT/AMB 3	2	24034,04416	12017,02208	3,83884	P=,02943
TRAT/AMB 4	2	1394,8874	697,4437	,2228	P=1,0
TRAT/AMB 5	2	13,26936	6,63468	,00212	P=1,0
TRAT/AMB 6	2	5,96882	2,98441	,00095	P=1,0
TRAT/AMB 7	2	244,89502	122,44751	,03912	P=1,0
<hr/>					
AMB/TRAT	18	180308,42513	10017,13473	3,19998	P=,00096
AMB/TRAT 1	6	19663,72719	3277,28787	1,04693	P=,40934
AMB/TRAT 2	6	64182,10311	10697,01719	3,41716	P=,00781
AMB/TRAT 3	6	96462,59483	16077,09914	5,13583	P=,00055
<hr/>					
RESÍDUO	42	131475,8708	3130,37788		
<hr/>					
TOTAL	62	335459,9136			
<hr/>					
MÉDIA		599,014444444445			
CV(%)		9,34030564146759			

Tabela A.7. ANOVA para densidade energética

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	554691.11026	277345.55513	3.99989	
AMBIENTES	6	3169981.72066	528330.28678	7.6196	
TRATxAMB	12	637534.57558	53127.8813	.76621	
<hr/>					
TRAT/AMB	14	1192225.68584	85158.97756	1.22817	P=.29216
TRAT/AMB 1	2	198401.19282	99200.59641	1.43068	P=.25056
TRAT/AMB 2	2	431146.65762	215573.32881	3.10901	P=.05506
TRAT/AMB 3	2	498989.9624	249494.9812	3.59823	P=.03611
TRAT/AMB 4	2	40889.65749	20444.82874	.29486	P=1.0
TRAT/AMB 5	2	8505.05342	4252.52671	.06133	P=1.0
TRAT/AMB 6	2	8044.85162	4022.42581	.05801	P=1.0
TRAT/AMB 7	2	6248.31047	3124.15523	.04506	P=1.0

AMB/TRAT	18	3807516.29625	211528.68312	3.05068	P=.00147
AMB/TRAT 1	6	571993.13006	95332.18834	1.37488	P=.2471
AMB/TRAT 2	6	1295184.72516	215864.12086	3.1132	P=.013
AMB/TRAT 3	6	1940338.44103	323389.74017	4.66394	P=.00108
RESÍDUO	42	2912208.6	69338.3		
TOTAL	62	7274416.0065			
MÉDIA		2733.47603174603			
CV (%)		9.6332165839412			

APÊNDICE B – Análises de variância do plantio de terra-firme

Tabela B.1. ANOVA para material volátil

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	31.32667	15.66333	22.75285	
AMBIENTES	6	17.62159	2.93693	4.26624	
TRATxAMB	12	7.49556	.62463	.90735	
TRAT/AMB	14	38.82222	2.77302	4.02813	P=.00022
TRAT/AMB 1	2	8.60667	4.30333	6.2511	P=.0042
TRAT/AMB 2	2	9.68222	4.84111	7.03229	P=.00232
TRAT/AMB 3	2	8.68222	4.34111	6.30598	P=.00403
TRAT/AMB 4	2	6.78222	3.39111	4.92599	P=.01197
TRAT/AMB 5	2	2.34	1.17	1.69956	P=.19509
TRAT/AMB 6	2	1.94889	.97444	1.4155	P=.25415
TRAT/AMB 7	2	.78	.39	.56652	P=1.0
AMB/TRAT	18	25.11714	1.3954	2.02698	P=.03008
AMB/TRAT 1	6	6.19619	1.0327	1.50012	P=.20175
AMB/TRAT 2	6	8.22476	1.37079	1.99124	P=.08853
AMB/TRAT 3	6	10.69619	1.7827	2.58958	P=.03173
RESÍDUO	42	28.9133	.68841		
TOTAL	62	85.3571			
MÉDIA		84.9857142857143			
CV (%)		0.976288687572263			

Tabela B.2. ANOVA para teor de cinzas

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	1.5527	.77635	39.76423	
AMBIENTES	6	.88984	.14831	7.59621	
TRATxAMB	12	.14063	.01172	.60027	
TRAT/AMB	14	1.69333	.12095	6.19512	P=.0
TRAT/AMB 1	2	.34889	.17444	8.93496	P=.00058
TRAT/AMB 2	2	.24667	.12333	6.31707	P=.00399
TRAT/AMB 3	2	.43556	.21778	11.15447	P=.00013
TRAT/AMB 4	2	.18	.09	4.60976	P=.01549
TRAT/AMB 5	2	.24667	.12333	6.31707	P=.00399
TRAT/AMB 6	2	.12667	.06333	3.2439	P=.04897
TRAT/AMB 7	2	.10889	.05444	2.78862	P=.07292
AMB/TRAT	18	1.03048	.05725	2.93225	P=.00206
AMB/TRAT 1	6	.56571	.09429	4.82927	P=.00085
AMB/TRAT 2	6	.3181	.05302	2.71545	P=.02557
AMB/TRAT 3	6	.14667	.02444	1.25203	P=.30008
RESÍDUO	42	.82	.01952		
TOTAL	62	3.4032			
MÉDIA		0.565079365079365			
CV (%)		24.72707991762			

Tabela B.3. ANOVA para poder calorífico superior

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	38036.90127	19018.45063	4.30891	
AMBIENTES	6	10079.93873	1679.98979	.38063	
TRATxAMB	12	57952.32984	4829.36082	1.09416	
TRAT/AMB	14	95989.23111	6856.37365	1.55341	P=.13423

TRAT/AMB 1	2	9698.0	4849.0	1.09861	P=.34272
TRAT/AMB 2	2	9435.38889	4717.69444	1.06886	P=.35255
TRAT/AMB 3	2	4426.16667	2213.08333	.50141	P=1.0
TRAT/AMB 4	2	8637.72222	4318.86111	.9785	P=1.0
TRAT/AMB 5	2	8155.5	4077.75	.92387	P=1.0
TRAT/AMB 6	2	3980.66667	1990.33333	.45094	P=1.0
TRAT/AMB 7	2	51655.78667	25827.89333	5.85169	P=.00573
<hr/>					
AMB/TRAT	18	68032.26857	3779.57048	.85632	P=1.0
AMB/TRAT 1	6	28319.31619	4719.88603	1.06936	P=.39608
AMB/TRAT 2	6	15699.30952	2616.55159	.59282	P=1.0
AMB/TRAT 3	6	24013.64286	4002.27381	.90677	P=1.0
<hr/>					
RESÍDUO	42	185377.3934	4413.74746		
<hr/>					
TOTAL	62	291446.5632			
<hr/>					
MÉDIA		4537.23492063492			
CV (%)		1.46424070047282			

Tabela B.4. ANOVA para carbono fixo

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	18.83556	9.41778	13.26741	
AMBIENTES	6	18.68857	3.11476	4.38796	
TRATxAMB	12	6.92	.57667	.81239	
<hr/>					
TRAT/AMB	14	25.75556	1.83968	2.59168	P=.00868
TRAT/AMB 1	2	5.64667	2.82333	3.97741	P=.02619
TRAT/AMB 2	2	7.26222	3.63111	5.11537	P=.01027
TRAT/AMB 3	2	5.52667	2.76333	3.89288	P=.02812
TRAT/AMB 4	2	4.64889	2.32444	3.27459	P=.04769
TRAT/AMB 5	2	1.06889	.53444	.75291	P=1.0
TRAT/AMB 6	2	1.30667	.65333	.92039	P=1.0
TRAT/AMB 7	2	.29556	.14778	.20818	P=1.0
<hr/>					
AMB/TRAT	18	25.60857	1.4227	2.00424	P=.03218
AMB/TRAT 1	6	4.46952	.74492	1.04942	P=.40785
AMB/TRAT 2	6	9.04	1.50667	2.12254	P=.07073
AMB/TRAT 3	6	12.09905	2.01651	2.84078	P=.02065
<hr/>					
RESÍDUO	42	29.8134	.70984		
<hr/>					
TOTAL	62	74.2575			
<hr/>					
MÉDIA		14.4507936507937			
CV (%)		5.83027995130881			

Tabela B.5. ANOVA para umidade máxima

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	4673.17107	2336.58553	5.72794	
AMBIENTES	6	19457.32093	3242.88682	7.94967	
TRATxAMB	12	1960.48807	163.37401	.4005	
<hr/>					
TRAT/AMB	14	6633.65914	473.8328	1.16156	P=.33834
TRAT/AMB 1	2	993.13918	496.56959	1.2173	P=.30626
TRAT/AMB 2	2	2337.99329	1168.99665	2.8657	P=.06813
TRAT/AMB 3	2	905.83072	452.91536	1.11028	P=.33894
TRAT/AMB 4	2	1346.41566	673.20783	1.65031	P=.20419
TRAT/AMB 5	2	237.93537	118.96769	.29164	P=1.0
TRAT/AMB 6	2	480.59852	240.29926	.58907	P=1.0
TRAT/AMB 7	2	331.74635	165.87317	.40662	P=1.0
<hr/>					
AMB/TRAT	18	21417.809	1189.87828	2.91689	P=.00216

AMB/TRAT 1	6	5561.1954	926.8659	2.27213	P=.05472
AMB/TRAT 2	6	9556.94395	1592.82399	3.90467	P=.00352
AMB/TRAT 3	6	6299.66963	1049.94494	2.57385	P=.03259
RESÍDUO	42	17132.952	407.92743		
TOTAL	62	43223.9321			
MÉDIA		108.343968253968			
CV (%)		18.6417515545935			

Tabela B.6. ANOVA para densidade básica

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	39441.00596	19720.50298	9.6111	
AMBIENTES	6	130583.0102	21763.83503	10.60695	
TRATxAMB	12	30897.14556	2574.76213	1.25485	
TRAT/AMB	14	70338.15151	5024.15368	2.4486	P=.01271
TRAT/AMB 1	2	5628.02349	2814.01174	1.37145	P=.26486
TRAT/AMB 2	2	20843.20542	10421.60271	5.07913	P=.01058
TRAT/AMB 3	2	7784.8728	3892.4364	1.89704	P=.16264
TRAT/AMB 4	2	14516.8278	7258.4139	3.5375	P=.03803
TRAT/AMB 5	2	2705.01682	1352.50841	.65917	P=1.0
TRAT/AMB 6	2	11553.74082	5776.87041	2.81545	P=.07121
TRAT/AMB 7	2	7306.46436	3653.23218	1.78046	P=.18105
AMB/TRAT	18	161480.15575	8971.11976	4.37222	P=.00004
AMB/TRAT 1	6	46118.4373	7686.40622	3.74609	P=.00455
AMB/TRAT 2	6	76141.8049	12690.30082	6.18482	P=.00016
AMB/TRAT 3	6	39219.91356	6536.65226	3.18574	P=.01151
RESÍDUO	42	86177.5697	2051.8469		
TOTAL	62	287098.7314			
MÉDIA		576.505079365079			
CV (%)		7.85722767979361			

Tabela B.7. ANOVA para densidade energética

FV	GL	SQ	QM	F	
TRATAMENTOS	2	501108.10653	250554.05326	1.14254	
AMBIENTES	6	7510511.09057	1251751.84843	5.70806	
TRATxAMB	12	599135.94687	49927.99557	.22767	
TRAT/AMB	14	1100244.0534	78588.86096	.35837	P=1.0
TRAT/AMB 1	2	92656.70909	46328.35454	.21126	P=1.0
TRAT/AMB 2	2	379955.39727	189977.69863	.86631	P=1.0
TRAT/AMB 3	2	153554.56336	76777.28168	.35011	P=1.0
TRAT/AMB 4	2	274656.1662	137328.0831	.62622	P=1.0
TRAT/AMB 5	2	36138.3446	18069.1723	.0824	P=1.0
TRAT/AMB 6	2	45242.49069	22621.24534	.10315	P=1.0
TRAT/AMB 7	2	118040.3822	59020.1911	.26914	P=1.0
AMB/TRAT	18	8109647.03745	450535.94652	2.05447	P=.02771
AMB/TRAT 1	6	2409135.1789	401522.52982	1.83097	P=.11623
AMB/TRAT 2	6	3473199.49999	578866.58333	2.63967	P=.02912
AMB/TRAT 3	6	2227312.35856	371218.72643	1.69278	P=.14666
RESÍDUO	42	9210409.0478	219295.45352		
TOTAL	62	17821164.1918			
MÉDIA		2689.62063492064			
CV (%)		17.4110028217236			

APÊNDICE C – Valores médios por árvore.

Tabela C.1. Valores de massa seca da madeira do tronco (MST), madeira do galho (MSG), casca do tronco (MCT) e casca do galho (MCG), umidade máxima (Umáx), densidade básica (Db), cada árvore, material volátil (MV), teor de cinzas (CZ), poder calorífico superior (PCS), carbono fixo (CF) e densidade energética (DE), por árvore na área de terra-firme.

CLASSE	ÁRV	MST (kg)	MSG (kg)	MCT (kg)	MCG (kg)	Umáx (%)	Db (kg/m³)	MV (%)	CZ (%)	PCS (kcal/kg)	CF (%)	DE (Gcal/m³)
1	1	12,81	3,19	9,96	0,6	150,11	466,46	85,11	0,68	4579	14,21	2,14
	2	28,88	2,91	15,83	1,03	139,99	488,14	84,89	0,70	4608	14,41	2,25
	3	35,77	15,56	16,52	4,08	133,86	504,24	85,31	0,71	4496	13,98	2,27
2	4	44,29	9,28	28,14	1,72	120,91	539,84	87,15	0,54	4495	12,30	2,43
	5	70,59	21,2	29,1	4,13	130,47	513,52	85,87	0,62	4611	13,51	2,37
	6	50,18	12,47	32,67	3,03	134,84	510,08	84,81	0,64	4527	14,55	2,31
3	7	64,79	15,71	34,7	2,34	129,65	517,16	84,96	0,67	4532	14,37	2,34
	8	93,22	23,1	43,18	3,39	122,62	533,35	84,01	0,63	4553	15,36	2,43
	9	101,44	32,45	45,97	6,2	112,98	565,60	84,27	0,99	4545	14,74	2,57
4	10	113,98	31,59	42,27	5,26	127,21	525,98	85,25	0,57	4524	14,18	2,38
	11	197,58	47,95	70,6	6,22	95,61	622,97	85,23	0,43	4536	14,34	2,83
	12	154,89	39,18	73,58	6,9	100,68	602,33	84,75	0,42	4531	14,83	2,73
5	13	189,7	42,21	86,09	6,88	106,26	583,25	85,46	0,58	4518	13,96	2,63
	14	180,45	65,44	88,01	10,25	116,91	549,93	85,34	0,40	4561	14,25	2,51
	15	209,4	63,07	80,63	9,61	117,63	548,54	85,21	0,52	4476	14,28	2,46
6	16	179,20	46,33	76,63	7,22	96,47	620,19	84,83	0,47	4569	14,70	3,13
	17	190,27	53,53	74,5	8,72	110,60	572,10	83,84	0,35	4547	15,81	2,60
	18	153,47	45,91	93,48	10,85	80,96	684,28	84,29	0,46	4487	15,25	3,70
7	19	301,41	108,47	184,29	19,99	109,01	574,88	84,30	0,52	4512	15,18	2,59
	20	276,5	71,36	206,75	17,12	90,46	644,99	84,44	0,53	4529	15,03	2,92
	21	242,48	109,73	115,16	17,02	91,21	642,86	85,46	0,41	4548	14,13	2,92

Tabela C.2. Valores de massa seca da madeira do tronco (MST), madeira do galho (MSG), casca do tronco (MCT) e casca do galho (MCG), umidade máxima (Umáx), densidade básica (Db), cada árvore, material volátil (MV), teor de cinzas (CZ), poder calorífico superior (PCS), carbono fixo (CF) e densidade energética (DE), por árvore na área de cerrado.

CLASSE	ÁRV	MST (kg)	MSG (kg)	MCT (kg)	MCG (kg)	Umáx (%)	Db (kg/m³)	MV (%)	CZ (%)	PCS (kcal/kg)	CF (%)	DE (Gcal/m³)
1	1	20,92	5,99	11,23	1,20	150,26	468,04	83,98	1,03	4537	14,44	2,12
	2	32,87	6,03	16,39	1,37	125,31	533,91	85,50	0,81	4531	14,52	2,42
	3	53,16	8,48	22,82	1,28	124,33	529,04	83,80	0,70	4584	13,67	2,42
2	4	50,76	2,70	23,40	0,40	140,76	493,96	85,18	0,70	4507	14,59	2,23
	5	82,55	22,83	36,11	4,03	109,28	577,82	85,48	0,66	4543	14,48	2,63
	6	167,73	14,72	94,32	2,59	109,69	575,48	85,24	0,64	4554	14,18	2,62
3	7	107,06	13,69	48,21	2,41	105,79	587,87	85,28	0,61	4606	14,21	2,67
	8	170,74	80,42	18,05	11,88	68,40	757,66	85,01	0,59	4579	14,21	3,46
	9	209,16	57,90	43,30	9,79	70,52	741,58	84,92	0,57	4542	14,50	3,42
4	10	167,33	37,09	74,58	5,51	99,46	608,07	85,14	0,56	4536	14,79	2,77
	11	180,43	41,63	28,45	5,79	120,54	542,03	84,94	0,58	4550	14,92	2,48
	12	285,81	98,45	68,67	12,19	125,79	524,10	85,33	0,60	4569	15,02	2,40
5	13	282,60	122,06	144,72	22,48	100,36	608,76	84,91	0,53	4643	15,10	2,78
	14	243,66	77,52	125,81	15,08	90,72	642,09	84,72	0,59	4606	14,77	2,93
	15	207,81	35,64	68,57	4,66	200,85	511,15	84,58	0,71	4615	14,47	2,33
6	16	204,41	39,06	107,88	5,99	105,94	584,95	85,32	0,70	4510	14,60	2,68
	17	284,89	92,05	134,37	21,40	101,45	601,19	85,61	0,69	4525	14,54	2,77
	18	449,33	171,32	200,68	39,86	109,93	573,11	85,96	0,62	4552	14,67	2,65
7	19	406,60	226,18	178,10	24,93	102,48	597,19	85,85	0,56	4585	14,84	2,67
	20	427,64	186,35	195,56	24,52	105,66	587,98	86,28	0,48	4602	14,97	2,69
	21	433,03	281,05	197,56	33,29	113,34	560,35	85,47	0,49	4575	14,94	2,56