

**DENSIDADE BÁSICA E POTENCIAL ENERGÉTICO DE  
ESPÉCIES LENHOSAS DO CERRADO DO ESTADO DE  
TOCANTINS**

**CARLOS JOSÉ DA SILVA**

Engenheiro Florestal

**TESE DE DOUTORADO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA - UnB**

FACULDADE DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

**DENSIDADE BÁSICA E POTENCIAL ENERGÉTICO DE  
ESPÉCIES LENHOSAS DO CERRADO DO ESTADO DE  
TOCANTINS**

CARLOS JOSÉ DA SILVA

ORIENTADOR: Prof<sup>o</sup>. Dr. AILTON TEIXEIRA DO VALE

TESE DE DOUTORADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

PUBLICAÇÃO: PPG/EFL. TD-049/2014  
BRASÍLIA/DF, DEZEMBO DE 2014

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

DENSIDADE BÁSICA E POTENCIAL ENERGÉTICO DE ESPÉCIES  
LENHOSAS DO CERRADO DO ESTADO DE TOCANTINS

CARLOS JOSÉ DA SILVA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO UM  
DOS REQUISITOS À OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM CIÊNCIAS  
FLORESTAIS.

APROVADA POR:

---

Dr. Ailton Teixeira do Vale (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)  
(Orientador)

---

Dr. Ildeu Soares Martins (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)  
(Examinador interno)

---

Dr. Eder Pereira Miguel (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)  
(Examinador interno)

---

Dr. Thiago Oliveira Rodrigues  
(Fundação de Tecnologia Florestal e Geoprocessamento - FUNTEC)  
(Examinador externo)

---

Dr. Luiz Vicente Gentil (Faculdade de Agronomia e Veterinária - UnB)  
(Examinador externo)

---

Dr. Reginaldo Sérgio Pereira (Departamento de Engenharia Florestal - UnB)  
(Suplente - Examinador interno)

BRASÍLIA-DF, DEZEMBRO DE 2014

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade de Brasília. Acervo 1019410.

Silva, Carlos José da.  
S586d Densidade básica e potencial energético de espécies lenhosas do cerrado do estado de Tocantins / Carlos José da Silva. -- 2014.  
xiv, 66 f. : il. ; 30 cm.

Tese (doutorado) - Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, 2014.  
Orientação: Ailton Teixeira do Vale.  
Inclui bibliografia.

1. Energia. 2. Madeira. 3. Biomassa florestal. 4. Cerrados - Tocantins. I. Vale, Ailton Teixeira do. II. Título.

CDU 631.571

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, C.J. (2014). Densidade básica e potencial energético de espécies lenhosas do cerrado do estado de Tocantins. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Publicação PPG/EFL. TD-049/2014, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 66p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Carlos José da Silva

TÍTULO: Densidade básica e potencial energético de espécies lenhosas do cerrado do estado de Tocantins. GRAU: Doutor; ANO: 2014; ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Tecnologia de produtos florestais.

Concedo à Universidade de Brasília-UnB permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestá-las somente para propósitos acadêmicos e científicos. Reservo outros direitos de publicação, de forma que nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem minha autorização por escrito.

---

Carlos José da Silva

Endereço eletrônico: carlosbioforest@gmail.com

A minha esposa Monica Elisa Bleich

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

- ✓ A Deus por todas as oportunidades a mim concedidas;
- ✓ Ao meu orientador Dr. Ailton Teixeira do Vale, pelos ensinamentos e paciência durante todas as etapas deste trabalho e disciplinas ministradas;
- ✓ A Monica pela compreensão, apoio e ajuda sempre que precisei;
- ✓ Ao Dr. Eder Pereira Miguel pela ajuda em laboratório e análise dos dados do capítulo 1;
- ✓ Aos professores do programa pela troca de conhecimento;
- ✓ Ao pessoal da secretaria e motoristas pela ajuda e pelo bom atendimento;
- ✓ Aos funcionários do LPF (Luciandro, Bruno e Lucélia), pela ajuda no laboratório;
- ✓ Aos colegas de pós Fábio e Giordano pela ajuda e parceria nos trabalhos em grupo;
- ✓ A CAPES pela bolsa de estudos;
- ✓ A UFERSA por ter me liberado na reta final deste trabalho.

**Muito Obrigado!**

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO GERAL.....	xiii
GENERAL ABSTRACT.....	xiv
INTRODUÇÃO GERAL.....	01
OBJETIVOS.....	02
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	03
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>04</b>
RESUMO.....	05
ABSTRACT.....	06
<b>1.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>07</b>
<b>1.2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>09</b>
1.2.1 Área de estudos.....	09
1.2.2 Procedimentos metodológicos.....	10
<b>1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>14</b>
1.3.1 Densidade básica entre as posições base, meio e topo do tronco e entre galhos grossos, médios e finos.....	18
1.3.2 Densidade básica do tronco em função da densidade básica dos galhos.....	21
<b>1.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>27</b>

<b>1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>34</b>
RESUMO.....	35
ABSTRACT.....	36
<b>2.1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>37</b>
<b>2.2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
2.2.1 Área de estudos.....	39
2.2.2 Procedimentos metodológicos.....	40
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>2.4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>58</b>
<b>2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>



# LISTA DE TABELAS

## CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Listagem das famílias com respectivas espécies e número de indivíduos do bioma cerrado do estado de Tocantins.....	11
Tabela 2 - Densidades básica da madeira de 34 espécies arbóreas de Cerrado em Tocantins.....	16
Tabela 3 - Resultado da relação da densidade da madeira entre partes do tronco e entre partes do galho das espécies arbóreas de Cerrado em Tocantins.....	19
Tabela 4 - Resultado da relação da densidade da madeira entre partes do tronco e partes do galho de espécies arbóreas de Cerrado em Tocantins.....	19
Tabela 5 - Ajuste do modelo para estimar a densidade do tronco (DT) em função da densidade dos galhos.....	24

## CAPÍTULO 2

Tabela 1 - Análise imediata da madeira de 34 espécies lenhosas do Cerrado do Estado de Tocantins.....	47
Tabela 2 - Dados com a densidade básica (DB), Poder calorífico superior (PCS) e densidade energética (DE) de 34 espécies arbóreas do Cerrado do Estado de Tocantins.....	49
Tabela 3 - Relação entre as variáveis Carbono Fixo (CF), Poder Calorífico Superior (PCS), Cinzas (CZ) e Material Volátil (MV) de espécies arbóreas do	

Cerrado.....	51
Tabela 4 - Relação entre as variáveis densidade básica ( $\rho_b$ ), Poder Calorífico Superior (PCS), Cinzas (CZ) e Material Volátil (MV) de espécies arbóreas de Cerrado de Tocantins.....	53
Tabela 5 - Ajuste do modelo para estimar a densidade energética (DE) em função da densidade básica da árvore.....	57

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1

Figura 1 - Localização da área amostrada no Parque estadual do Lajeado, município de Palmas estado do Tocantins.....	10
Figura 2 - Variação axial da densidade básica de madeira de tronco de <i>Saglocottis guianensis</i> , <i>Aspidosperma subincanum</i> e <i>Myrsia spends</i> .....	17
Figura 3 - Densidade da madeira de galhos grosso, médio e fino para espécies de cerrado.....	18
Figura 4 - Relação da densidade ( $\text{kg/cm}^3$ ), entre partes do tronco e entre partes do galho de espécie arbóreas de Cerradão em Tocantins.....	20
Figura 5 - Relação da densidade ( $\text{kg/cm}^3$ ) entre partes do tronco e partes do galho de espécie arbóreas de Cerradão em Tocantins.....	21
Figura 6 - Matriz de correlação de Scatterplots para as variáveis galho fino (G.F), galho médio (G.M), galho grosso (G.G) e média dos galhos (M.G) em função da variável densidade do tronco.....	23
Figura 7 - Densidade básica média da madeira do tronco em função da	

densidade básica do galho fino (< 3cm) para as 34 espécies lenhosas que ocorrem no Tocantins (A) e distribuição dos resíduos (B).....	24
Figura 8 - Densidade básica média da madeira do tronco em função da densidade básica do galho médio (3 a 10 cm) para as 34 espécies lenhosas que ocorrem no Tocantins (A) e distribuição dos resíduos (B).....	25
Figura 9 - Densidade básica média da madeira do tronco em função da densidade básica do galho grosso (> 10cm) para as 34 espécies lenhosas que ocorrem no Tocantins (A) e distribuição dos resíduos (B).....	25
Figura 10 - Densidade básica média da madeira do tronco em função da densidade básica média dos galhos para as 34 espécies lenhosas que ocorrem no Tocantins (A) e distribuição dos resíduos (B).....	26

## **CAPÍTULO 2**

Figura 1 - Mapa da área amostrada no Parque estadual do Lajeado, município de Palmas estado do Tocantins.....	40
Figura 2 - Peneiramento do material (A); Material utilizado para análises, imediata e PCS (B e C); Estufa utilizada para secagem do material (D); Bomba calorimétrica utilizada para análise de poder calorífico (E).....	42
Figura 3 - Mufla utilizada para análise do material volátil e cinzas.....	42
Figura 4 - Densidade energética de 34 espécies arbóreas do cerrado de Tocantins.....	51
Figura 5 - Relação entre as variáveis Carbono fixo, Cinzas, Material Volátil e Poder Calorífico Superior de espécies arbóreas do Cerrado no Tocantins.....	52
Figura 6 - Relação entre poder calorífico superior e densidade básica de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.....	53
Figura 7 - Relação entre poder calorífico superior e densidade energética de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.....	54

Figura 8 - Relação entre densidade energética e teor de material volátil (MV) de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.....	54
Figura 9 - Relação entre densidade energética e teor de carbono fixo (CF) de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.....	55
Figura 10 - Relação entre densidade energética e teor de cinzas (cz) de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.....	55
Figura 11 - Distribuição dos resíduos de acordo com o modelo ajustado para determinação da densidade energética em função da densidade básica da árvore	57

## RESUMO GERAL

A proposta deste trabalho foi estimar a densidade básica média de um povoamento florestal a partir de uma amostragem dos galhos, visando manter a integridade do tronco e permitindo estimativa da biomassa seca. O estudo também determinou o potencial energético das espécies arbóreas da fitofisionomia Cerradão no domínio de Cerrado no Estado de Tocantins, em uma área de 10,15 hectares. Foram abatidos 80 indivíduos pertencentes a 34 espécies arbóreas, e de cada indivíduo abatido foram coletados amostras na forma de discos com 5 cm de espessura, em três posições do tronco (base, meio e topo) e em três espessuras dos galhos (galho grosso: diâmetro maior que 10 cm; galho médio: de 3 a 10 cm; e galho fino: menor que 3 cm). A massa seca e a massa saturada das amostras foram obtidas para a determinação da densidade básica. O material foi moído, classificado abaixo de 60 mesh, secado e pesado antes de serem realizadas a análise imediata e poder calorífico. Determinou-se também a densidade energética. Entre as espécies arbóreas analisadas, 41% apresentaram média densidade da madeira. As espécies que apresentaram alta e baixa densidade no tronco tiveram o mesmo comportamento em seus galhos. O modelo para estimar a densidade do tronco utilizando a densidade do galho, foi o modelo com dados de galhos médios. A espécie que apresentou o maior potencial energético foi a *Emmotum nitens* e a que apresentou menor potencial foi a espécie *Vochysia gardineri*, dados da análise imediata e poder calorífico superior mostraram-se próximos aos da literatura para espécies exóticas e para espécies do cerrado brasileiro, com o modelo ajustado pode-se calcular a densidade energética das espécies em função da densidade básica das mesmas. O conhecimento do potencial energético das espécies nativas analisadas permite avançar nas pesquisas para eventuais melhorias na qualidade da madeira de espécies voltadas para a produção energética florestal sustentável.

Palavras-Chave: energia, madeira, métodos.

## GENERAL ABSTRACT

The aim this study was to estimate the average basic density of tree species from a sample of branches in order to maintain the integrity of the trunk and allowing estimation of dry biomass. The study also determined the energy potential of tree species of Cerradão physiognomy in the Cerrado domain in Tocantins State, in an area of 10.15 hectares. We cut 80 individuals belonging to 34 tree species; samples of each individual cut specimens were collected in the form of disks with 5 cm thick, in three positions of the trunk (base, middle and top) and three thicknesses of branches (thick branch: diameter greater than 10 cm, medium branch: 3 to 10 cm, and twig: less than 3 cm). The dry weight and wet weight of samples were determined for analysis of the density and energy density. The material was ground, classified below 60 mesh, dried and weighed before the immediate analysis and calorific power analyzes are carried out. Between tree species analyzed, 41% had medium density wood. The species showing high and low density in the trunk had the same behavior in their branches. The model to estimate the density of the trunk using the density of the branch, was the model with data for average branches. By variability in energy density, higher calorific power and immediate analysis of the studied species can indicate them for genetic improvement programs for selection of arrays for energy production. The species that presented the greatest energy potential was *Emmotum nitens* and the one with less potential was *Gardiner Vochysia* species, immediate analysis of data and gross calorific value proved to be close to those reported alien species and species of the Brazilian Cerrado, with the adjusted model may calculate the energy density of the species as a function of the density thereof. Knowledge of the energy potential of the analyzed native species allows progress in research for possible improvements in the quality of wood species facing sustainable forest energy production.

Key words: energy, wood, methods.

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas o consumo de energia cada vez maior dos recursos não renováveis tem alertado instituições de pesquisa para a busca de fontes renováveis visando o equilíbrio ambiental e econômico. Nesse sentido a madeira tem se destacado como uma fonte energética importante e vem sendo utilizada ao longo do desenvolvimento da humanidade como uma das principais fontes de energia (CINTRA, 2009). Souza (2010) diz que atualmente, devido às questões ambientais, discute-se e defende-se muito o uso de fontes energéticas renováveis em comparação aos recursos não renováveis. Não apenas aspectos ambientais, mas características como disponibilidade, qualidade, utilização de mercado de carbono e tecnologias disponíveis fazem com que a energia produzida por biomassa seja viável tanto nos quesitos econômicos quanto ecológicos e sociais.

A região do cerrado, antes erroneamente considerada como uma área pobre, tem se mostrado, apesar das limitações químicas e físicas de seus solos, como importante provedora na crescente demanda por bens de consumo de origem vegetal, animal ou agroindustrial. No entanto, ainda são insuficientes os estudos relativos às plantas nativas (GOULART *et al.*, 2011).

O Cerrado brasileiro por ser um domínio de grande extensão territorial no país apresenta espécies com potencial energético relevante o que o tornou bastante explorado nesse sentido, sendo a grande demanda por carvão vegetal para suprir as indústrias siderúrgicas um dos fatores que contribuem para o seu desmatamento. Segundo Vale *et al.* (2002), o cerrado ocupa praticamente um quarto do território brasileiro, é fonte da lenha nativa para a geração de calor e, talvez, o maior fornecedor de combustível para o cozimento no meio rural o que o situa como um dos biomas de grande importância social.

De acordo com Costa (2011), na tentativa de diminuir o impacto ambiental ocasionado, tornando assim possível o plano de manejo sustentável da floresta, pesquisas fomentadas com espécies nativas fornecem informações sobre os recursos florestais disponíveis evidenciando assim a potencialidade das espécies de cada domínio. Brito (2007) diz que torna-se necessário, dar um valor econômico à floresta, a fim de preservá-la, o que pode ser alcançado com a produção de madeira para energia, numa atividade contínua, planejada, sustentada e rentável, mantendo equilibrada a relação entre a proteção do recurso natural e a ordem econômica.

Na avaliação da madeira como matéria prima para produção de energia deve-se levar em consideração várias características, além da sua composição química, elementar e imediata. A densidade básica, o teor de umidade, o poder calorífico superior são outras propriedades a serem devidamente consideradas. De acordo com Ferreira (1972) métodos não destrutivos vêm sendo utilizados na determinação da densidade básica como uma alternativa para estudar as variações populacionais, as variações dentro e entre indivíduos de uma população. O método não destrutivo torna-se uma ferramenta importante para estudos em áreas de matas nativas e protegidas uma vez que não há a necessidade de derrubada da árvore para obtenção dos dados. Segundo Trugilho (2008), a madeira, que é um importante e estratégico insumo energético, deveria ser mais valorizada nos balanços energéticos, estaduais, municipais e nacional.

## **2.Objetivos**

Analisar a densidade básica da madeira de tronco e galhos de 34 espécies florestais do bioma Cerrado do estado de Tocantins com vistas a elaboração de equações para estimativa da densidade básica da madeira do tronco em função da densidade básica da madeira dos galhos.

Determinar o potencial energético de 34 espécies arbóreas do Cerrado no Estado de Tocantins a partir de suas características por meio de análise imediata, poder calorífico superior e densidade energética.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COSTA, T. G. 2011. **Propriedades da madeira de espécies do Cerrado Mineiro e sua potencialidade para geração de energia**. Dissertação de mestrado, Lavras: UFLA, 75p.

FERREIRA, M. 1972. Variação da densidade básica da madeira de Povoamentos comerciais de *eucalyptus grandis hill ex Maiden* nas idades de 11, 12, 13, 14 e 14 anos. **IPEF**, n. 4, p. 65-89.

GOULART, S. L.; MORI, F. A.; RIBEIRO, A. O. Couto, A. M.; ARANTES, M. D. Ch.; MENDES, L. M. 2012. Análises químicas e densidade básica da madeira de raiz, fuste e galho 59 de barbatimão [*stryphnodendron adstringens*] coville] de bioma cerrado. Lavras, **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 59-66.

SOUZA, M. M. 2010. Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda L.* Curitiba:UFPR, **Disseratação de mestrado**, 76p.

TRUGILHO, P. F. **Energia da biomassa florestal**. Lavras, MG: UFLA, 2008. 17p.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. 2002. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80.

# Capítulo 1

## **DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA DE 34 ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO DO ESTADO DE TOCANTINS**

## RESUMO

SILVA, C. J. Universidade de Brasília (UnB), 2014. **Densidade básica da madeira de 34 espécies arbóreas do cerrado do estado de Tocantins.** Orientador: Ailton Teixeira do Vale.

A densidade da madeira é influenciada pela espessura da parede celular, tamanho da célula, a interação entre estes dois parâmetros e pela presença de substâncias extratáveis. Outros fatores indiretos influenciam a densidade da madeira, tais como idade, procedência, índice de sítio, topografia, posição no tronco, entre outros fatores. O conhecimento desta variável é importante para a exploração sustentável de madeira, assim como a utilização de novas técnicas e métodos para facilitar os levantamentos do potencial madeireiro da floresta. O objetivo desse estudo foi analisar a densidade básica de 34 espécies arbóreas do bioma cerrado no Estado de Tocantins, e estabelecer a relação entre a densidade básica da madeira dos troncos em função da densidade básica da madeira dos galhos. Foram abatidos 80 indivíduos pertencentes a 34 espécies arbóreas em uma área de 10,15 hectares de Cerrado no Estado de Tocantins. Amostras de cada indivíduo abatido foram coletadas na forma de discos com 5 cm de espessura, em três posições do tronco (base, meio e topo) e em três espessuras dos galhos (galho grosso: diâmetro maior que 10 cm; galho médio: de 3 a 10 cm; e galho fino: menor que 3 cm). As amostras foram pesadas em balança analítica (sensibilidade de 0,01 gramas), em seguida colocadas em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$  até massa constante, obtendo a massa seca a 0% de umidade. De posse dos dados úmidos e secos, determinou-se o teor de umidade máximo e a densidade básica. As espécies da região estudada apresentaram  $650\text{kg/m}^3$  de valor médio para a densidade básica da madeira. A densidade básica para a maioria das espécies (58%) decresceu da base para o topo do tronco e o restante teve comportamento diferenciado em função da presença de galhos. A densidade básica da madeira entre posições axiais do tronco e a densidade básica entre galhos de diferentes diâmetros apresentaram relação significativa para as espécies analisadas, exceto para o galho grosso que não apresenta relação significativa em relação ao galho fino e médio. De acordo com os modelos propostos para estimar densidade do tronco em função da densidade de galho grosso, médio e fino, a variável densidade do galho médio (diâmetro de 3-10 cm) apresentou o melhor ajuste na equação, em seguida a densidade do galho fino e galho grosso. Os valores determinados devem ser considerados como uma importante ferramenta para melhorar as estimativas de estoque de carbono arbóreo em áreas de cerrado.

Palavras-Chave: massa específica, árvores, galhos.

## ABSTRACT

The wood density is essentially influenced by cell wall thickness, cell size and, interaction between these two parameters and the presence of extractable substances. Other indirect factors influencing the wood density, such as age, origin, site index, topography, position in the trunk, and other factors. Knowing the wood density is important for sustainable exploitation of timber, as well as the use of new techniques and methods to facilitate surveys of timber potential of the forest. The aim this study was to analyze the basic density of 34 tree species in the Cerrado biome in the state of Tocantins, and establish the relationship between the basic density of wood trunks and basic density of wood branches. We cut 80 individuals belonging to 34 tree species in an area of 10.15 hectares of Cerrado in the State of Tocantins; samples of each individual cut specimens were collected in the form of disks with 5 cm thick, in three positions of the trunk (base, middle and top) and three thicknesses of branches (thick branch: diameter greater than 10 cm, medium branch: 3 to 10 cm, and twig: less than 3 cm). The samples were weighed on an analytical balance (sensitivity 0.01 grams), then placed in an oven at  $103 \pm 2$  ° C to constant weight, obtaining the dry mass at 0% humidity. Through wet and dry weights, we determine the maximum humidity content and basic density. The species had average  $650 \text{ kg/m}^3$  of wood basic density. The basic density for most species (58%) decreased from the bottom to the top of the trunk and the remainder had a different behavior due to the presence of branches. The basic wood density between axial positions of the trunk and the basic density between branches of different diameters showed a significant relationship for the analyzed species, except for the thick branch that has no significant relationship with respect to fine and medium branch. According to proposed models to estimate stem density as a function of the density of the branch, the medium branch density variable produced the best fit in the equation, then the twig and thick branch density. These values should be considered as an important tool to improve the estimated of carbon stock in Cerrado areas.

Key words: density, trees, branches.

## 1.1. INTRODUÇÃO

A grande diversidade de formas de vida vegetal nas florestas tropicais é condicionada pelo clima quente e úmido (PRINGLE, 1997), e o fato do bioma cerrado situar-se numa área de contato com zonas climáticas distintas, lhe proporciona um aspecto ecológico único, bem como fisionomias peculiares (IBGE, 2012).

A influência das condições ambientais, na estrutura da comunidade e suas populações, podem ser compreendidas por meio de parâmetros quantitativos de abundância, como a densidade, área basal, volume e carbono (FELFILI *et al.*, 2011).

A biomassa florestal e a energia estão distribuídas nos compartimentos aéreos e subterrâneos das espécies florestais, em diferentes porcentagens, sendo que na caracterização da madeira, a determinação de sua densidade, ou da massa específica, e principalmente de sua variação dentro da árvore, tanto na direção radial, da medula para a casca, quanto no sentido base/topo, é fundamental como subsídio ao entendimento de sua qualidade (OLIVEIRA *et al.*, 2005).

A densidade básica da madeira é uma das propriedades físicas mais importantes e representa uma relação da massa com o respectivo volume ou, de forma inversa, do volume de poros (espaços) vazios existentes na madeira. Em geral, madeiras de maior densidade correspondem a um alto valor energético, pois isso está diretamente relacionada à quantidade de celulose e lignina que as constituem (SILVA *et al.*, 2009) e a maior resistência mecânica (elasticidade) e dureza em relação às leves (OLIVEIRA *et al.*, 2012).

Valério *et al.* (2008) relatam que a densidade da madeira é influenciada por vários fatores e varia significativamente em função da idade, procedência, local de origem, espaçamento, taxa de crescimento entre gêneros e espécies. O conhecimento desta variável é importante para a exploração racional de madeira, assim como a utilização de novas técnicas e métodos para facilitar os levantamentos do potencial madeireiro da floresta.

Para os propósitos da tecnologia da madeira utiliza-se a medida da densidade absoluta ou relativa em substituição a massa específica (COSTA, 2006). A densidade absoluta pode ser classificada em real ou aparente, sendo que a densidade aparente é determinada em função do volume total da amostra, incluindo-se o volume dos poros; e na determinação da densidade real ou da parede celular, subtrai-se o volume dos poros. A densidade aparente, por sua vez, pode ser classificada como básica ou a uma dada umidade.

A densidade básica é sempre uma medida da densidade aparente na madeira (TRUGILHO *et al.*, 1990), e pode ser determinada pela relação entre a massa seca a 0% de umidade e o volume verde, ou pela relação com o máximo teor de umidade. A densidade básica apresenta variações devido a diferenças na estrutura e a presença de substâncias extrativas na madeira, sendo que a estrutura é caracterizada pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células (COSTA, 2006).

A densidade básica da madeira é um importante parâmetro para avaliação da qualidade da madeira, sendo uma variável complexa, pois resulta da combinação de diversos fatores como dimensão das fibras, espessura da parede celular, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira do cerne e alborno e arranjo dos elementos anatômicos (FOELKEL *et al.*, 1971 *apud* SILVEIRA *et al.*, 2013).

São utilizados dois métodos para a retirada de amostras no tronco para a determinação da densidade básica da madeira; destrutivo e não-destrutivo. No método destrutivo para a retirada das amostras é necessária a derrubada das árvores. No método não destrutivo, apenas pequenas inserções e, ou, pequenas quantidades de amostras são retiradas da árvore sem a necessidade de abate das mesmas (COSTA, 2006). Amaral *et al.* (1977) relatam a necessidade de estudos visando estabelecer relações entre a densidade básica da madeira de uma amostra não destrutiva ao nível do DAP, e a densidade da madeira de secções transversais da árvore.

A densidade básica além de ser indicadora da qualidade da madeira, pode ser um parâmetro importante para a avaliação econômica da floresta, podendo, para fins práticos, detectar o uso final da madeira (SILVA FILHO *et al.*, 1992), como rendimento em celulose, rendimento em massa, resistências físico-mecânicas e produção de carvão vegetal (COSTA, 2006).

Além disso, a densidade básica permite expressar a produtividade da floresta em termos de matéria seca por unidade de área e determinar o tipo de prática a ser aplicada em função do produto final, e evidenciar o potencial de seleção de espécies para melhoramento florestal (COSTA, 2006). É uma das características que melhor expressa as propriedades funcionais da madeira como foi ressaltado nos trabalhos de Jati *et al.* (2014), Williamson e Wiemann (2011), Preston *et al.* (2006), Muller-Landau (2004), Bowyer *et al.* (2003), Ribeiro e Zani Filho (1993) e Sih (1974).

Do ponto de vista tecnológico, a avaliação da qualidade da madeira com base na densidade é muito útil, sendo um excelente indicador das propriedades da madeira (VALE *et al.*, 1999). Contudo, o entendimento das variações da densidade da madeira em função das espécies e ambientes vem sendo um instrumento chave para a

transformação de dados de volume de madeira em biomassa (CHAVE *et al.*, 2006; JATI *et al.*, 2014). Para esses autores, estudos com esse enfoque tornam-se de grande importância, uma vez que resultam em dados que reforçam o conhecimento da dinâmica dos estoques de carbono terrestres regionalizados, os quais darão suporte científico nos acordos internacionais sobre mudanças climáticas globais, mas este tema é pouco investigado em áreas de savanas (JATI *et al.*, 2014).

Na estimativa da biomassa seca pelo método indireto duas atividades devem ser desenvolvidas; o inventário florestal, onde a estimativa do volume de madeira verde é estabelecida e a determinação da densidade básica média da madeira. A proposta deste trabalho é a estimativa da densidade básica média do povoamento a partir de uma amostragem nos galhos. Desta forma a integridade do tronco é mantida e a estimativa da biomassa seca garantida.

Desse modo, o objetivo deste estudo foi analisar a densidade básica de 34 espécies arbóreas do bioma Cerrado no estado de Tocantins, e estabelecer a relação entre a densidade dos troncos em função da densidade dos galhos.

## **1.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **1.2.1 Área de estudo**

As amostras de madeira para elaboração deste trabalho foram coletadas de árvores abatidas em uma área de 10,15 hectares de cerrado no Parque Estadual do Lajeado (Figura 1). O Parque Estadual do Lajeado está localizado na região centro-oeste do Estado do Tocantins, próximo a cidade de Palmas, e tem uma área de nove mil hectares de Cerrado (COLEN *et al.*, 2007). O clima predominante na região é do tipo C2wA'a', úmido e subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, caracterizado pela ocorrência de duas estações, sendo uma estação seca de maio a setembro e uma estação chuvosa de outubro a abril (ALVARES *et al.*, 2014). A área em estudo apresenta domínio edáfico com cobertura detrito-laterítica recobrando as rochas sedimentares.

A área de cerrado estudada apresenta espécies com porte superior aos registrados em outros estudos com cerrado, possivelmente pela proximidade com o bioma amazônico (MIGUEL, 2014), sendo predominantes as espécies *Myrcia splendens*, *Emommotum nitens* e *Qualea parviflora* (MIGUEL, 2014; RATTER *et al.*, 1971).

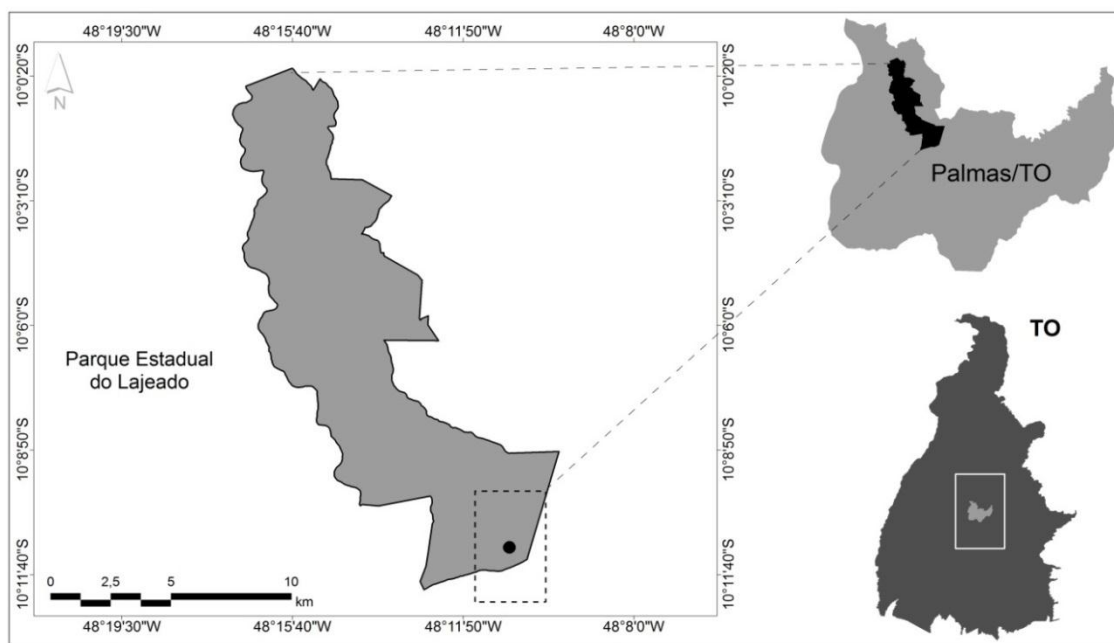


Figura 1. Localização da área amostrada no Parque estadual do Lajeado, município de Palmas estado do Tocantins. Fonte: Miguel (2014).

### 1.2.2 Procedimentos metodológicos

Foram abatidos 80 indivíduos pertencentes a 34 espécies arbóreas do cerrado. O número de indivíduos abatidos para cada espécie (Tabela 1) foi determinado a partir do inventário florestal, onde foi definido que aproximadamente 3% das árvores com DAP > 5 cm, ou pelo menos um indivíduo de cada espécie seria coletado, mediante autorização da Agência Ambiental do Estado do Tocantins - NATURATINS (MIGUEL, 2014). De cada indivíduo abatido foram coletados amostras na forma de discos com 5 cm de espessura, em três posições do tronco (base, meio e topo) e em três diâmetros dos galhos (galho grosso: diâmetro maior que 10 cm; galho médio: de 3 a 10 cm; e galho fino: menor que 3 cm).

Estas amostras do tronco e galho, na condição verde foram pesadas em balança analítica (sensibilidade de 0,01 gramas), em seguida colocadas em estufa a  $103\pm 2$  °C até massa constante, obtendo a massa seca a 0% de umidade. De posse



dos dados úmidos e secos, determinou-se o teor de umidade máximo e a densidade básica. O teor da umidade da madeira (TU) foi calculado segundo Vital (1997) e norma ABNT NBR 7190 em função da relação entre a massa úmida ( $M_u$ ) e a massa seca a 0% de umidade, conforme Equação 01. A densidade básica ( $\rho_b$ ) foi determinada pelo método do máximo teor de umidade (VITAL, 1984; SMITH, 1954), conforme Equação 02.

Equação 01

$$TU = \frac{M_U - M_{0\%}}{M_{0\%}} 100$$

Equação 02

$$D_b = \frac{1}{\frac{M_{SAT}}{M_{0\%}} - 0,346}$$

Tabela 1. Listagem das famílias com respectivas espécies e número de indivíduos do bioma cerrado do estado de Tocantins.

Nº	Família	Espécie	Nº de indivíduos
1	Apocynaceae	<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	1
2	Malpighiaceae	<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	1
3	Malpighiaceae	<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss	1
4	Malpighiaceae	<i>Byrsonima sericea</i> A.Juss. B	2
5	Annonaceae	<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.)	1
6	Fabaceae	<i>Bowdichia virgiloides</i> Kunth.	1
7	Connaraceae	<i>Connarus perrottetti</i> (DC.) Planch	1
8	Connaraceae	<i>Connarus suberosus</i> Planch	1

Continuação...

9	Fabaceae	<i>Dalbergia densiflora</i> Benth.	1
10	Icacinaceae	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers.	7
11	Rubiaceae	<i>Ferdinandusa elliptica</i> Pohl. Pl. Bras.	1
12	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	1
13	Apocynaceae	<i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce ex Mull. Arg.)	1
14	Fabaceae	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	1
15	Chrysobalanaceae	<i>Licania apetala</i> (E. Meyer) Fritsch.	1
16	Euphorbiaceae	<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	1
17	Euphorbiaceae	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	2
18	Sapindaceae	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	1
19	Lauraceae	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taub.	2
20	Melastomataceae	<i>Miconia albicans</i> (Swartz)	5
21	Melastomataceae	<i>Miconia cuspidata</i> Mart. Ex Naudin.	3
22	Myrtaceae	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.)DC.	8
23	Ochnaceae	<i>Ouratea ovallis</i> (Pohl) Engl.	2
24	Fabaceae	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth.	2
25	Fabaceae	<i>Parkia platycephala</i> Benth.	1
26	Burseraceae	<i>Protium heptaphyllum</i> Mart.	4
27	Vochysiaceae	<i>Qualea parviflora</i> Mart.	2
28	Humiriaceae	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	2
29	Sapotaceae	<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	5
30	Fabaceae	<i>Tachigali vulgaris</i> L. G. Silva & H. C. Lima.	4
31	Anacardiaceae	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	4
32	Myristicaceae	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	2
33	Vochysiaceae	<i>Vochysia gardineri</i> Warm.	1
34	Annonaceae	<i>Xylopia aromática</i> (Lam.) Mart.	7

Utilizou-se de análise de variância (ANOVA), e regressões simples (pacote Stats), implementado na linguagem R (R Development Core Team, 2011). A partir da análise de variância foi testada a variável densidade básica de madeira de tronco, para

os tratamentos base meio e topo e também para os tratamentos galho grosso, médio e fino. A estimativa da densidade básica do tronco em função da densidade básica do galho foi feita com auxílio de análise de regressão para dois cenários. O primeiro considerou-se todas as árvores de todas as famílias e espécies encontradas no local, considerando as 34 árvores como repetição (espécies com uma árvore considerou-se uma repetição, espécies com mais de uma árvore considerou-se como repetição a média entre elas). No segundo cenário foram consideradas apenas aquelas espécies que apresentaram mais de três árvores e estas foram consideradas como repetição, a saber: *Emmotum nitens* (7 indivíduos), *Miconia albicans* (5 indivíduos), *Myrcia splendens* (8 indivíduos), *Protium heptaphyllum* (4 indivíduos), *Pouteria ramiflora* (5 indivíduos), *Tachigali vulgaris* (4 indivíduos) e *Tapirira guianensis* (4 indivíduos).

A escolha da equação que melhor explica a estimativa da densidade básica da madeira do tronco da árvore em função da densidade básica da madeira dos galhos seguiu os métodos tradicionais utilizados na verificação da regressão linear na sequência de importância de acordo Draper e Smith (1981): Análise gráfica dos resíduos (%) e comportamento do modelo ajustado em relação a densidade básica real; Erro-padrão da estimativa absoluto e em percentagem ( $S_{yx}m^3$ ;  $S_{yx}\%$ ); Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2aj.$ ); e valor “F” de Fischer.

A equação proposta considerada foi:

$$D_{BMT} = \beta_0 + \beta_1 * D_{BMG}$$

Onde:

$D_{BMT}$  = Densidade básica média do tronco ( $kg/m^3$ )

$\beta_0 + \beta_1$  = Coeficientes a serem ajustados

$D_{BMG}$  = densidade básica média do galho ( $kg/m^3$ )

### 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As espécies estudadas (Tabela 2) apresentaram 650 kg/m<sup>3</sup> de valor médio para a densidade básica da madeira para o povoamento. Entre as espécies, 6 apresentaram baixa densidade (abaixo de 559 kg/m<sup>3</sup>), 21 espécies apresentaram média densidade (entre 561 kg/m<sup>3</sup> e 720 kg/m<sup>3</sup>) e 7 espécies podem ser classificadas como madeira pesada, densidade maior que 730 kg/m<sup>3</sup>. São elas *Miconia cuspidata* (845 kg/m<sup>3</sup>), *Emmotum nitens* (841 kg/m<sup>3</sup>) e *Bowdichia virgiloides* (827 kg/m<sup>3</sup>). As espécies de menor densidade foram *Connarus perrottetti* (453 kg/m<sup>3</sup>) e *Vochysia gardineri* (352 kg/m<sup>3</sup>) (Tabela 2).

Os resultados dos estudos de Silveira *et al.* (2013), Coradin *et al.* (2010), Vale *et al.* (2005), Vale *et al.* (2002) e Melo *et al.* (1990), com densidade da madeira, permitem classificar as madeiras de baixa densidade, aquelas que apresentam valores abaixo de 0,550 g/cm<sup>3</sup>, média densidade aquelas com densidade da madeira entre 0,550 e 0,720 g/cm<sup>3</sup>, e madeiras pesadas ou de alta densidade aquelas com valores superiores a 0,730 g/cm<sup>3</sup>. A partir dessas informações, pode considerar que 41% das espécies arbóreas analisadas neste estudo são de média densidade da madeira.

Pela análise da Tabela 2, pode-se observar que a densidade básica da madeira do tronco para a maioria das espécies (58%) decresceu da base para o topo do tronco, como a espécie *Sacoglottis guianensis*, padrão mais comum entre as espécies lenhosas. Do restante das espécies, 15% apresentaram densidades iguais na base e no meio do tronco diminuindo daí para o topo, como a espécie *Aspidosperma subincanum* e os outros 27% apresentaram comportamento de queda da densidade da base para o meio do tronco permanecendo constante, a partir daí até o topo, como a espécie *Myrsia spends* (Figura 2).

Ao analisar a madeira de galho observa-se que a maioria das espécies (88%) apresentou densidades básicas maiores para os galhos grossos, seguido de galhos médios e finos, como para a espécie *Emmotum nitens* (Benth.) Miers. (Figura 3); apenas 2 espécies (6%) apresentaram densidades iguais para galhos grossos e médios aumentando para galhos finos, como para a espécie *Inga alba* (Sw.) Willd. (Figura 3) e outras 2 (6%) apresentaram maiores densidades para galhos médios, como para a espécie *Licania apetala* (E. Meyer) Fritsch (Figura 3). A variação da densidade básica da madeira de galho foi de 327kg/m<sup>3</sup> para galho fino de *Vochysia gardineri* Warm a 836kg/m<sup>3</sup> para galho grosso de *Bowdichia virgiloides* Kunth. A

densidade básica média da madeira do tronco das espécies variou de  $377\text{kg/m}^3$  para *Volchisia gardineri* a  $895\text{kgm}^3$  para *Miconia cuspidata* (Tabela 2).

A densidade básica da madeira das espécies estudadas encontra-se dentro do esperado para espécies tropicais. A exemplo o estudo de Jati *et al.* (2014) com espécies da savana de Roraima no norte da Amazônia brasileira o qual registrou densidade básica da madeira (média geral) de  $0,592\text{ g/cm}^3$ . De forma semelhante os estudos de Barcellos (2007), Goulart *et al.* (2012), Bucci *et al.* (2004), Oliveira *et al.* (2012), Chave *et al.* (2006), Baker *et al.* (2004) e Quirino *et al.* (2005), com espécies tropicais encontraram valores de densidade básica próximos aos registrados nesta pesquisa que oscilaram de  $0,352\text{ g/cm}^3$  a  $0,845\text{ g/cm}^3$ . Por outro lado, Vale *et al.* (2002) registraram valores da densidade básica da madeira de espécies do cerrado variando de  $0,20\text{ g/cm}^3$  a  $0,78\text{ g/cm}^3$  e Cintra (2009) encontrou valores entre  $0,316$  e  $0,786\text{ g/cm}^3$ .

A variação da densidade pode ser explicadas, segundo Oliveira *et al.* (2012), baseado em um estudo de densidade básica em diferentes fitofisionomias do Cerrado de Minas Gerais, pela variação de fatores edáficos, topográficos, clima sazonal, condições hídricas, fenologia e forma de dispersão das espécies, incidência de fogo. Barcellos (2007) relata em sua pesquisa que fatores genéticos, ambientais e fisiográficos também podem influenciar na massa específica básica da madeira. Sendo assim a variação da densidade da madeira nos ambientes é tanto determinada pela variação da composição florística como pelos fatores ambientais.

Cintra (2009) afirma que a densidade básica influencia a velocidade de queima durante a produção de energia, sendo interessante que madeiras utilizadas para esse fim apresentem densidades mais elevadas. Madeiras com maior densidade são mais interessantes para produção de carvão vegetal, pois dão origem ao produto com maior densidade (SANTOS, 2010). Contudo, estudos com madeiras nativas são necessários para que se possam ter indicativos do potencial de uso dessas espécies para finalidades energéticas, e assim ocorram avanços nas pesquisas de melhoramento genético de tais espécies (COSTA *et al.*, 2014).

Tabela 2. Densidade básica da madeira de 34 espécies arbóreas de Cerrado em Tocantins.

Espécies	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )							
	Tronco				Galho			
	Base	Meio	Topo	Média	Grosso	Médio	Fino	Média
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	806	805	780	792	658	644	643	649
<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	594	571	532	551	—	420	409	414
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss	700	682	679	681	627	626	603	619
<i>Byrsonima sericea</i> A.Juss. B	760	726	707	717	625	618	584	609
<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.)	635	625	603	614	571	536	488	532
<i>Bowdichia virgiloides</i> Kunth.	903	862	850	856	836	790	770	799
<i>Connarus perrottetti</i> (DC.) Planch	480	469	465	467	448	441	431	440
<i>Connarus suberosus</i> Planch	499	500	494	497	499	492	488	493
<i>Dalbergia densiflora</i> Benth.	815	775	764	770	724	710	709	714
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers.	894	879	862	870	820	814	804	813
<i>Ferdinandusa elliptica</i> Pohl. Pl. Bras.	653	639	658	648	642	605	608	618
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	715	719	709	714	693	658	648	667
<i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce ex Mull. Arg.)	492	491	488	489	490	477	480	482
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	616	610	605	607	604	604	605	604
<i>Licania apetala</i> (E. Meyer) Fritsch.	782	761	750	755	715	725	707	716
<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	648	639	637	638	594	594	583	590
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	719	699	694	697	654	650	643	649
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	814	812	802	807	—	769	724	746
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taub.	767	760	692	726	693	695	683	690
<i>Miconia albicans</i> (Swartz)	704	699	689	694	665	659	640	655
<i>Miconia cuspidata</i> Mart. Ex Naudin.	895	879	875	877	824	811	801	812
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.)DC.	770	727	725	726	649	639	631	639
<i>Ouratea ovallis</i> (Pohl) Engl.	644	633	628	631	599	597	573	590

Continuação...

<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth.	639	630	638	634	620	605	593	606
<i>Parkia platycephala</i> Benth.	721	691	682	687	744	553	490	596
<i>Protium heptaphyllum</i> Mart.	736	717	703	710	672	654	644	657
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	755	734	717	725	663	654	652	656
<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	705	682	657	669	609	595	593	599
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	805	786	762	774	730	716	707	718
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G. Silva & H.C. Lima	749	742	741	741	725	714	680	706
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	571	575	567	571	545	537	499	527
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	684	643	646	645	628	623	602	618
<i>Vochysia gardineri</i> Warm.	395	376	377	377	329	328	327	328
<i>Xylopia aromática</i> (Lam.) Mart.	586	590	582	586	562	553	525	547

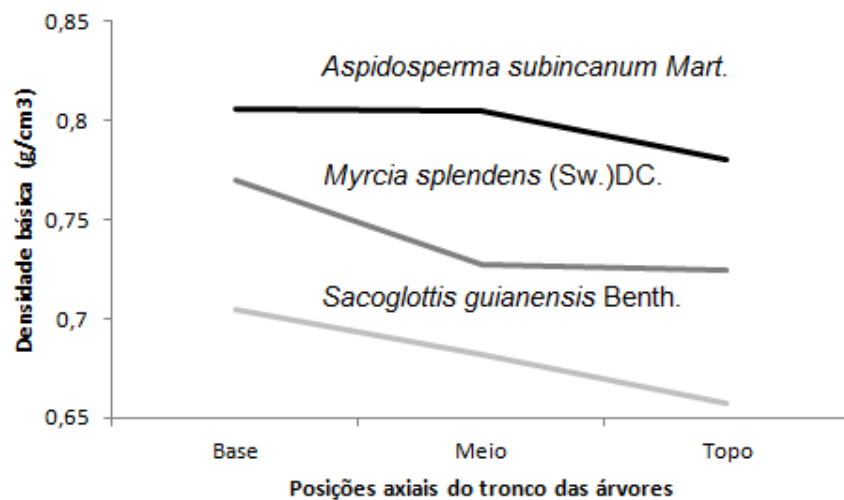


Figura 2. Variação axial da densidade básica de madeira de tronco de *Saglocottis guianensis*, *Aspidosperma subincanum* e *Myrcia splendens*.

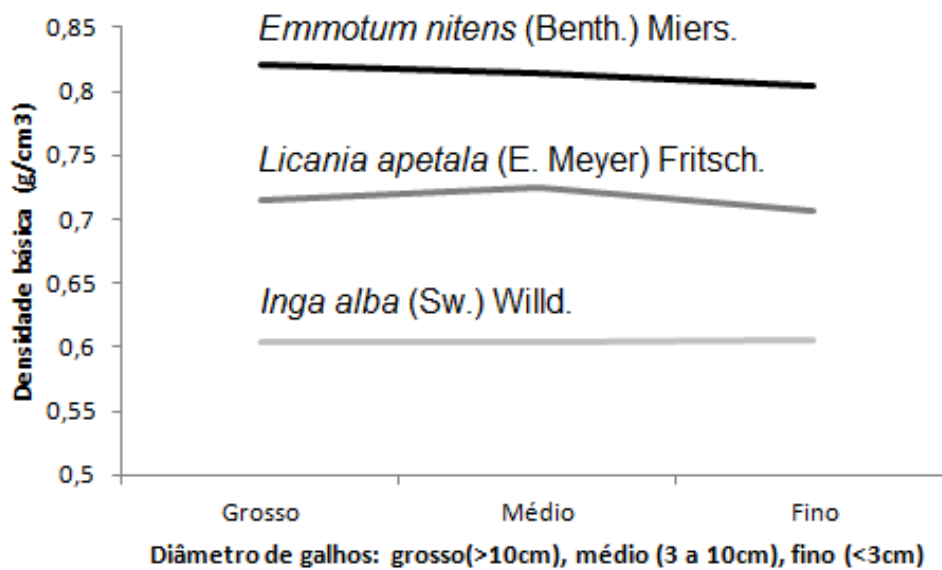


Figura 3. Densidade da madeira de galhos grosso, médio e fino para espécies de Cerrado.

### 1.3.1 Densidade básica entre as posições base, meio e topo do tronco e entre galhos grossos, médios e finos

A densidade básica da madeira entre as partes do tronco e a densidade entre partes do galho apresentaram relação significativa para as espécies analisadas (Tabela 3 e Figura 4), exceto para o galho grosso que não apresenta relação significativa em relação ao galho fino e médio ( $R^2= 0,2$ ;  $p<0,003$ ). De forma semelhante, foi registrada relação significativa entre partes do tronco e partes do galho (Tabela 4 e Figura 5), exceto a densidade do galho grosso que não apresentou relação significativa com as partes do tronco ( $R^2= 0,2$ ;  $p<0,006$ ). Isso indica que espécies que apresentam alta densidade da madeira no tronco também apresentaram alta densidade da madeira nos galhos.



Tabela 3. Resultado da relação da densidade da madeira entre partes do tronco e entre partes do galho das espécies arbóreas de Cerrado em Tocantins.

<b>Variáveis</b>	<b>R</b>	<b>F</b>	<b>P</b>	<b>Resíduo</b>
Tronco (Base x Meio)	0.9903	3253	$2.2 \cdot 10^{-16}$	0.01208
Tronco (Base x Topo)	0.9788	1475	$2.2 \cdot 10^{-16}$	0.01785
Tronco (Meio x Topo)	0.9897	3082	$2.2 \cdot 10^{-16}$	0.01193
Galho (Grosso x Médio)	0.241	10.16	0.003200	0.1767
Galho (Grosso x Fino)	0.2526	10.81	0.002452	0.1753
Galho (Médio x Fino)	0.9797	1546	$2.2 \cdot 10^{-16}$	0.0158

Tabela 4. Resultado da relação da densidade da madeira entre partes do tronco e partes do galho de espécies arbóreas de Cerrado em Tocantins.

<b>Variáveis</b>	<b>R</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>Resíduo</b>
Tronco Base x Galho Grosso	0.224	9.239	0.004693	0.1079
Tronco Meio x Galho Grosso	0.2176	8.901	0.005418	0.1041
Tronco Topo x Galho Grosso	0.2545	10.93	0.002345	0.0994
Tronco Base x Galho Médio	0.8695	213.3	$1.052 \cdot 10^{-15}$	0.04424
Tronco Meio x Galho Médio	0.8984	282.8	$2.2 \cdot 10^{-16}$	0.03753
Tronco Topo x Galho Médio	0.9222	379.3	$2.2 \cdot 10^{-16}$	0.03211
Tronco Base x Galho Fino	0.8351	162.1	$4.536 \cdot 10^{-14}$	0.04973
Tronco Meio x Galho Fino	0.8618	199.6	$2.646 \cdot 10^{-15}$	0.04376
Tronco Topo x Galho Fino	0.8872	251.8	$2.2 \cdot 10^{-16}$	0.03866

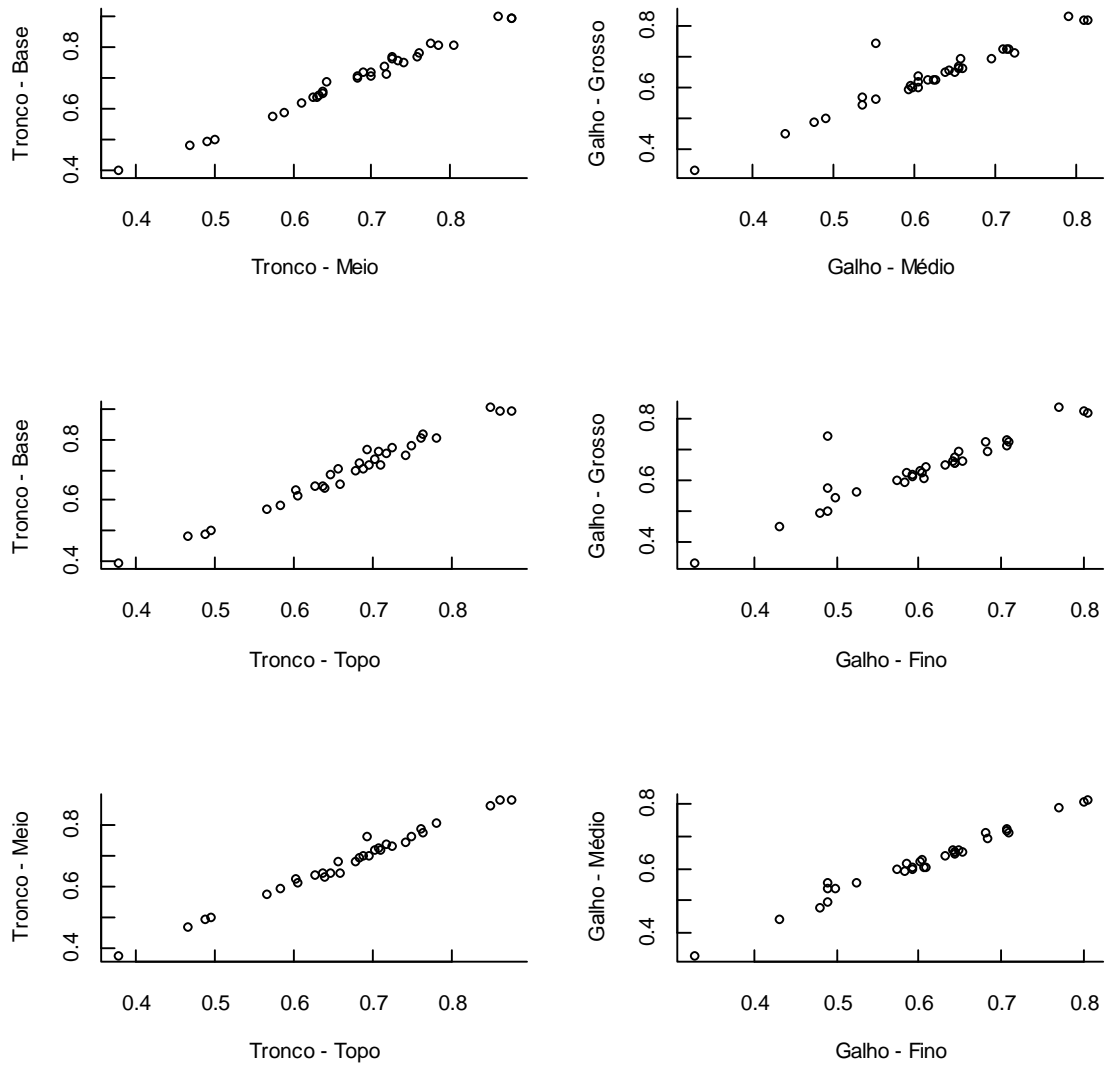


Figura 4. Relação da densidade ( $\text{g/cm}^3$ ), entre partes do tronco e entre partes do galho de espécie arbóreas de Cerrado em Tocantins.

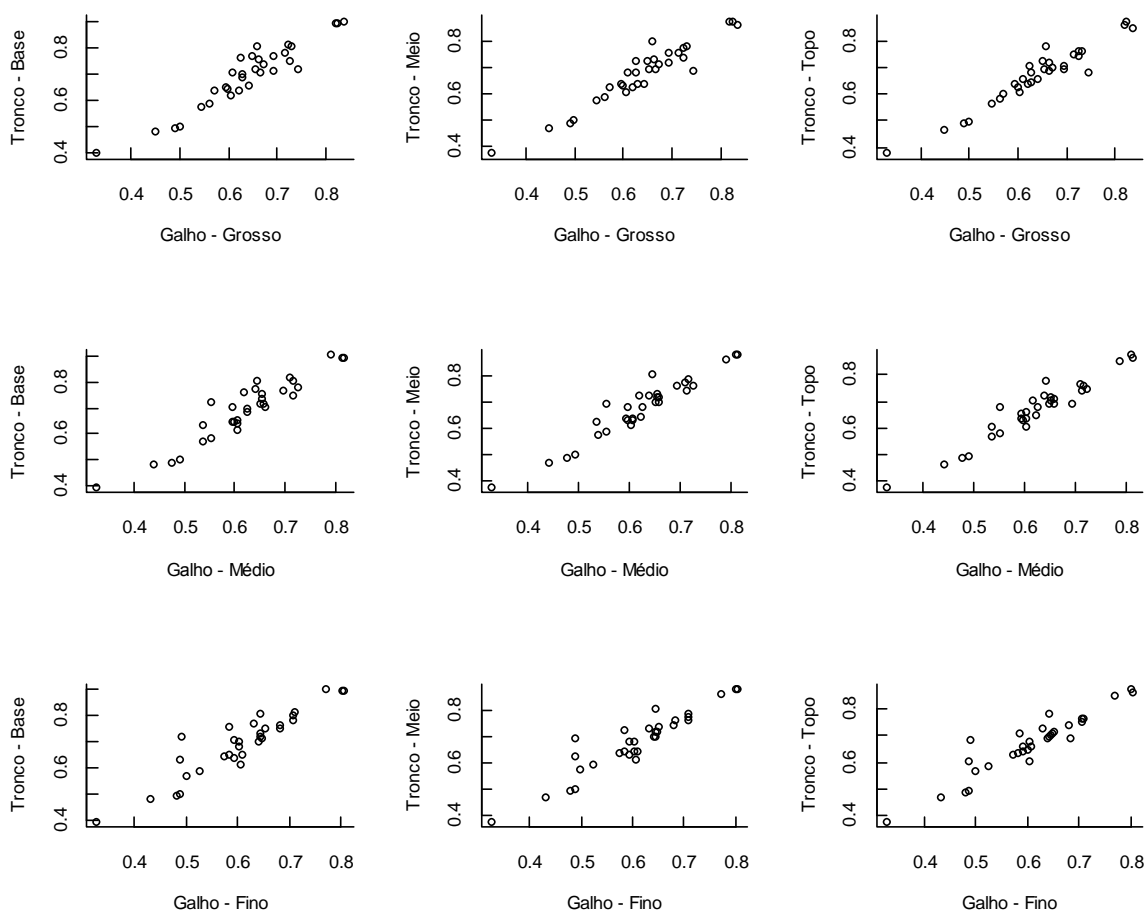


Figura 5. Relação da densidade ( $\text{g/cm}^3$ ) entre partes do tronco e partes do galho de espécie arbóreas de Cerrado em Tocantins.

### 1.3.2 Densidade básica do tronco em função da densidade básica dos galhos.

Os resultados obtidos neste estudo mostram que é possível estimar a densidade da madeira do tronco de uma árvore do Cerrado a partir de amostras da madeira de galhos finos, médios e grossos, mesmo que os galhos apresentem menor densidade da madeira que o tronco. Essa informação sobre a diferença da densidade da madeira entre peças de menor diâmetro da copa possuem menor densidade em relação às peças de maior diâmetro do fuste é também demonstrada por Jati *et al.* (2014) nas savanas amazônicas, e por Valério *et al.* (2008) em seu estudo com densidade básica de *Cedrela fissilis* Vell. Ambos os estudos verificaram uma tendência de aumento da densidade no sentido do topo para a base da árvore.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) demonstrou que 88% da variação da densidade registrada no tronco pode ser explicada pela densidade dos galhos, com erros médios percentuais inferiores a 5%, conforme o erro padrão da estimativa ( $Syx\%$ ). Além disso, foi registrada relação linear positiva entre a densidade do fuste e a dos galhos (Figura 11), sendo que a correlação foi significativa e forte ( $R^2 > 0,94$ ). Logo, por meio da matriz de correlação de Scatterplots (Figura 06) é possível constatar que quando aumenta a densidade dos galhos também aumenta a densidade do tronco.

De acordo com os modelos propostos para estimar densidade do tronco em função da densidade de galho grosso, médio e fino, a variável densidade do galho médio (diâmetro de 3-10 cm) apresentou o melhor ajuste na equação, em seguida a densidade do galho fino e galho grosso (Tabela 5). Observando as figuras 7, 8, 9 e 10 é possível verificar essa relação entre a densidade básica do tronco e as densidades: galhos finos, galhos médios, galhos grossos e média dos galhos.

A distribuição dos resíduos não ultrapassou uma variação de 20% tanto para subestimar ou superestimar a densidade básica da árvore pela média dos galhos das 34 espécies (Figura 8B). A mesma análise foi feita para os galhos finos, médios e grossos separadamente (Figura 9, 10 e 11), onde os galhos finos apresentaram uma variação de 15%, os galhos médios uma variação de 20% para subestimar ou superestimar a densidade básica da árvore, já para os galhos grossos essa variação foi de 10% para subestimar e de 90% para superestimar a densidade básica da árvore pelos galhos grossos.

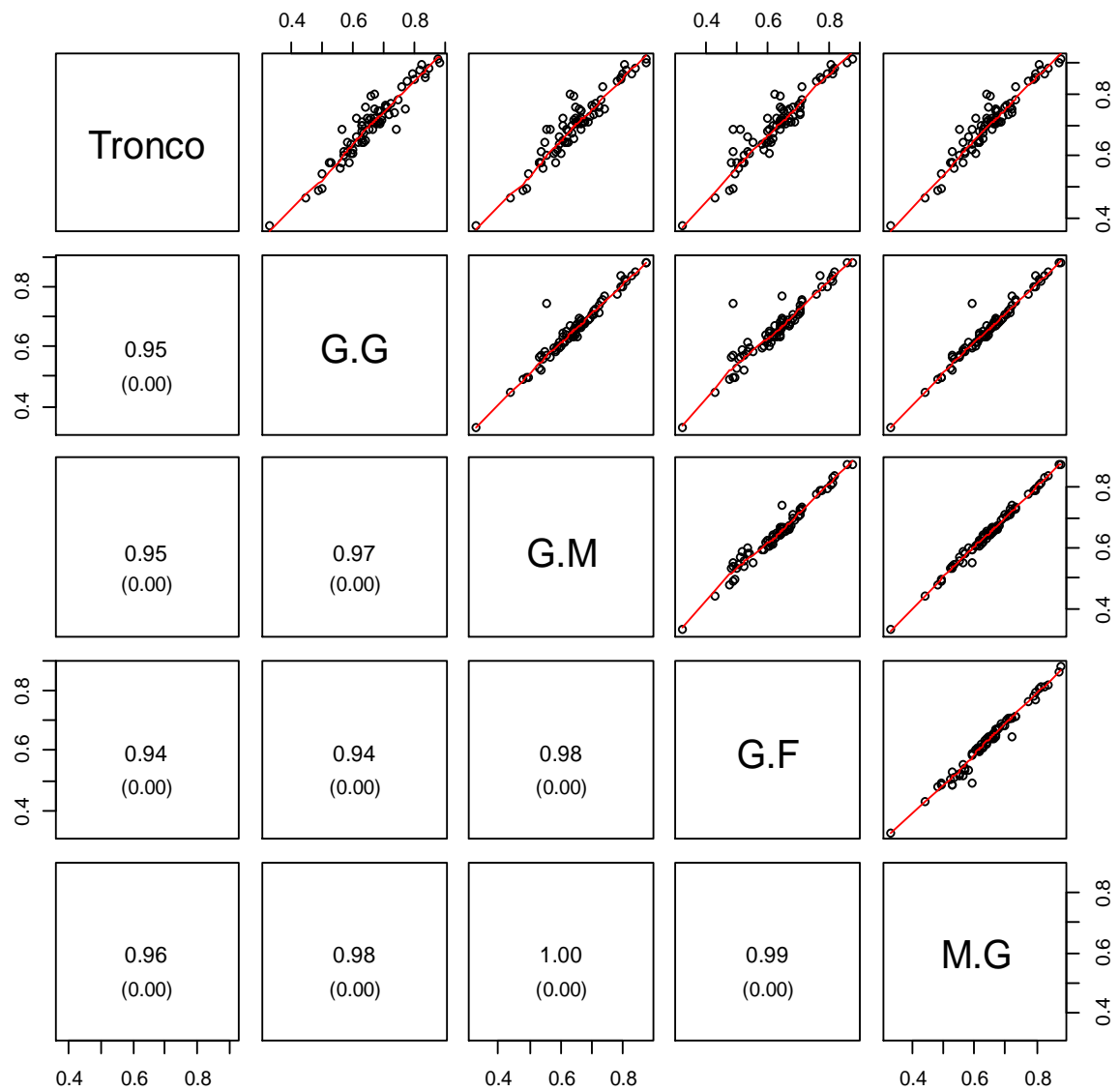


Figura 06. Matriz de correlação de Scatterplots para as variáveis galho fino (G.F), galho médio (G.M), galho grosso (G.G) e média dos galhos (M.G) em função da variável densidade do tronco.

Tabela 5. Ajuste do modelo para estimar a densidade do tronco (DT) em função da densidade dos galhos.

Galho	Modelo $D_{BMT} = \beta_0 + \beta_1 * D_{BMG}$	R <sup>2</sup> aj.	Syx	Syx (%)	F
Fino	$D_{BMT}=0,098346813+0,954203851*D_{BMGF}$	0,88	0,035	5,16	608,7382
Médio	$D_{BMT}=0,061581+0,988638*D_{BMGM}$	0,90	0,033	4,76	727,408
Grosso	$D_{BMT}= 0,03892+1,003672*D_{BMGG}$	0,89	0,033	4,79	651,6024
Média	$D_{BMT}= 0,059507979+0,994111508*D_{MG}$	0,91	0,030	4,41	861,625

$\beta$ 's = Coeficientes estimados; R<sup>2</sup> Aj = Coeficiente de determinação Syx e Syx% = Erro padrão da estimativa e erro padrão da estimativa em porcentagem; F = Valor de F da análise de variância, DT= densidade do tronco; DG= densidade do galho (F=fino, M= médio, G= grosso, MG= média dos galhos).

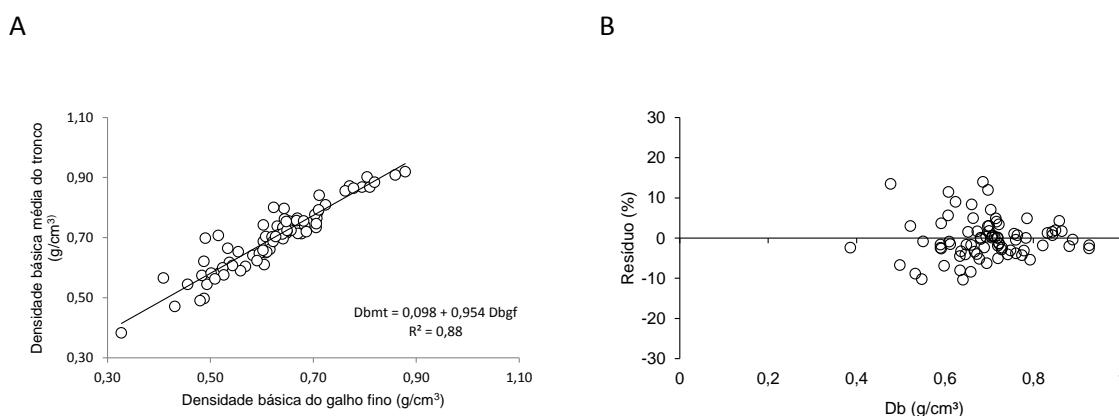


Figura 7. Densidade básica média da madeira do tronco em função da densidade básica do galho fino (< 3cm) para as 34 espécies lenhosas que ocorrem no Tocantins (A) e distribuição dos resíduos (B).

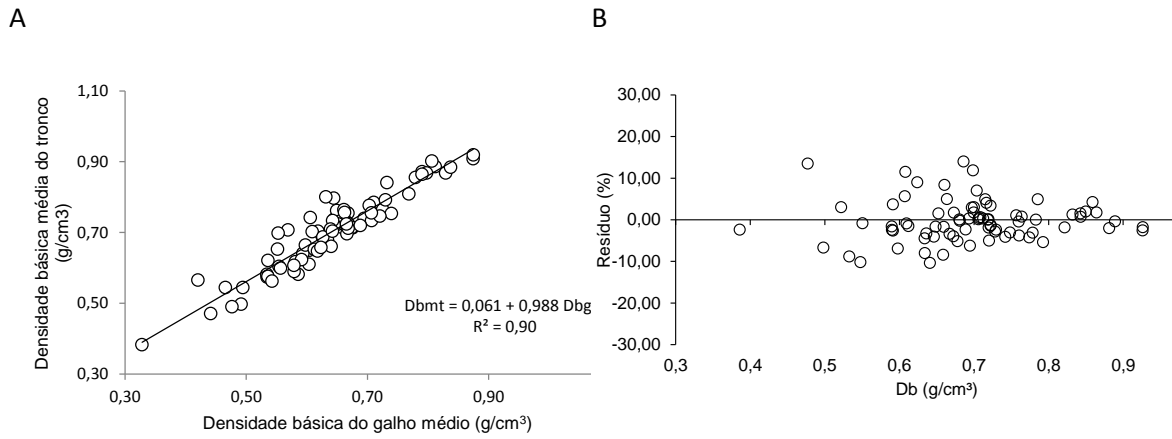


Figura 8. Densidade básica média da madeira do tronco em função da densidade básica do galho médio (3 a 10 cm) para as 34 espécies lenhosas que ocorrem no Tocantins (A) e distribuição dos resíduos (B).

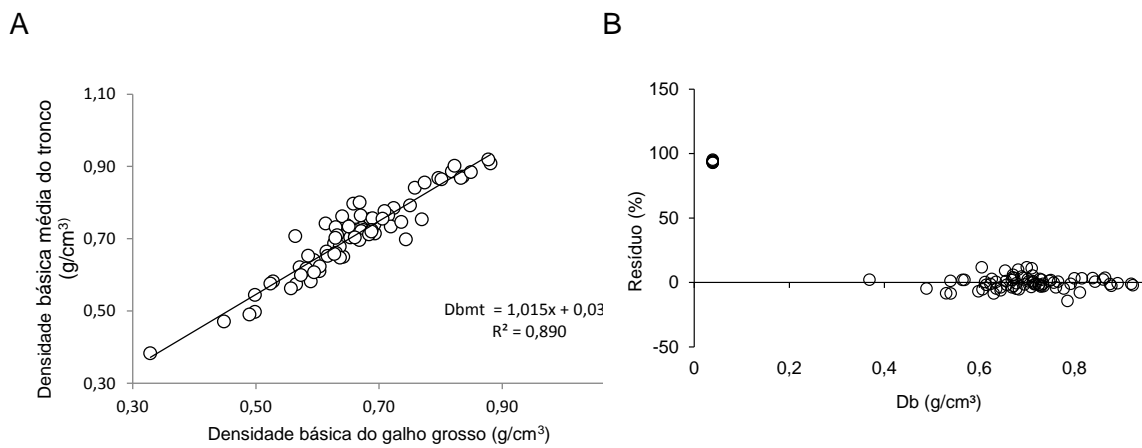


Figura 9. Densidade básica média da madeira do tronco em função da densidade básica do galho grosso (> 10cm) para as 34 espécies lenhosas que ocorrem no Tocantins (A) e distribuição dos resíduos (B).

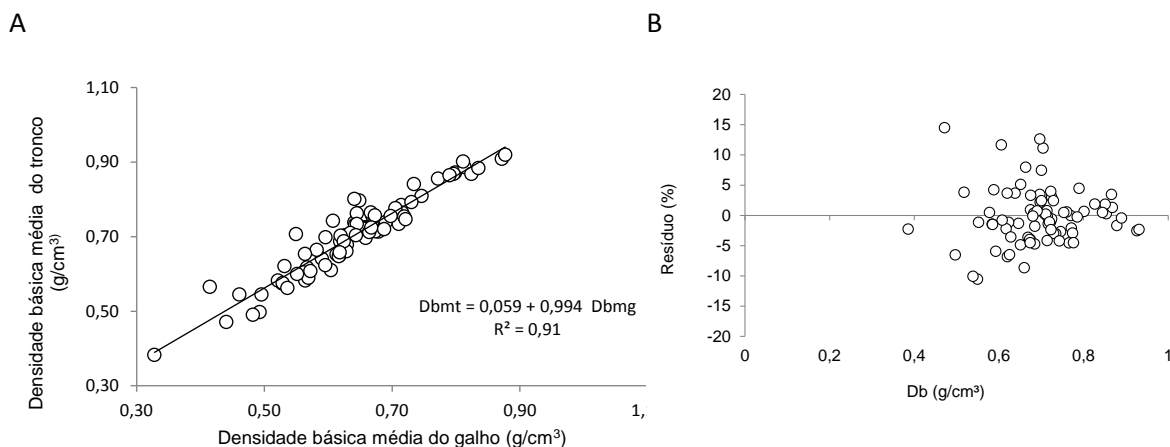


Figura 10. Densidade básica média da madeira do tronco em função da densidade básica média dos galhos para as 34 espécies lenhosas que ocorrem no Tocantins (A) e distribuição dos resíduos (B).

Corroborando os dados das espécies avaliadas neste estudo, Silveira *et al.* (2013) avaliando a densidade básica de três espécies Amazônicas, também não encontraram diferença significativa entre as posições do galho e tronco. Logo, a partir desta constatação de homogeneidade pode-se sugerir a caracterização da densidade básica a partir da análise dos galhos. Jati *et al.* (2014) vêem como vantajosa a coleta de peças dos galhos com diâmetro entre 5 e 10 cm para estimar a densidade da madeira do indivíduo arbóreo, com base do tronco >10 cm, através de regressão. Isso evita o uso do método destrutivo dos indivíduos, e pode reduzir erros de superestimativas nos estoques de biomassa/carbono arbóreo devido ao uso tradicional de amostras derivadas do fuste. Paiva *et al.* (2011) em suas pesquisa com espécies do cerrado relata que o carbono presente nas árvores representa uma parcela significativa do total de carbono estocada na biomassa acima do solo.

Os estudos de densidade básica são essências para diversos fatores relacionados à caracterização da qualidade da madeira, no entanto muitos desses estudos são impossibilitados devido a dificuldade amostral na área devido a inviabilidade de utilização do método destrutivo, seja por serem as espécies proibidas



de corte por serem madeiras de lei ou estarem em áreas protegidas. Nesse sentido os resultados dessa pesquisa podem ser utilizados como uma alternativa para amostragem de densidade básica da madeira sem que seja necessário a derrubada da árvore, utilizando assim apenas amostras de galhos para estimar a densidade básica da madeira.

## 1.5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pode-se concluir:

- A densidade básica da madeira entre as partes do tronco e a densidade entre partes do galho apresentaram relação significativa, exceto para o galho grosso que não apresenta relação significativa em relação ao galho fino e médio;
- As espécies que apresentaram alta e baixa densidade no tronco tiveram o mesmo comportamento com as partes dos galhos;
- 41% das espécies arbóreas analisadas neste estudo apresentaram média densidade da madeira;
- O modelo que mais se ajustou para estimar a densidade do tronco utilizando a densidade do galho foi o que utiliza galhos médios com diâmetro entre 3 e 10 cm;
- Os valores determinados devem ser considerados como uma importante ferramenta para melhorar as estimativas de estoque de carbono arbóreo em áreas de cerrado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, GERD. 2014. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, 711–728.

AMARAL, A. C.; FERREIRA, M.; COUTO, H. T. Z. 1977. Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. **IPEF**, n. 15, p. 47-67.

BAKER, T. R.; PHILLIPS, O. L.; MALHI, Y.; ALMEIDA, S.; ARROYO, L.; DiIIORE, A. T. E.; LAURANCE, S. G.; LAURANCE, W. F. LEWIS, S. L. ; LLOYD, J.; MONTEAGUDO, A.; NEIL, L. D. A.; PAT I N, S.; PITMAN N. G. E. A. J.; SILVA, N. M.; MARTINS, R. V. 2004. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology** v. 10, p. 545–562.

BARCELLOS, D. C. 2007. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. Tese de Doutorado, Viçosa-MG, UFV, 140p.

BAUER, K. 2003. **Development and optimisation of a low-temperature drying schedule for Eucalyptus grandis (Hill) ex Maiden in a solar-assisted timber dryer**. Tese de (Doutorado) em Ciências Agrárias, Fakultat Agrarwissenschaften der Universität Hohenhei, Hohenheim, 178 p.

BOND, B. 2006. **Design and Operation of a Solar-Heated Dry Kiln**. Virginia Tech, 10 p.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. 2003. Forest products and wood science. An Introduction. **Blackwell Publishing**, New York.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; MELLO, H. A. 1979. Densidade básica de madeira de *eucalyptus grandis hill ex maiden*, aos 3 anos de idade. **IPEF**, n. 19, p. 63-76.

BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G.; Meinzer, F. C.; SCHOLZ, F. G.; FRANCO, A. C.; BUSTAMANTE, M. 2004. Functional convergence in hydraulic architecture and water

relations of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. **Tree Physiology**, v. 24, p. 891-899.

CHAVE, J.; MULLER-LANDAU, H. C.; BAKER, T. R.; EASDALE, T. A.; STEEGE, H.T.; WEBB, C. O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. **Ecological Applications**, 16: 2356–2367.

CINTRA, T. C. 2009. **Avaliação energética de espécies florestais nativas plantadas na região do médio Paranapanema, SP**. Dissertação (Mestrado), Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

COLEN, A. G. N.; SILVA, D. S.; MARTINS, A. K. E. 2007. Elaboração de mapas de Geounidades do Parque Estadual de Lajeado no município de Palmas – TO. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, p. 2455-2462.

CORADIN, V. T. R.; CAMARGOS, J. A. A.; PASTORE, T. C. M.; CHRISTO, A. G. 2010. **Madeiras comerciais do Brasil: chave interativa de identificação baseada em caracteres gerais e macroscópicos**. (<http://www.ibama.gov.br/lpf/madeira/introducao.htm>). Acesso em 25/08/2014.

COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. J. 2014. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46.

COSTA, V. E. 2006. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. Tese (Doutorado) -Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 79p.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. 1981. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley. 709p.

DUBOC, E. 2008. **O Cerrado e o setor florestal brasileiro**. Planaltina, DF: EMBRAPA CERRADOS, 42p.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; LIBANO, A. M.; VENTUROLI, F.; PEREIRA, B. A. S.; MACHADO, E. L. M. 2011. Análise Multivariada: princípios e métodos em estudos da vegetação. In: FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. (Eds.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos**. Viçosa, MG: Ed. UFV.

GOULART, S. L.; MORI, F. A.; RIBEIRO, A. O. Couto, A. M.; ARANTES, M. D. Ch.; MENDES, L. M. 2012. Análises químicas e densidade básica da madeira de raiz, fuste e galho 59 de barbatimão [(stryphnodendron adstringens) coville] de bioma cerrado. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 59-66.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 mar. 2014.

JATI, S. R.; FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. 2014. Densidade da madeira de árvores em savanas do norte da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, v. 44, n. 1, p.79 - 86.

LORENZI, H. 1992. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Nova Odessa – SP: Editora Plantarum. 350 p.

MARQUES, M. H. B. 2008. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. (Tese de Doutorado em Ciências Florestais, na Universidade de Brasília - UnB). Brasília, 125 p.

MIGUEL, E. P. 2014. **Caracterização da flora e da produção em volume, biomassa e carbono da vegetação arbórea em área de cerrado no estado do Tocantins**. (Tese de Doutorado em Ciências Florestais, na Universidade de Brasília - UnB). Brasília, 96 p.

MELO, J. E.;CORADIN, V. R.;MENDES, J. C. 1990. Classes de densidade para madeiras da Amazônia brasileira. In: VI CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6., 1990, Campos do Jordão. **Anais...** Campos do Jordão, v. 3, p. 695-705.

MORESCHI, J. C. 2012. **Propriedades da madeira**. Curitiba, PR: UFPR, 4ª edição, 192p.

MULLER-LANDAU, H.C. 2004. Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. **Biotropica**, v. 36, p. 20-32.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. 2005. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115-127.

OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, M. F. V.; PEREIRA, B. L.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; VITAL, B. R. 2012. Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 59-68.

OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M.; TRUGILHO, P. F.; SCOLFORO, J. R. S.; ALTOÉ, T. F.; SILVA-NETO, A. J.; OLIVEIRA, A.D. 2012. Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira em diferentes fitofisionomias do estado de Minas Gerais. **Cerne**, v. 18, p. 345-352.

PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V.; PEREIRA, R. S. 2011. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.35, n.3, p.527-538.

PAULA, J, E. 2005. Caracterização anatômica de madeiras de espécies nativas do cerrado visando sua utilização na produção de energia. **Revista Cerne**, v. 11, n. 1, p. 90-100.

PRESTON, K. A.; CORNWELL, W. K.; DENOYER, J. L. 2006. Wood density and vessel traits as distinct correlates of ecological strategy in 51 California coast range angiosperms. **New Phytologist**, v. 170, p. 807–818.

PRINGLE, L. 1997. **Ecologia: a ciência da sobrevivência**. Rio de Janeiro: biblioteca do Exército. 52p.

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

R Development Core Team (2011). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RATTER, J. A. 1971. Some notes on two types of cerrado occurring in northeastern Mato Grosso. In: FERRI, M. G. (org.). **III Simpósio sobre o Cerrado**. São Paulo, Ed. Edgard Blucher Ltda. p. 100-102.

RENDEIRO, G. 2008. **Combustão e gasificação de biomassa sólida**. Brasília : Ministério de Minas e Energia, 192p.

RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. 1993. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de eucalyptus spp. **IPEF**, n. 46, p. 76-85.

REGAZZI, A.J.; LEITE, H.G. 1992. **Análise de regressão e aplicações em manejo florestal**. DEF/SIF/UFV. Viçosa, MG. 235 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. 1998. Fitofisionomia do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P. (Coords.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: EMBRAPA, p. 47-86.

RIZZINI, C. T. 1971. **Árvores e Madeiras Úteis do Brasil: Manual de Dendrologia Brasileira**. São Paulo: E. Blucher, 294 p.

SANTOS, R. C. dos. 2010. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de Eucalipto**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 159 p.

SIH, G. C. 1974. Strain – energy- density factor applied to mixed mode crack problems. **International Journal of fracture**, v. 10, n. 3.

SILVA FILHO, D. F.; ROCHA, J. S.; MOURA, J. B. 1992. Influência da densidade na dureza janka em oito espécies madeireiras da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 22, n. 2, p. 275 – 283.

SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R.; ENCINAS, J. I. 2005. Idade e Crescimento das Árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v. 7, n. 1.

SILVA, L. B.; SANTOS, F. A. R.; GASSON, P.; CUTLER, D. 2009. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 436-445.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. 2013. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 2, p.179-184.

SMITH, D.M. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. **USDA Forest Products Laboratory Nº 2014**. 8 pp. 1954.

TEIXEIRA, M. I. J. G.; ARAUJO, A. R. B.; VALERI, S. V.; RODRIGUES, R. R. Florística e fitossociologia de área de cerrado s.s. no Município de Patrocínio Paulista, nordeste do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n.1, p.1-11, 2004.

TRUGILHO, P. F. 2005. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden. e propriedades de sua madeira.** (Tese de Pós- Doutorado em Engenharia Florestal, na Universidade Federal do Paraná – UFPR). Curitiba, 167 p.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. 1990. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta Amazônica**, v. 20, p. 307 – 319.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; MARTINS, I. S. 1999. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85 – 92.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. 2002. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80.

VALE, A. T.; SARMENTO, T. R.; ALMEIDA, A. N. 2005. Caracterização e Uso de Madeiras de Galhos de Árvores Provenientes da Arborização de Brasília - DF. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 4, p. 411-420.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SILVESTRE, R.; KOEBLER, H. S. 2008. Determinação da densidade básica da madeira de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) ao longo do fuste. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.1, n. 1.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira.** Viçosa, MG: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 1).

WILLIAMSON, G. B.; WIEMANN, M. C. 2011. Age versus size determination of radial variation in wood specific gravity: lessons from eccentrics. **Trees**, v. 25, p. 585-591.

## **Capítulo 2**

### **POTENCIAL ENERGÉTICO DE 34 ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO DO ESTADO DE TOCANTINS**



## RESUMO

SILVA, C. J. Universidade de Brasília (UnB), 2014. **Potencial energético de 34 espécies arbóreas do cerrado do estado de Tocantins**. Orientador: Ailton Teixeira do Vale.

A madeira é a principal fonte de energia na matriz energética dos países subdesenvolvidos e nos países em desenvolvimento a participação é significativa, ocupando o quarto lugar no Brasil. As espécies madeireiras do bioma cerrado têm importância econômica uma vez que, entre outras qualidades, apresentam boa produção de biomassa e um ótimo potencial na conversão em carvão vegetal. Considerando isso, o objetivo desse trabalho foi determinar o potencial energético de 34 espécies arbóreas do Cerrado no Estado de Tocantins. As amostras foram coletadas de árvores abatidas em uma área de cerrado de 10,15 hectares. Foram coletadas amostras de tronco e galhos de 34 espécies florestais para análise imediata (cinzas, material volátil, carbono fixo) e poder calorífico superior. Dados de massa seca e massa saturada foram obtidos para a determinação da densidade básica. As espécies apresentaram valores de teor de material volátil entre 77 e 85,5% , teor de cinzas entre 0 e 1% , teor de carbono fixo entre 14 e 23% . O poder calorífico superior ficou entre 18.282 GJ/ton e 20.121 GJ/ton . Quando testadas as relações entre as variáveis da análise imediata (MV, CZ e CF), e o poder calorífico superior (PCS), foi encontrada relação significativa entre MV e CF ( $R^2 = 0.9927$ ), enquanto o poder calorífico superior e a densidade básica das espécies não apresentaram relação significativa. O valor médio da densidade energética para as 34 espécies foi de 12.459 Mcal.m<sup>-3</sup>. A estimativa da densidade energética da área foi de 1.378.541 Mcal/há. O modelo proposto para o cálculo de densidade energética em função da densidade básica facilita os levantamentos energéticos de áreas a serem exploradas, pois não há necessidade da análise de poder calorífico.

Palavras-Chave: energia, madeira, savana.

## ABSTRACT

Wood is the main source of energy in the energy matrix of developing countries, but in developing countries participation is significant, ranking fourth in Brazil. The timber species of the cerrado biome have significant economic importance since they have good biomass production and a great potential for conversion into charcoal. Considering this, the aim of this study was to determine the energy potential of 34 tree species of the cerrado in the State of Tocantins. Samples were collected from cut trees in an area of 10.15 hectares cerrado. Samples from the trunk and branches of 34 tree species were collected for immediate analysis (ash, volatile matter, fixed carbon) and higher calorific power. Data from wet and dry mass were recorded for basic density and energy density analysis. Species showed values of volatile material content of between 77 and 85.5% (mean = 82.88%), ash content between 0 and 1% (mean = 0.27%), fixed carbon content of 14 to 23 % (mean = 16.84%). The higher calorific power value was between 4,410 kcal / kg and 4,813 kcal / kg (mean = 4,599 kcal / kg). When tested the relationships between the variables of immediate analysis (MV, CF and CZ), and higher calorific power (PCS), was detected correlation between MV and CF ( $R^2 = 0.9927$ ). The higher calorific power and the basic density of species were not significant, the mean value for 34 species energy density was  $2.921 \text{ Mcal m}^{-3}$ . Variability of the energy density higher calorific power and immediate analysis of the studied species was recorded. This indicates the need for studies of these species in breeding programs for selection of arrays for energy production.

Key words: energy, timber, savannah.

## 2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se numa situação muito favorável em relação aos recursos energéticos, pois dispõe de todas as fontes energéticas primárias, com um cenário favorável para as demandas energéticas do país em longo prazo (VENTURA FILHO, 2009). Essa situação se deve a imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, o que oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala (Balanço Energético Nacional, 2013; CENBIO, 2003).

O maior uso da biomassa energética florestal no Brasil é para produção de carvão vegetal, onde se destaca no mundo como o maior produtor e consumidor (BARCELLOS, 2007), sendo o bioma cerrado uma das fontes energéticas do Brasil (MEIRA, 2002). As espécies vegetais do cerrado transformadas em carvão fornecem energia para as regiões Centro-Oeste e Sudeste do País, onde estão as maiores fontes consumidoras dessa matéria prima (MEIRA, 2002).

No cerrado concentra-se a maior exploração de madeira nativa do Brasil para produção de lenha e carvão vegetal, utilizados principalmente em carvoarias e na cocção de alimentos nas residências (DUBOC, 2008). As espécies madeireiras do bioma cerrado são de significativa importância econômica uma vez que apresentam boa produção de biomassa e um ótimo potencial na conversão em carvão vegetal (BARCELLOS, 2007).

De acordo com Brito (2007), o uso da madeira para energia diminui a dependência energética externa e proporciona uma maior segurança quanto ao suprimento da demanda o que também expressa uma matriz energética ambientalmente mais saudável e mais justa do ponto de vista social. Segundo o autor a madeira ainda continua participando da matriz energética mundial, sendo sua intensidade maior ou menor dependendo da região considerada. Seu uso é afetado por variáveis como o nível de desenvolvimento do país, disponibilidade de florestas, questões ambientais e sua competição econômica com outras fontes energéticas, como petróleo, gás natural, hidroeletricidade, energia nuclear etc.

A madeira (lenha e seus derivados) é a fonte mais antiga de combustível utilizado para produzir energia e é um componente essencial no atendimento da demanda energética do Brasil, indicando que isso continuará sendo predominante, com a maior parte do consumo situada nos setores de produção de carvão vegetal,

domiciliar, industrial e agropecuário (NASCIMENTO e BIAGGIONI, 2010; BRITO, 2007). De acordo com estes autores, a busca de fontes alternativas de energia passou a receber uma atenção especial em virtude das vantagens que se tem em reduzir custos e impactos ambientais em relação aos combustíveis derivados de petróleo. A precariedade e a falta de informações oficiais sobre o uso da biomassa para fins energéticos devem-se ao fato de ser tradicionalmente utilizado em países pobres e setores menos desenvolvidos; por ser uma fonte energética dispersa, cujo uso, via de regra, é ineficiente e devido o uso ser associado a problemas de desmatamento e desertificação (Balanço Energético Nacional, 2013; CENBIO, 2003).

Entretanto, essa imagem da biomassa está mudando, devido aos esforços recentes de mensuração mais acurada do seu uso e potencial, por meio de novos estudos, demonstrações e plantas-piloto; uso crescente da biomassa como um vetor energético moderno, por meio do desenvolvimento de tecnologias eficientes de conversão (Balanço Energético Nacional, 2013; CENBIO, 2003). O rendimento energético de um processo de combustão da madeira depende de sua constituição química, onde os teores de celulose, hemicelulose, lignina, extrativos e substâncias minerais variam com a espécie e é de grande importância para a escolha adequada da madeira a ser utilizada (QUIRINO *et al.*, 2005).

Embora haja grande utilização de madeira para fins energéticos, poucos estudos descrevem as características importantes do desempenho das espécies brasileiras (CINTRA, 2009). Sendo assim, o conhecimento de alguns aspectos físicos da madeira como, por exemplo, a sua densidade básica, é fundamental para a avaliação das suas qualidades para a produção de insumos energéticos, sobretudo de carvão vegetal (CINTRA, 2009), haja vista que alta densidade da madeira implica em mais massa por unidade de volume e, conseqüentemente, mais energia (BARCELLOS, 2007).

Além disso, é de extrema importância observar a influência da análise imediata (cinzas, material volátil, carbono fixo), poder calorífico superior e densidade energética para que se possa determinar o potencial energético da madeira (ANDRADE e CARVALHO, 1998; QUIRINO *et al.*, 2005). A análise imediata fornece dados do conteúdo percentual com base na massa do combustível, sendo o carbono fixo a quantidade de carbono presente no material, o qual está diretamente relacionado aos teores de lignina, extrativos e massa específica da madeira. O material volátil é constituído por substâncias que são despreendidas da madeira durante sua queima ou carbonização, e as cinzas são os resíduos minerais do lenho e da casca. Já o poder

calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão completa de uma unidade de massa de um combustível (BARCELLOS, 2007).

Considerando a importância dessas variáveis na utilização de madeira para fins energéticos, o objetivo desse trabalho foi determinar o potencial energético de 34 espécies arbóreas do Cerrado no Estado de Tocantins a partir de suas características.

## **2.2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.2.1. Área de estudo**

As amostras de madeira para elaboração deste trabalho foram coletadas de árvores abatidas em uma área de Cerrado de 10,15 hectares no Parque Estadual do Lajeado (Figura 1), cuja área correspondente a nove mil hectares de Cerrado (COLEN *et al.*, 2007). A área está localizada na região centro-oeste do Estado do Tocantins, próximo a cidade de Palmas. O clima predominante na região é do tipo C2wA'a', úmido e subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, caracterizado pela ocorrência de duas estações, sendo uma estação seca de maio a setembro e uma estação chuvosa de outubro a abril (ALVARES *et al.*, 2014). A área em estudo apresenta domínio edáfico com uma cobertura detrito-laterítica recobrendo as rochas sedimentares. A área de cerrado estudada apresenta espécies com porte superior aos registrados em outros estudos com cerrado, possivelmente pela proximidade com o bioma amazônico (MIGUEL, 2014), sendo predominantes as espécies *Myrcia splendens*, *Emommotum nitens* e *Qualea parviflora* (MIGUEL, 2014; RATTER *et al.*, 1971).

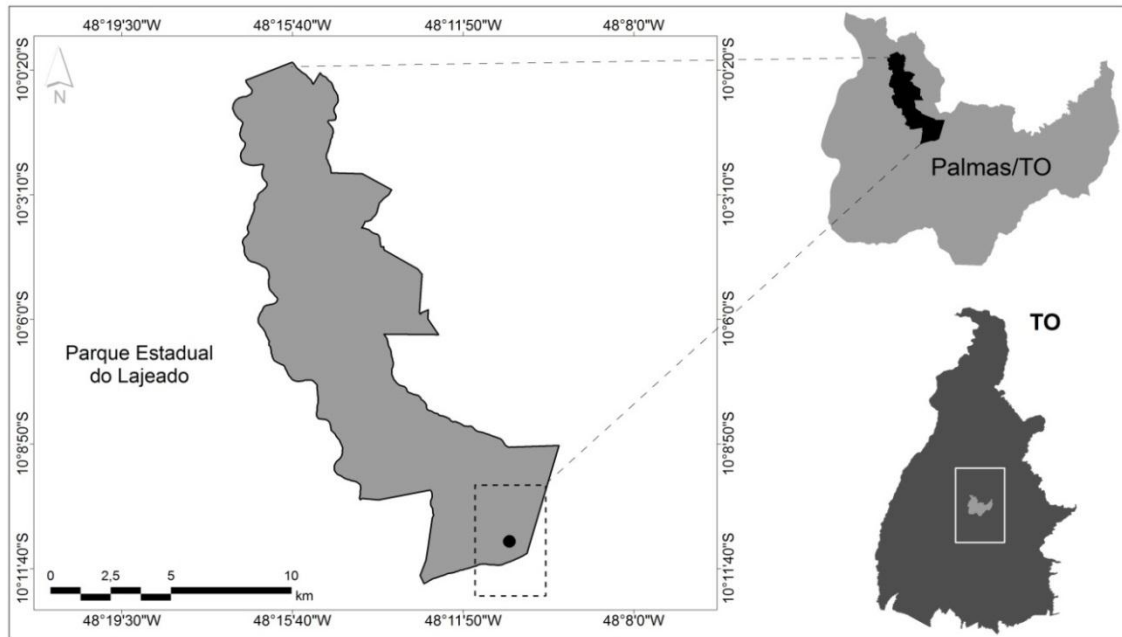


Figura 1. Mapa da área amostrada no Parque estadual do Lajeado, município de Palmas estado do Tocantins. Fonte: Miguel (2014).

Foi realizado um inventário florestal na área do fragmento de cerradão, considerando um processo de amostragem sistemático com o uso da razão para as estimativas de densidade, área basal, volume, biomassa e carbono (MIGUEL, 2014; PÉLLICO NETTO; BRENA, 1997). No total foram implantados oito transectos equidistantes, de comprimentos variáveis, e 54 parcelas de 400 m<sup>2</sup>, totalizando 2,16 ha amostrados, distribuídas entre os transectos.

## 2.2.2. Procedimentos metodológicos

Foram coletadas amostras de tronco e galhos de 34 espécies florestais (Tabela 1) para análise imediata (cinzas, material volátil, carbono fixo) e poder calorífico superior. Dados de massa seca e massa úmida foram registrados para análise da densidade básica. O material foi moído e classificado abaixo de 60 mesh (Figura 2A) e em seguida separado em recipientes devidamente identificados por espécie (Figura 2B e 2C) e seco em estufa a 103±2°C (Figura 2D).

As análises foram realizadas tendo como referência as seguintes normas brasileiras:

- NBR 8112: Análise Imediata. Destinada à determinação dos teores de umidade, cinzas, matérias voláteis e carbono fixo de carvão vegetal;
- NBR 8633: Determinação do Poder Calorífico. Prescreve o método de determinação do poder calorífico superior (PCS) a volume constante, em uma bomba calorimétrica adiabática, isotérmica ou estática (Figura 2E).

### 2.2.2.1. Análise imediata: Materiais Voláteis, Cinzas e Carbono Fixo (%)

Conforme a NBR 8112/1986 em concordância com o texto de Rendeiro (2008), o teor de voláteis foi quantificado medindo-se a fração de massa da biomassa que volatilizou durante o aquecimento da amostra padronizada e previamente seca até temperaturas de aproximadamente 900°C num forno mufla (Figura 03) por sete minutos. Após a extração dos voláteis, ficou como resíduo o carbono fixo e as cinzas. O teor de voláteis foi expresso em base seca, calculado pela Equação 01.

Equação 01

$$MV = \frac{M_{0\%} - M_{AM900}}{M_{0\%}} 100$$

Onde:

MV - teor de voláteis;

M<sub>0%</sub> - massa da amostra seca a 0% de umidade;

M<sub>AM900</sub> - massa após passagem pela mufla a 900°C ambos em grama.

A determinação de materiais voláteis da madeira se deu em duplicata repetindo a análise quando os resultados diferiram entre si em valores relativos superiores a 2%.

Para o teor de cinzas, um grama de amostra seca a 0% de umidade foi colocada em um cadinho e este no interior de um forno mufla com temperatura a 700°C, e nessa condição, ficou a queima total do carbono fixo ficando apenas as cinzas dentro do cadinho cujo teor foi calculado pela Equação 02.

Equação 02

$$C_z = \frac{M_{0\%} - M_{AM700}}{M_{0\%}} 100$$

Onde:

MV - teor de voláteis,

M<sub>0</sub> - massa da amostra seca a 0% de umidade,

M<sub>AM700</sub> - massa após passagem pela mufla a 900°C ambos em grama.

Para a determinação do teor de carbono fixo (CF) utilizou-se os resultados do material volátil e de cinzas das amostras, conforme a Equação 03.

Equação 03

$$CF = 100 - (MV + C_z)$$

#### 2.2.2.2. Poder Calorífico Superior (PCS)

As amostras utilizadas para análise do PCS foram moídas, secadas e peneiradas em peneira de 60 mesh, com base na norma ABNT – NBR 8633. O ensaio consistiu em queimar uma amostra de aproximadamente 0,7g de biomassa seca em bomba calorimétrica e para cálculo de PCS utilizou-se a Equação 04:

Equação 04

$$PCS = \frac{[(W * \Delta T) - (Q_F + Q_A)]}{M_{0\%}}$$



Onde:

PCS - poder calorífico superior (GJ/ton)

W - equivalente água do calorímetro kcal/°C

$\Delta T$  - diferença de temperatura (°C)

$Q_F$  e  $Q_A$  - quantidade de calor liberado pela fusão do fio (F) e pela formação do ácido nítrico (A), respectivamente.

$M_{0\%}$  - massa seca a 0% de umidade (g).

A densidade energética (De) foi determinada pela Equação 05:

Equação 05

$$De = \rho_b * PCS$$

Onde:

$\rho_b$  - densidade básica (kg/m<sup>3</sup>)

PCS - poder calorífico superior (GJ/ton)



Figura 2. Peneiramento do material (A); Material utilizado para análises, imediata e PCS (B e C); Estufa utilizada para secagem do material (D); Bomba calorimétrica utilizada para análise de poder calorífico (E).



Figura 3. Mufla utilizada para análise do material volátil e cinzas.

### 2.2.2.3. Análise dos dados

Os dados foram analisados por meio de análise de variância (ANOVA). Foi realizada uma regressão linear simples para verificar a relação entre as variáveis, a escolha dos modelos de regressão tomou como base o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), ao nível de 5% de probabilidade, erro padrão, análise de resíduos e significância. Os testes foram feitos no pacote Stats, implementado na linguagem R (R Development Core Team, 2011).

A escolha da equação que melhor explica a estimativa da densidade energética da árvore em função da densidade básica da árvore seguiu os métodos tradicionais utilizados na verificação da regressão linear na sequência de importância de acordo Draper e Smith (1981): Análise gráfica dos resíduos (%) e comportamento do modelo ajustado em relação a densidade básica real; Erro-padrão da estimativa absoluto e em percentagem ( $S_{yx}m^3$ ;  $S_{yx}\%$ ); Coeficiente de determinação ajustado ( $R^2aj.$ ); e valor “F” de Fischer.

A equação proposta considerada foi:

$$DE = \beta_0 + \beta_1 * D_{BM}$$

Onde:

DE = Densidade energética média da árvore ( $Mcal/m^3$ )

$\beta_0 + \beta_1$  = Coeficientes a serem ajustados

$D_{BM}$  = densidade básica média da árvore ( $kg/m^3$ )

Para análise da densidade energética por hectare foram utilizados os dados do inventário da área (Miguel, 2014): 2473 indivíduos totalizando 80 espécies em uma área amostral de 2,16 há. Foram utilizados valores médios de densidade da árvore e o modelo ajustado para densidade energética.

## 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As espécies arbóreas do cerrado avaliadas neste estudo apresentaram valores de teor de material volátil entre 77 e 85,5% (média = 82,88%), teor de cinzas entre 0 e 1% (média = 0,27%), teor de carbono fixo entre 14 e 23% (média = 16,84%) (Tabela 1).

As espécies que apresentaram maiores valores para material volátil foram *Byrsonima laxiflora* Griseb. (85,63%), *Conarus perrotetti* (85,62%), *Sacoglottis guianensis* Benth. (85,95%), enquanto os menores valores foram registrados para as espécies *Ferdinandusa elliptica* (77,42%) e *Virola sebifera* (77,81%). O maior teor de cinzas foi registrado para a espécie *Ouratea ovallis* (0,83%) e o menor para a espécie *Bowdichia virgiloides* (0,02%). O teor de carbono fixo variou de 22,24% (*Helitroxum dafinitis*) a 14,09% (*Licania apetala*).

De acordo com Brito e Barrichelo (1978), a análise imediata de um combustível fornece a percentagem do material que se queima no estado gasoso (material volátil) e no estado sólido (carbono fixo), bem como dá uma indicação do material residual (cinzas).

Barcellos (2007) encontrou em sua pesquisa uma variação do carbono fixo entre as espécies nativas, já para plantadas encontrou pouca oscilação, o gênero *Eucalyptus* foi o que apresentou maiores valores para o carbono fixo quando comparado às espécies nativas. Vale *et al.* (2002) encontraram um valor médio de carbono fixo para madeiras do cerrado de 20,73%. Cintra (2009) encontrou valores entre 14,4% e 19,6% sendo os valores de carbono fixo encontrados por esse autor próximos dos encontrados nessa pesquisa. Chaves *et al.* (2013) e Barcellos (2007) enfatizam que o teor de carbono fixo apresenta uma relação negativa com o teor de materiais voláteis, fato evidenciado nesta pesquisa conforme mostrou a Figura 06.

Vale *et al.* (2002), Chaves *et al.* (2013), Brito e Barrichello (1982) preconizaram, em termos gerais para biomassa, teores de matérias voláteis entre 75% a 85% e de carbono fixo entre 15% a 25%. Cintra (2009) trabalhando com espécies florestais nativas no estado de São Paulo encontrou valores para materiais voláteis entre 79,6% e 84,9%. Os valores encontrados neste trabalho para essas variáveis estão dentro dessa margem.

O teor médio de cinzas pode ser considerado próximo aos de florestas plantadas no Brasil. Fengel e Wegener (1989) classificam o teor de cinzas em torno de 0,5% nas madeiras em geral. Vidaurre *et al.* (2012) em sua pesquisa encontraram teor médio de cinzas de 1,3% e consideraram esse valor alto quando comparado com teor de cinzas do Eucalipto. Morais *et al.* (2005) encontraram valor médio de 1,26% para madeira de *Pinus oocarpa* e justificaram o valor alto devido a madeira conter um teor de compostos inorgânicos mais elevado quando comparado com o de outras madeiras. Barcellos (2007) encontrou diferença no teor de cinzas conforme a espécie estudada. Vale *et al.* (2002) registraram valores entre 0,15% e 2,73% para 47 espécies do Cerrado, o que indica que os valores desta pesquisa estão dentro dos encontrados na literatura.

De acordo com Chaves *et al.* (2013), os materiais voláteis durante a queima da biomassa volatilizam rapidamente o que contribuir para uma baixa eficiência energética, uma vez que por ter uma volatilização rápida diminui o tempo de residência do combustível. O carbono fixo, por sua vez, tem relação direta com o poder calorífico. Um maior teor de carbono fixo no material implica em um maior tempo de residência do combustível. Um maior teor de carbono fixo no material implica em um maior tempo de residência do combustível. O carbono fixo tem relação direta com o poder calorífico, principalmente quando se trata de carvão vegetal, onde a faixa de variação é maior saindo de 6% em base seca da madeira para até 90% no carvão vegetal. Talvez seja este o motivo da baixa relação entre o poder calorífico superior e o teor de carbono fixo neste trabalho. Uma outra possível explicação pode ser a presença de extrativos.

Tabela 1. Análise imediata da madeira de 34 espécies lenhosas do Cerrado do Estado de Tocantins.

<b>Espécie</b>	<b>MV (%)</b>	<b>CZ (%)</b>	<b>CF (%)</b>
<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	81,52	0,30	18,18
<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	85,63	0,09	14,28
<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss	83,17	0,10	16,73
<i>Byrsonima sericea</i> A.Juss. B	83,39	0,37	16,24
<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.)	81,07	0,07	18,86
<i>Bowdichia virgiloides</i> Kunth.	85,58	0,02	14,40
<i>Connarus perrottetti</i> (DC.) Planch	85,62	0,06	14,32

Continuação...

<i>Connarus suberosus</i> Planch	83,98	0,43	15,59
<i>Dalbergia densiflora</i> Benth.	85,34	0,28	14,38
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers.	85,11	0,27	14,62
<i>Ferdinandusa elliptica</i> Pohl. Pl. Bras.	77,42	0,34	22,24
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	84,71	0,20	15,09
<i>Himatanthus sucuuba</i> (Spruce ex Mull. Arg.)	82,12	0,19	17,69
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	85,35	0,56	14,09
<i>Licania apetala</i> (E. Meyer) Fritsch.	82,29	0,33	17,38
<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	83,98	0,14	15,88
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	80,86	0,18	18,97
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	84,30	0,32	15,13
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taub.	83,30	0,33	16,37
<i>Miconia albicans</i> (Swartz)	82,24	0,54	17,22
<i>Miconia cuspidata</i> Mart. Ex Naudin.	81,79	0,37	17,84
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.)DC.	81,00	0,83	18,17
<i>Ouratea ovallis</i> (Pohl) Engl.	82,41	0,12	17,47
<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth.	84,44	0,04	15,52
<i>Parkia platycephala</i> Benth.	82,57	0,45	16,98
<i>Protium heptaphyllum</i> Mart.	81,19	0,22	18,59
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	85,95	0,36	13,69
<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	83,73	0,17	16,10
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	82,19	0,26	17,55
<i>Tachigali vulgaris</i> L. G. Silva & H. C. Lima.	82,68	0,31	17,00
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	77,81	0,40	21,79
<i>Virola sebifera</i> Aubl.	79,70	0,10	20,20
<i>Vochysia gardineri</i> Warm.	82,60	0,11	17,29
<i>Xylopia aromática</i> (Lam.) Mart.	82,88	0,27	16,84

O poder calorífico superior ficou entre 18.282 GJ/ton para a espécie *Parkia platycephala* e 20.121 GJ/ton para a espécie *Pouteria ramiflora* (média= 19.233 GJ/ton) (Tabela 2). Pinheiro *et al.* (2005) encontraram valores para o poder calorífico

superior de resíduo vegetal dentro da faixa de 18.810 GJ/ton a 20.900 GJ/ton independentemente da granulometria e densidade da biomassa, ou da madeira de origem no caso de serragem. Brito (1993) ressalta que a variação do poder calorífico superior para a madeira em geral está entre 14.630 GJ/ton a 20.900 GJ/ton. Os valores médios citados na literatura estão em concordância com os encontrados nessa pesquisa, ou seja, entre 18.282 GJ/ton e 20.121 GJ/ton. Couto *et al* (2004) citam valores de PCS para madeiras de 18.366 GJ/ton. Quirino *et al* (2005), estudando o poder calorífico superior de espécies florestais, encontraram valores entre 14.003 e 21,986 GJ/ton, e um valor médio de 19.779 GJ/ton; Vidaurre *et al.* (2012) registraram valor médio de 18.638 GJ/ton; e Vale *et al.* (2002) registraram valores de 18.876 a 20.854 GJ/ton em 47 espécies do Cerrado.

Os valores registrados para a densidade energética das 34 espécies analisadas estão dispostos na Tabela 2 e Figura 4. Os mesmos mostraram que as espécies com maiores potenciais energéticos são *Pouteria ramiflora* (15.006 Mcal/m<sup>3</sup>), *Miconia cuspidata* (16.177 Mcal/m<sup>3</sup>), e *Emmotum nitens* (15.977 Mcal/m<sup>3</sup>). Por outro lado, as espécies que apresentaram menor densidade energética foram: *Vochysia gardineri* (6.871 Mcal/m<sup>3</sup>), *Connarus perrottetti* (8.380 Mcal/m<sup>3</sup>) e *Byrsonima laxiflora* (9.315 Mcal/m<sup>3</sup>). O valor médio da densidade energética para as 34 espécies foi de 12.459 Mcal/m<sup>3</sup>.

Tabela 2. Dados com a densidade básica ( $\rho_b$ ), Poder calorífico superior (PCS) e densidade energética (DE) de 34 espécies arbóreas do Cerrado do Estado de Tocantins.

Nº	Espécie	$\rho_b$ (kg/m <sup>3</sup> )	PCS (GJ/ton)	DE (Mcal/m <sup>3</sup> )
1	<i>Aspidosperma subincanum</i> Mart.	721	19.515	14.061
2	<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	483	19.288	9.315
3	<i>Byrsonima pachyphylla</i> A.Juss.	650	19.012	12.354
4	<i>Byrsonima sericea</i> A.Juss.	663	19.300	12.793
5	<i>Bocageopsis multiflora</i> (Mart.)	573	19.248	11.024
6	<i>Bowdichia virgiloides</i> Kunth.	827	18.434	15.252
7	<i>Connarus perrottetti</i> (DC.) Planch	453	18.478	8.380
8	<i>Connarus suberosus</i> Planch	495	19.334	9.566

Continuação...

---

9	<i>Dalbergia densiflora</i> Benth.	742	19.317	14.331
10	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers.	841	18.987	15.977
11	<i>Ferdinandusa elliptica</i> Pohl. Pl. Bras.	633	19.485	12.337
12	<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	691	19.220	13.272
13	<i>Himatanthus succuba</i> (Spruce ex Mull. Arg.)	486	19.229	9.340
14	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	606	19.815	12.003
15	<i>Licania apetala</i> (E. Meyer) Fritsch.	736	19.018	13.988
16	<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	614	18.815	11.553
17	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	673	19.395	13.052
18	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	776	19.533	15.165
19	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meissn.) Taub.	708	19.923	14.109
20	<i>Miconia albicans</i> (Swartz)	674	18.912	12.753
21	<i>Miconia cuspidata</i> Mart. Ex Naudin.	845	19.153	16.177
22	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.)DC.	683	19.130	13.064
23	<i>Ouratea ovalis</i> (Pohl) Engl.	610	19.473	11.883
24	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth.	620	18.975	11.762
25	<i>Parkia platycephala</i> Benth.	641	18.282	11.722
26	<i>Protium heptaphyllum</i> Mart.	683	19.096	13.046
27	<i>Qualea parviflora</i> Mart.	691	19.168	13.241
28	<i>Sacoglottis guianensis</i> Benth.	634	19.386	12.296
29	<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	746	20.121	15.006
30	<i>Tachigali vulgaris</i> L. G. Silva & H. C. Lima.	724	20.105	14.551
31	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	549	18.894	10.373
32	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	631	19.213	12.128
33	<i>Vochysia gardineri</i> Warm.	352	19.500	6.871
34	<i>Xylopia aromática</i> (Lam.) Mart.	567	19.165	10.860

---



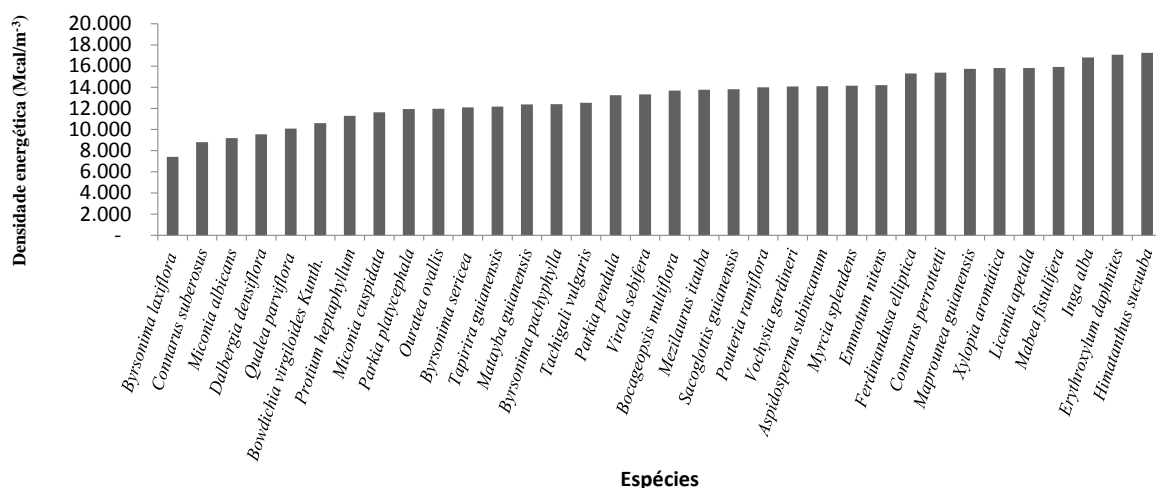


Figura 4. Densidade energética de 34 espécies arbóreas do cerrado de Tocantins.

Quando testadas as relações entre as variáveis da análise imediata (MV, CZ e CF), e o poder calorífico superior (PCS), foi detectada correlação entre MV e CF ( $R^2 = 0.9927$ ) (Tabela 3; Figura 5). O poder calorífico superior e a densidade básica das espécies não apresentaram relação significativa, uma vez que as espécies de alta densidade apresentaram baixo poder calorífico superior (Figura 6). A tabela 4 e figuras 7, 8,9 e 10 mostram as relações entre a densidade energética com as demais variáveis.

Tabela 3. Relação entre as variáveis Carbono Fixo (CF), Poder Calorífico Superior (PCS), Cinzas (CZ) e Material Volátil (MV) de espécies arbóreas do Cerrado.

Relação	$R^2$	F	p	Resíduo
C F x PCS	$2.606^{-05}$	0.001589	0.9683	0.0003241
C F x CZ	0.0004143	0.02529	0.8742	0.0136
M V x CF	0.9927	4207	$2.2^{-16}$	0.185
MV x CZ	0.01284	0.7931	0.3767	0.0005383
CZ x PCS	0.0004143	0.02529	0.8742	0.0136
MVx PCS	$1.689^{-05}$	1.689	0.9745	0.0005418

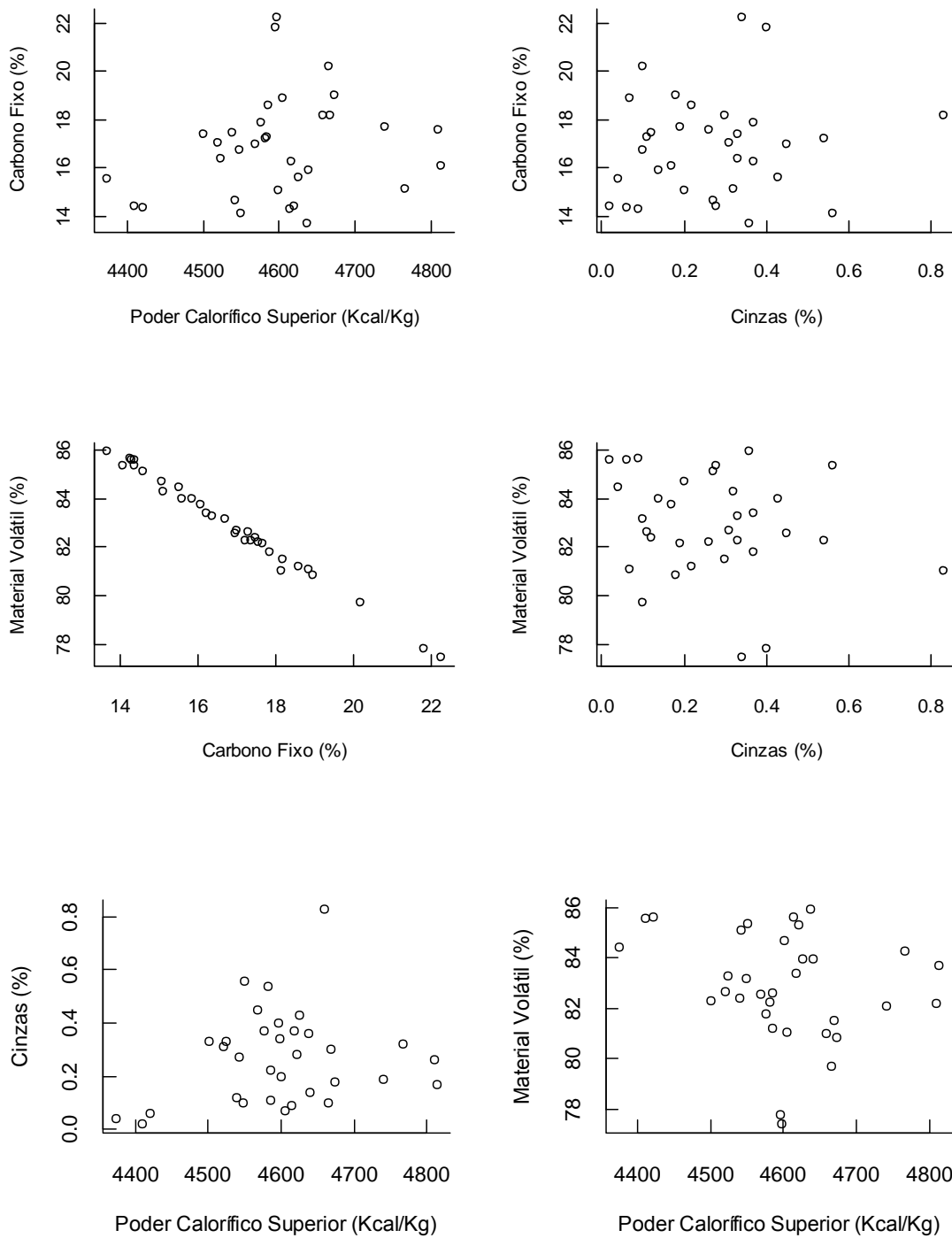


Figura 5. Relação entre as variáveis carbono fixo, cinzas, material volátil e poder calorífico Superior de espécies arbóreas do Cerrado no Tocantins.

Tabela 4. Relação entre as variáveis densidade básica ( $\rho_b$ ), Poder Calorífico Superior (PCS), Cinzas (CZ) e Material Volátil (MV) de espécies arbóreas de Cerrado de Tocantins.

Relação	R <sup>2</sup>	F	p	Resíduo
DB x PCS	6,03 <sup>-05</sup>	0,004705	0,94549	0,013738
DE x MV	0,001653	0,129144	0,720292	2,92 <sup>11</sup>
DE x CF	0,006186	0,485523	0,488003	2,9E <sup>11</sup>
DE x CZ	0,036694642	0,08872	0,08872	2,81 <sup>11</sup>
DE x Db	0,985211	5129,459	0,735273	3,35 <sup>11</sup>

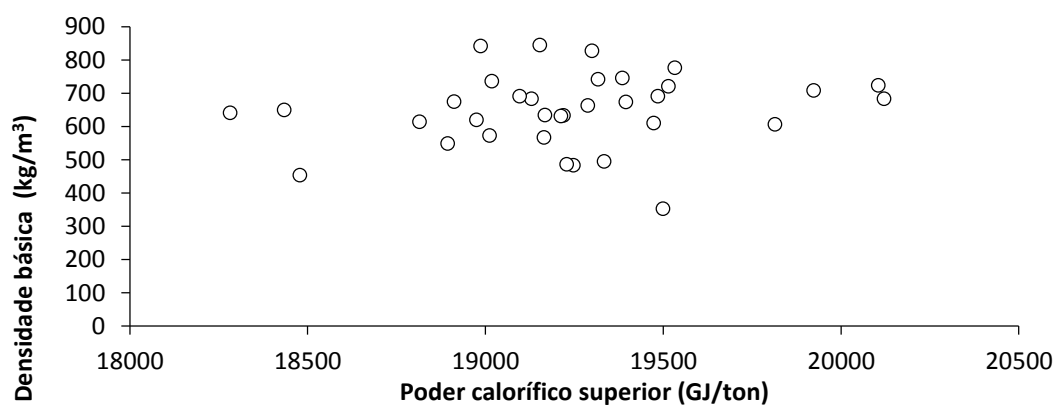


Figura 6. Relação entre poder calorífico superior e densidade básica de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.

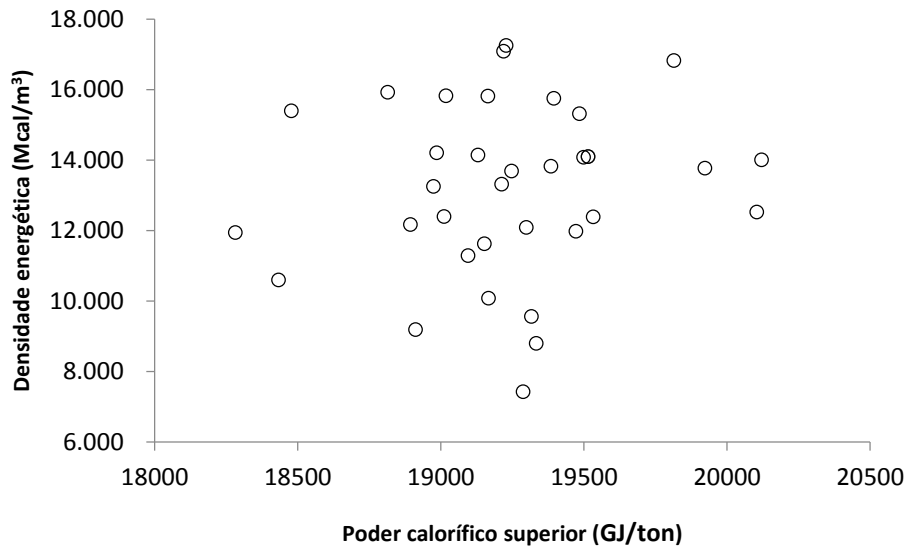


Figura 7. Relação entre densidade energética e poder calorífico superior de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.

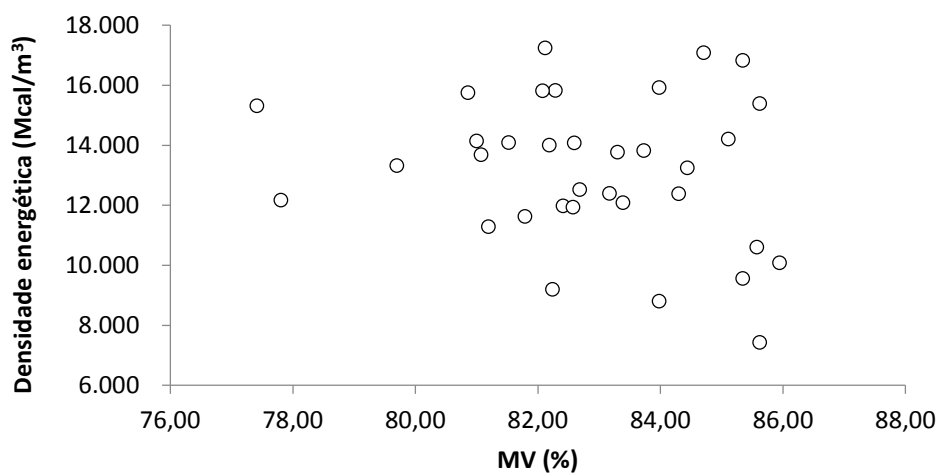


Figura 8. Relação entre densidade energética e teor de material volátil (MV) de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.

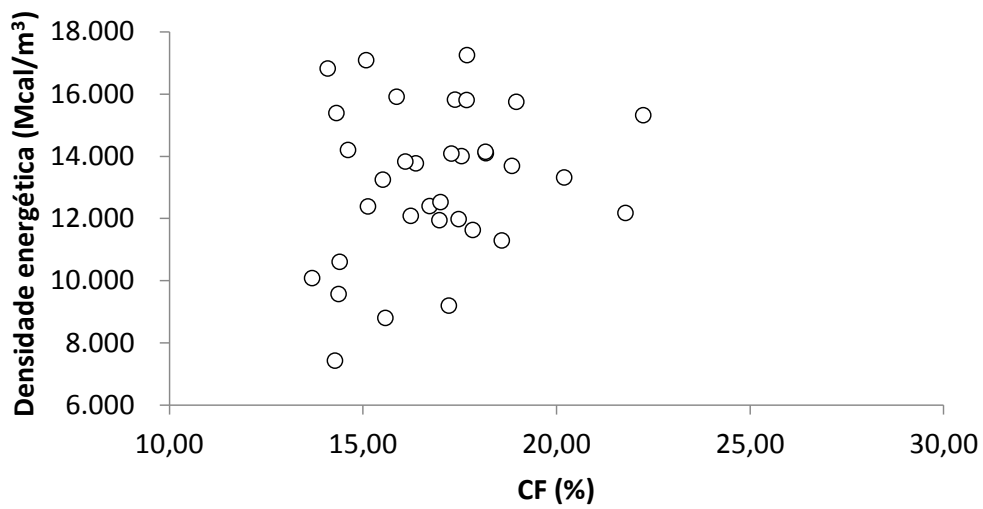


Figura 9. Relação entre densidade energética e teor de carbono fixo (CF) de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.

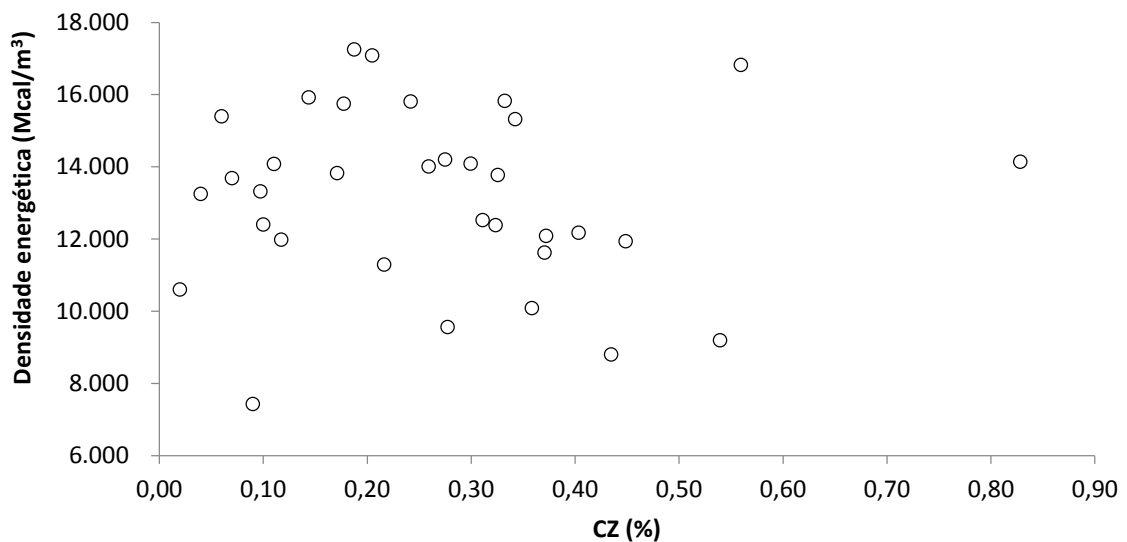


Figura 10. Relação entre densidade energética e teor de cinzas (cz) de 34 espécies arbóreas de Cerrado no Tocantins.

Segundo Vidaurre *et al.* (2012), Cunha *et al.* (1989), a densidade não tem relação direta com a quantidade de energia contida na madeira ambos mencionaram não haver correlação entre a densidade básica e o poder calorífico, como encontrado neste trabalho. No entanto, Vidaurre *et al.* (2012) ressaltam que quanto maior a densidade, maior a quantidade de energia contida por unidade de volume, o que estimula o interesse por madeiras mais densas para a queima.

Brito e Barrichelo (1977) concluíram que na escolha de madeiras para obtenção de carvão com melhores propriedades químicas (maiores teores em carbono fixo e menores teores em substâncias voláteis e cinzas), deve-se procurar aquelas que possuam altos teores de lignina e alta densidade básica. Isso proporciona um aumento na quantidade de matéria seca no forno. Quirino *et al.* (2005) concluíram, em sua pesquisa analisando poder calorífico superior e densidade básica de 108 espécies florestais, que o maior poder calorífico não corresponde à espécie de maior densidade básica.

Vale *et al.* (2005) afirmam que o melhor uso da madeira para produção de energia na forma de calor está ligada a maiores massas específicas, maiores teores de carbono fixo e menores teores de materiais voláteis. Souza (2010) relata em sua pesquisa que o parâmetro densidade poderá influenciar no poder calorífico de um material na medida em que, o calor gerado pela combustão está relacionado com o volume, assim madeiras e derivados mais densos, apresentaram maior poder calorífico por unidade volumétrica.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) demonstrou que 98% da variação da densidade energética registrada pode ser explicada pela densidade básica média da árvore, com erros médios percentuais inferiores a 2,1%, conforme o erro padrão da estimativa (Syx%). O modelo ajustado para estimativa da densidade energética em função da densidade básica apresenta-se na tabela 5.

A distribuição dos resíduos não ultrapassou uma variação de 6% tanto para subestimar ou superestimar a densidade energética da árvore pela densidade básica das 34 espécies (Figura 11).

Tabela 5. Ajuste do modelo para estimar a densidade energética da árvore (DE) em função da densidade básica da árvore.

Modelo	R <sup>2</sup> aj.	Syx	Syx (%)	F
DE= $\beta_0 + \beta_1 \cdot D_{BM}$				
DE=-1,25645+19,21955*D <sub>BM</sub>	0,98	277,06	2,15	4034,15

$\beta$ 's = Coeficientes estimados; R<sup>2</sup> Aj = Coeficiente de determinação Syx e Syx% = Erro padrão da estimativa e erro padrão da estimativa em percentagem; F = Valor de F da análise de variância, DE= densidade energética da árvore; D<sub>BM</sub>= densidade básica média da árvore.

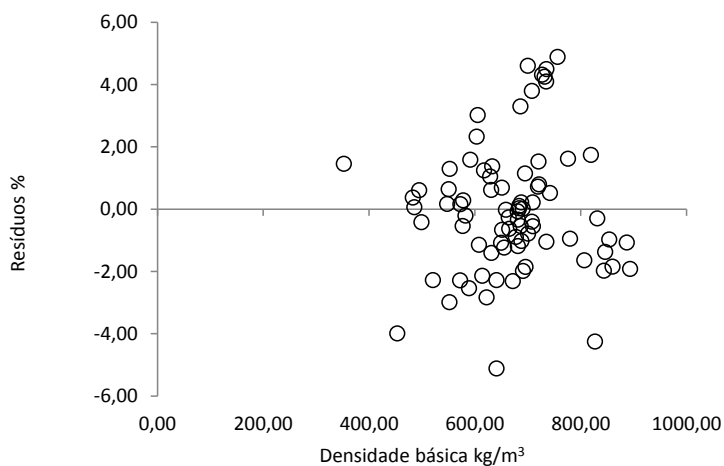


Figura 11- Distribuição dos resíduos de acordo com o modelo ajustado para determinação da densidade energética em função da densidade básica da árvore

Lima *et al.* (2007) no estudo do potencial energético de árvores de eucaliptos com 6 anos de idade encontrou 9.168 Mcal/m<sup>3</sup>; Pinheiro (2005) estudando a densidade energética de resíduos vegetais (cascas de frutos) encontrou valores de 400 a 2.600 Mcal/m<sup>3</sup>, Lima *et al.* (2011) ao analisar árvores de eucaliptos com seis anos de idade encontrou 11.103 Mcal/m<sup>3</sup> e Brito *et al.* (1983) ao analisar espécies de eucaliptos encontraram valores de 7.843 a 12.038 Mcal/m<sup>3</sup>. De acordo com Lima *et al.* (2011) a densidade energética considera a energia contida num determinado volume de madeira. A oscilação de valores para este estudo se manteve próximos aos valores encontrados na literatura oscilando de 6.871 a 16.177 Mcal/m<sup>3</sup> com de média de 12.459 Mcal/m<sup>3</sup>. Embora a diferença de valores médios da densidade energética na literatura não seja tão grande, são encontrados poucos estudos com espécies nativas.

A estimativa da densidade energética da área foi de 1.378.541 Mcal/há. O modelo proposto para o cálculo de densidade energética em função da densidade básica facilita os levantamentos energéticos de áreas a serem exploradas, pois será necessário obter somente os valores de densidade básica sem a necessidade da análise de poder calorífico.

O conhecimento do potencial energético das espécies nativas analisadas permite avançar nas pesquisas para eventuais melhorias na qualidade da madeira de espécies voltadas para a produção energética florestal sustentável.

## 2.5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pode-se concluir:

- A espécie que apresentou o maior potencial energético foi a *Emmotum nitens* e a que apresentou menor potencial foi a espécie *Vochysia gardineri*;
- Dados da análise imediata e poder calorífico superior mostraram-se próximos aos da literatura para espécies exóticas e para espécies do cerrado brasileiro;
- Com o modelo ajustado pode-se calcular a densidade energética das espécies em função da densidade básica das mesmas;

Pela variabilidade da densidade energética, poder calorífico superior e análise imediata das espécies estudadas pode-se indicar as que apresentaram maiores valores de densidade energética para programas de melhoramentos genético visando a seleção de matrizes para produção energética.



## 2.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. M.; CARVALHO, L. M. 1998. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do Estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 5, n. 1, p. 24-42.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, GERD. 2014. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (BEN). Disponível em <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 15 Abril. 2014.

BARCELLOS, D. C. 2007. **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. Tese de Doutorado, Viçosa-MG. UFV. 140p.

BAUER, K. 2003. **Development and optimisation of a low-temperature drying schedule for Eucalyptus grandis (Hill) ex Maiden in a solar-assisted timber dryer**. (Tese de Doutorado em Ciências Agrárias, Fakultät Agrarwissenschaften der Universität Hohenheim). Hohenheim, 178 p.

BOND, B. 2006. **Design and Operation of a Solar-Heated Dry Kiln**. Virginia Tech. 10 p.

BOWYER, J. L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J. G. 2003. Forest products and wood science. An Introduction. **Blackwell Publishing**. New York.

BRAND, M.A. 2010. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro, Ed. Interciência, 131 p.

BRASIL, M. A. M.; VEIGA, R. A. A.; MELLO, H. A. 1979. Densidade básica de madeira de *eucalyptus grandis hill ex maiden*, aos 3 anos de idade. **IPEF**, n.19, p. 63-76.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; SEIXAS, F. 1983. Análise da Produção Energética e de Carvão Vegetal de Espécies de Eucalipto. São Paulo: ESALQ, **IPEF**, n. 23, p. 53-56.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. 1978. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, n. 16, p. 63-70.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. 1977. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: i. Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. São Paulo: **IPEF**, n. 14, p. 9-20.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. 1982. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: **seminário de abastecimento energético industrial com recursos florestais**, 2., São Paulo. São Paulo, p. 101-137.

BRITO J. O. 2007. O uso energético da madeira. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59.

BRITO, J. O. 1993. Expressão da produção florestal em unidades energéticas. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7. Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBS, SBEF, p. 280-282.

BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G.; MEINZER, F. C.; SCHOLZ, F. G.; FRANCO, A. C.; BUSTAMANTE, M. 2004. Functional convergence in hydraulic architecture and water relations of tropical savanna trees: from leaf to whole plant. **Tree Physiology**, v. 24, p. 891-899.

CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA – CENBIO. 2003.. **Panorama do potencial de biomassa no Brasil**. Brasília; Dupligráfica, 80 p.

CHAVE, J.; MULLER-LANDAU, H. C.; BAKER, T. R.; EASDALE, T. A.; STEEGE, H. T.; WEBB, C. O. 2006. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. **Ecological Applications**, v. 16, p. 2356–2367.

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

CINTRA, T. C. 2009. **Avaliação energética de espécies florestais nativas plantadas na região do médio Paranapanema, SP**. Dissertação Mestrado, Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 84 p.

COLEN, A. G. N.; SILVA, D. S.; MARTINS, A. K. E. 2007. Elaboração de mapas de Geounidades do Parque Estadual de Lajeado no município de Palmas – TO. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, p. 2455-2462.

COSTA, V. E. 2006. **Caracterização físico-energética da madeira e produtividade de reflorestamentos de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla***. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu.

COSTA, V. J.; BRAND, M. A.; DURIGON, A. 2004. **Modelo matemático para secagem de madeira em estufa**. Lages: Ed. do Autor.

COUTO, L.; MÜLLER, M. D. 2008. **Florestas energéticas no Brasil**. In: CORTEZ, LUÍS AUGUSTO BARBOSA. Biomassa para energia. Campinas, SP: Editora da Unicamp, p. 93-110.

COUTO L. C. C.; COUTO, L.; WATSLAVIC, L. F.; FARINHA, L. 2004. Vias de valorização energética. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p. 71-92.

CUNHA, M. P. S. C. 1989. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3. São Carlos. **Anais...** São Carlos, v. 2. p. 93-121.

DRAPER, N. R.; SMITH, H. 1981. **Applied regression analysis**. New York: J. Wiley. 709p.

DUBOC, E. 2008. **O Cerrado e o setor florestal brasileiro**. Planaltina, DF: EMBRAPA CERRADOS, 42 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2007. **A EMBRAPA nos Biomas Brasileiros**.

FELFILI, J. M.; CARVALHO, F. A.; LIBANO, A. M.; VENTUROLI, F.; PEREIRA,

B. A. S.; MACHADO, E. L. M. 2011. Análise Multivariada: princípios e métodos em estudos da vegetação. In: FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. (Eds.). **Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos**. Viçosa, MG: Ed. UFV.

FENGEL, D.; WEGENER, G. 1989. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: Walter de Gruyter, 613 p.

FRANZOI, L. C. N. 2000. **A secagem da madeira em estufa: secagem artificial**. Bento Gonçalves: SENAI, 82 p.

JATI, S. R.; FEARNSIDE, P. M.; BARBOSA, R. I. 2014. Densidade da madeira de árvores em savanas do norte da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, v. 44, n. 1, p. 79 - 86,

KLITZKE, R. J. 2007. Secagem da Madeira. In: OLIVEIRA, J. T. da S.; FIEDLER, N. C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias Aplicadas ao Setor Madeireiro**. Jerônimo Monteiro: Suprema, p. 271-342.

LIMA, J. T. 2004. Deformações residuais longitudinais decorrentes de tensões de crescimento em eucaliptos e suas associações com outras propriedades. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 107-116.

LIMA, E. A. 2010. Alternativa para estimar o preço da madeira para energia. **Comunicado técnico**, ISSN 1517-5030, Colombo, PR.

LIMA, E. A. 2007. **Caracterização individual de árvores de *E. benthamii* para uso energético**. Colombo: *Embrapa Florestas*, 25p. (Embrapa Florestas, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 35).

LIMA E. A. 2011. Caracterização dendroenergética de árvores de *Eucalyptus benthamii*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 65, p. 9-17.

LORENZI, H. 1992. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e Cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. Nova Odessa – SP: Editora Palntarum. 350 p.

MARQUES, M. H. B. 2008. **Agrupamento de 41 espécies de madeiras da Amazônia para secagem baseado em características anatômicas e físicas**. (Tese de Doutorado em Ciências Florestais, na Universidade de Brasília - UnB). Brasília, 125 p.

MARQUES, S. S.; OLIVEIRA, J.T. S.; PAES, J. B.; ALVES, E. S.; SILVA, A. G.; FIEDLER, N. C. 2012. Estudo comparativo da massa específica aparente e retratibilidade da madeira de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* LAM.) nativa e de reflorestamento. **Revista Árvore**, v. 36, n. 2, p. 373-380.

MEIRA, A. M. 2002. **Diagnóstico Sócio-Ambiental e Tecnológico da Produção de Carvão Vegetal do Município de Pedra Bela Estado de São Paulo**. Tese de Mestrado, Piracicaba-SP. ESALQ/USP. 99 p.

MIGUEL, E. P. 2014. **Caracterização da flora e da produção em volume, biomassa e carbono da vegetação arbórea em área de cerrado no estado do Tocantins**. (Tese de Doutorado em Ciências Florestais, na Universidade de Brasília - UnB). Brasília-DF.

MORAIS, S. A. L., NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. 2005. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* PARTE I – Estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 29, n. 3, p. 461-470.

MORESCHI, J. C. 2012. **Propriedades da madeira**. Curitiba, PR: UFPR, 4ª edição, 192p.

MULLER-LANDAU, H. C. 2004. Interspecific and inter-site variation in wood specific gravity of tropical trees. **Biotropica**, v. 36, p. 20-32.

NASCIMENTO, M. D.; BIAGGIONI, M. A. M. 2010. Avaliação energética do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria seropédica. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 3, p. 104-117.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. 2005. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 29, n. 1, p. 115-127.

OLIVEIRA, A. C.; ROCHA, M. F. V.; PEREIRA, B. L.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; VITAL, B. R. 2012. Avaliação de diferentes níveis de desbaste nas propriedades da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 59-68.

OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M.; TRUGILHO, P. F.; SCOLFORO, J. R. S.; ALTOÉ, T. F.; SILVA-NETO, A. J.; OLIVEIRA, A. D. 2012. Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira em diferentes fitofisionomias do estado de Minas Gerais. **Cerne**, v. 18, p. 345-352.

PAULA, J, E. 2005. Caracterização anatômica de madeiras de espécies nativas do cerrado visando sua utilização na produção de energia. **Revista Cerne**, v. 11, n. 1, p. 090-100.

PÉLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. 1997. **Inventário Florestal**. Curitiba, 316 p.

PINHEIRO, P. C. C.; SAMPAIO, R. S.; REZENDE, M. E. A.; VIANA, E. A. 2006. **Produção de carvão vegetal: Teoria e Prática**. Belo Horizonte: edição do autor, 120 p.

PINHEIRO, G. F.; RENDEIRO, G. PINHO, J. T. 2005. Densidade energética de resíduos vegetais. **Biomassa e Energia**, v. 2, n. 2, p. 113- 123.

PRESTON, K. A.; CORNWELL, W. K.; DENOYER, J. L. 2006. Wood density and vessel traits as distinct correlates of ecological strategy in 51 California coast range angiosperms. **New Phytologist**, v. 170, p. 807–818.

PRINGLE, L. 1997. **Ecologia: a ciência da sobrevivência**. Rio de Janeiro: biblioteca do Exército. 52 p.

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

R Development Core Team. 2011. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>

RATTER, J. A. 1971. Some notes on two types of cerrado occurring in northeastern Mato Grosso. In: FERRI, M. G. (org.). **III Simpósio sobre o Cerrado**. São Paulo, Ed. Edgard Blucher Ltda. p. 100-102.

RENDEIRO, G. 2008. **Combustão e gasificação de biomassa sólida**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 192 p.

RIBEIRO, F. A.; FILHO, J. Z. 1993. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de eucalyptus spp. **IPEF**, n. 46, p. 76-85.

REGAZZI, A. J.; LEITE, H. G. 1992. **Análise de regressão e aplicações em manejo florestal**. DEF/SIF/UFV. Viçosa, MG. 235 p.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. 1998. Fitofisionomia do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P. (Coords.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: EMBRAPA, p. 47-86.

RIZZINI, C. T. 1971. **Árvores e Madeiras Úteis do Brasil: Manual de Dendrologia Brasileira**. São Paulo: E. Blucher, 294 p.

ROGERO, M.; ALMEIDA, R. S. R.; TACCINI, M. M.; BRITO, J. O. 2010. **Poder calorífico superior da madeira de *Eucalyptus urograndis***. São Paulo: ESALQ.

SIH, G. C. 1974. Strain – energy- density factor applied to mixed mode crack problems. **International Journal of fracture**, v. 10, n. 3.

SILVA FILHO, D. F.; ROCHA, J. S.; MOURA, J. B. 1992. Influência da densidade na dureza janka em oito espécies madeireiras da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, v. 22, n. 2, p. 275 – 283.

SILVA, G. F.; PINTO, J. R. R.; ENCINAS, J. I. 2005. Idade e Crescimento das Árvores. **Comunicações Técnicas Florestais**, Brasília, v. 7, n. 1.

SILVA, L. B.; SANTOS, F. A. R.; GASSON, P.; CUTLER, D. 2009. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (Fabaceae), espécie endêmica da caatinga do Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 436-445.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. 2013. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**, v. 43, n. 2, p.179 – 184.

SOUZA, M. M. 2010. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L.** Dissertação de mestrado, Curitiba: UFPR, , 76 p.

TEIXEIRA, M. I. J. G.; ARAUJO, A. R. B.; VALERI, S. V.; RODRIGUES, R. R. 2004. Florística e fitossociologia de área de cerrado s.s. no Município de Patrocínio Paulista, nordeste do estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 1-11.

TRUGILHO, P. F. 2008. **Energia da biomassa florestal**. Lavras, MG: UFLA, 17 p.

TRUGILHO, P. F. 2005. **Tensão de crescimento em árvores vivas de clones de *Eucalyptus* spp. e de *Eucalyptus dunnii* Maiden. e propriedades de sua madeira.** (Tese de Pós- Doutorado em Engenharia Florestal, na Universidade Federal do Paraná – UFPR). Curitiba, 167 p.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A.; FRAZÃO, F. J. L.; MATOS, J. L. M. 1990. Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. **Acta Amazônica**, v. 20, p. 307 – 319.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; MARTINS, I. S. 1999. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* Willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85 – 92.

VENTURA FILHO, A. 2009. **O Brasil no contexto energético mundial**. NAIPE/USP, São Paulo, v. 6.

VIDAURRE, G. B.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R., SANTOS, R. C.; VALLE, M. L. A. 2012. Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 36, n. 2, p. 365-371.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SILVESTRE, R.; KOEBLER, H. S. 2008. Determinação da densidade básica da madeira de cedro (*Cedrela fissilis Vell.*) ao longo do fuste. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.1, n. 1.

WILLIAMSON, G.B.; WIEMANN, M.C. 2011. Age versus size determination of radial variation in wood specific gravity: lessons from eccentrics. **Trees**, v. 25, p. 585-591.