

UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS

DISSERTAÇÃO

**Caracterização química, física e mecânica da madeira de
cinco espécies do Sahel Africano**

Wanessa Aparecida Santos

2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FÍSICA E MECÂNICA DA MADEIRA
DE CINCO ESPÉCIES DO SAHEL AFRICANO**

WANESSA APARECIDA SANTOS

Sob a orientação da Professora

Rosilei Aparecida Garcia

e

Co-orientação do Professor

Roberto Carlos Costa Lelis

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Seropédica, RJ
Abril de 2014

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

WANESSA APARECIDA SANTOS

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/04/2014

Rosilei Aparecida Garcia. Prof^a. Dr^a. UFRRJ
(Orientadora)

Luiz Fernando de Moura. Dr. ESALQ/ USP

Heber dos Santos Abreu. Prof. Dr. UFRRJ

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me amparar nos momentos mais difíceis desta caminhada, pois só ele é digno de toda honra, glória e louvor e por todas as bênçãos que recebo em minha vida.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), por me proporcionar tantos ensinamentos e bons momentos de alegria e felicidades e pelos amigos que aqui encontrei aos quais jamais me esquecerei.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de mestrado.

À minha orientadora Professora Rosilei A. Garcia pela orientação durante todos esses anos, por toda atenção, dedicação, credibilidade e amizade, muito obrigado.

Ao meu co-orientador Professor Roberto Carlos Costa Lelis por toda atenção e pela ajuda nos momentos que mais precisei.

Aos pesquisadores Dr. John Weber e Dr^a Carmen Sotelo Montes do World Agroforestry Center - ICRAF/ West and Central Africa Regional Office - WCA (Bamako, Mali) por disponibilizar as amostras de madeira e possibilitar a realização deste estudo.

Ao Department of Foreign Affairs and International Trade (Canadá) e ao Programa Emerging Leaders in the Americas (ELAP) pelo apoio financeiro concedido.

À Université Laval e ao Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables (CRMR), Québec-Canadá, por me receber durante um estágio de seis meses.

Aos Professores Dr. Roger Hernández e Dr. Ives Fortin e todos do CRMR pelo carinho e apoio na realização deste estudo.

Ao Professor Alexandre Miguel do Nascimento, pelos conselhos em estatística.

À minha família, por sempre me apoiarem, minha eterna gratidão.

Aos meus pais Valdivio e Solange, pelo esforço, pelo amor, pelo carinho, por toda dedicação e apoio sempre. Ao meu irmão Wellington, por me apoiar sempre e acreditar em mim em todos os momentos desta caminhada.

Ao meu noivo Juan Robert Dias Vidal, pelo amor, carinho, companheirismo e dedicação, estando sempre presente em todos os momentos mais difíceis.

À minha amiga e companheira de todas as horas ao longo desses oito anos, Dallyene da Silva Poubel o meu muito obrigado!

Aos meus amigos, Carlos Henrique, Letícia Ramos, Pollyanna Rodrigues, Nicelle Mendes, Bruna Ugulino, Erika Sayuri Naruzawa, Leandro Passarini, Jedi Alvarado Rosero e Wilberg Nascimento, por proporcionaram grandes momentos de aprendizagem constante e pela amizade solidificada, que certamente se eternizará.

À todos os aqueles que contribuíram para realização deste trabalho e que me apoiaram em todos os momentos desta importante etapa em minha vida.

RESUMO

SANTOS, Wanessa Aparecida. **Caracterização química, física e mecânica da madeira de cinco espécies do Sahel Africano**. 2014. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

O objetivo geral deste estudo foi a caracterização química, física e mecânica da madeira de cinco espécies do Sahel Africano: *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis* e *Piliostigma reticulatum* provenientes de quatro regiões da República do Níger. Os objetivos específicos foram avaliar o efeito do local de crescimento na densidade aparente, na cor, no teor de extrativos e na rigidez das madeiras; e determinar as correlações entre a cor e o teor de extrativos a fim de verificar o potencial da colorimetria para a seleção de espécies ricas em taninos. Foram utilizados discos e baguetas de madeira provenientes de árvores de populações naturais coletadas em quatro regiões: 1- La Tapoa-Ouallam, 2- Gaya-Dogondoutchi, 3- Tafouka-Bouza e 4- Aguié-Kornaka. Os discos foram utilizados para as análises colorimétricas e extrativos enquanto que as baguetas foram utilizadas para determinar o módulo de elasticidade dinâmico nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras. As medições de cor foram realizadas com um espectrofotômetro portátil no espaço CIE $L^*a^*b^*$. O módulo de elasticidade dinâmico foi determinado pelo método não destrutivo de ultrassom. O local de crescimento afetou apenas a densidade aparente da madeira de *Guiera senegalensis*, sendo as madeiras da região 3 as mais densas. As maiores densidades aparentes foram observadas para as madeiras de *Combretum micranthum* e *Combretum nigricans*, enquanto que a menor densidade aparente foi obtida para a madeira de *Piliostigma reticulatum*. A espécie *Guiera senegalensis* apresentou a madeira mais escura enquanto que as espécies *Combretum glutinosum* e *Combretum nigricans* apresentaram as madeiras mais claras. A madeira de *Combretum micranthum* apresentou mais pigmento vermelho (a^*) e mais tanino enquanto que as espécies de *Combretum* apresentaram os maiores valores de b^* (amarelo). O local de crescimento afetou a cor da madeira de todas as espécies. Os maiores teores de taninos foram encontrados para as madeiras de *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* e *Guiera senegalensis* enquanto que as madeiras de *Piliostigma reticulatum* e *Combretum nigricans* apresentaram os menores teores. As madeiras de *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans* e *Guiera senegalensis* da região 1 apresentaram uma correlação significativa entre tanino e as coordenadas b^* e L^* . As madeiras de *Piliostigma reticulatum* das regiões 3 e 4 com maiores teores de extrativos são mais avermelhadas que das demais regiões. A madeira de *Combretum nigricans* apresentou os maiores módulos de elasticidade enquanto que a madeira de *Piliostigma reticulatum* apresentou os menores módulos. O local de crescimento afetou o módulo de elasticidade dinâmico no sentido perpendicular às fibras da madeira de todas as espécies, com exceção da madeira de *Combretum nigricans*. Para o módulo de elasticidade dinâmico no sentido paralelo às fibras, o local de crescimento afetou apenas a madeira de *Combretum micranthum*.

Palavras-chave: colorimetria, módulo de elasticidade dinâmico, tanino.

ABSTRACT

SANTOS, Wanessa Aparecida. **Chemical, physical and mechanical characterization of the wood of five species from African Sahel.** 2014. 71p. Dissertation (Master in Environmental and Forestry Science) Instituto de Floresta, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2014.

The principal objective of this study was the chemical, physical and mechanical characterization of the five wood species from African Sahel: *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis* and *Piliostigma reticulatum* from four regions of the Niger Republic. The specific objectives were to evaluate the effect of the growing site on specific gravity, color, extractive content and stiffness of the wood, and determine the relationship between wood color and extractive content in order to verify the potential of the colorimetry to select species rich in tannins. Wood discs and increment core from trees of natural plantations were used, which were collected in four regions: 1-La Tapoa-Ouallam, 2-Gaya-Dogondoutchi, 3-Tafouka-Bouza and 4-Aguie-Kornaka. The discs were used for color and extractives analysis while increment core were used to determine the dynamic modulus of elasticity in parallel and perpendicular to the grain. Color measurements were taken by the portable spectrophotometer in the CIE L*a*b* space. Dynamic modulus of elasticity was determined by the ultrasonic nondestructive method. The growing site affected only the *Guiera senegalensis* wood specific gravity and the region 3 had the denser woods. Higher densities were observed to *Combretum micranthum* and *Combretum nigricans* woods while the lower density was obtained to *Piliostigma reticulatum* wood. *Guiera senegalensis* species presented the darker wood while *Combretum glutinosum* and *Combretum nigricans* species presented the lighter woods. *Combretum micranthum* wood had more red hue (a*) and more tannin while *Combretum* woods presented the highest b* values (yellow). Growing site affected the color of the all wood species. The highest tannin content were found *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* and *Guiera senegalensis* woods while *Piliostigma reticulatum* and *Combretum nigricans* had the lowest contents. *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans* and *Guiera senegalensis* wood from region 1 presented a significant correlation between tannin and b* and L* coordinates. *Piliostigma reticulatum* wood from regions 3 and 4 with high extractive content are redder than other regions. *Combretum nigricans* woods presented the highest while *Piliostigma reticulatum* had the lowest modulus of elasticity. Growing site affected the dynamic modulus of elasticity in perpendicular to the grain to all wood species, except to *Combretum nigricans*. For dynamic modulus of elasticity in parallel to the grain, the growing site affected only the *Combretum micranthum* wood.

Keywords: colorimetry, dynamic modulus of elasticity, tannin.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Total de amostras de discos e baguetas utilizadas para cada espécie de madeira.....	20
Tabela 2.	Valores médios obtidos para a densidade aparente dos discos de madeira das cinco espécies africanas para diferentes regiões.....	24
Tabela 3.	Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira das cinco espécies africanas.....	25
Tabela 4.	Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de <i>Combretum glutinosum</i> para diferentes regiões.....	29
Tabela 5.	Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de <i>Combretum micranthum</i> para diferentes regiões.....	30
Tabela 6.	Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de <i>Combretum nigricans</i> para diferentes regiões.....	31
Tabela 7.	Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de <i>Guiera senegalensis</i> para diferentes regiões.....	32
Tabela 8.	Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de <i>Piliostigma reticulatum</i> para diferentes regiões.....	33
Tabela 9.	Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira das cinco espécies africanas.....	34
Tabela 10.	Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira de <i>Combretum glutinosum</i> para diferentes regiões.....	35
Tabela 11.	Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira de <i>Combretum micranthum</i> para diferentes regiões.....	36
Tabela 12.	Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira de <i>Combretum nigricans</i> para diferentes regiões.....	37
Tabela 13.	Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira de <i>Guiera senegalensis</i> para diferentes regiões.....	37
Tabela 14.	Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira de <i>Piliostigma reticulatum</i> para diferentes regiões.....	38

Tabela 15.	Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira das cinco espécies africanas.....	39
Tabela 16.	Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de <i>Combretum glutinosum</i> para diferentes regiões.....	39
Tabela 17.	Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de <i>Combretum micranthum</i> para diferentes regiões.....	40
Tabela 18.	Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de <i>Combretum nigricans</i> para diferentes regiões.....	40
Tabela 19.	Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de <i>Guiera senegalensis</i> para diferentes regiões.....	40
Tabela 20.	Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de <i>Piliostigma reticulatum</i> para diferentes regiões.....	41
Tabela 21.	Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulo de elasticidade dinâmico da madeira das cinco espécies africanas.....	42
Tabela 22.	Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo (MOE _{//}) e perpendicular (MOE _⊥) às fibras da madeira de <i>Combretum glutinosum</i> para diferentes regiões.....	47
Tabela 23.	Análise de correlação de Pearson entre os módulos de elasticidade paralelo (MOE _{//}) e perpendicular (MOE _⊥) às fibras da madeira de <i>Combretum glutinosum</i> e as variáveis densidade aparente e velocidade de propagação da onda ultrassônica.....	47
Tabela 24.	Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo (MOE _{//}) e perpendicular (MOE _⊥) às fibras da madeira de <i>Combretum micranthum</i> para diferentes regiões.....	50
Tabela 25.	Análise de correlação de Pearson entre os módulos de elasticidade paralelo (MOE _{//}) e perpendicular (MOE _⊥) às fibras da madeira de <i>Combretum micranthum</i> e as variáveis densidade aparente e velocidade de propagação da onda ultrassônica.....	51

Tabela 26.	Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOE [⊥]) às fibras da madeira de <i>Combretum nigricans</i> para diferentes regiões.....	53
Tabela 27.	Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOE [⊥]) às fibras da madeira de <i>Guiera senegalensis</i> para diferentes regiões.....	53
Tabela 28.	Análise de correlação de Pearson entre os módulos de elasticidade paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOE [⊥]) às fibras da madeira de <i>Guiera senegalensis</i> e as variáveis densidade aparente e velocidade de propagação da onda ultrassônica.....	54
Tabela 29.	Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOE [⊥]) às fibras da madeira de <i>Piliostigma reticulatum</i> para diferentes regiões.....	57
Tabela 30.	Análise de correlação de Pearson entre os módulos de elasticidade paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOE [⊥]) às fibras da madeira de <i>Piliostigma reticulatum</i> e as variáveis densidade aparente e velocidade de propagação da onda ultrassônica.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Características da espécie <i>Combretum glutinosum</i> (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).....	4
Figura 2.	Características da espécie <i>Combretum micranthum</i> (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).....	5
Figura 3.	Características da espécie <i>Combretum nigricans</i> (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).....	6
Figura 4.	Características da espécie <i>Guiera senegalensis</i> (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).....	7
Figura 5.	Características da espécie <i>Piliostigma reticulatum</i> (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).....	8
Figura 6.	(A) Espaço de cor tridimensional do sistema CIE L*a*b*. L*: luminosidade. a* e b*: variáveis cromáticas. C* e h: saturação e ângulo de coloração, respectivamente (JOHANSSON, 2005). (B) Diagrama de cromaticidade a* e b* (KONICA MINOLTA, 1998).....	11
Figura 7.	Taninos hidrolisáveis (QUEIROZ et al., 2002).....	13
Figura 8.	Taninos condensados. (a) unidade de flavonóide, (b) flavan-3-ol, (c) tanino condensado (QUEIROZ et al., 2002).....	14
Figura 9.	Mapa da República do Níger (Oeste da África), dividida em sete departamentos (Tillabéri, Dosso, Tahoua, Maradi, Zinder, Diffa e Agadez) e um distrito, capital Niamey.....	18
Figura 10.	Localização das quatro unidades amostrais ou transectos: 1- La Tapoa-Ouallam, 2- Gaya-Dogondoutchi, 3- Tafouka-Bouza, 4- Aguié-Kornaka. Os pontos representam o georreferenciamento dos locais de coleta das amostras de madeira.....	19
Figura 11.	Discos de madeira utilizados para as análises colorimétricas e determinação do teor de extrativos. A. <i>Combretum glutinosum</i> . B. <i>Combretum micranthum</i> . C. <i>Combretum nigricans</i> . D. <i>Guiera senegalensis</i> . E. <i>Piliostigma reticulatum</i>	20
Figura 12.	Determinação do teor de extrativos em água quente. (A) Madeira moída. (B) Material em refluxo. (C) Obtenção do teor de extrativos.....	21
Figura 13.	Determinação do teor de tanino condensável.....	22
Figura 14.	(A) Suporte de plexiglás utilizado para acondicionamento das baguetas de madeira das cinco espécies africanas. (B) Dispositivo utilizado para determinar o módulo de elasticidade dinâmico das baguetas de madeira (YANG & FORTIN, 2001).....	23

Figura 15.	Comparação da luminosidade (L^*) da madeira entre as espécies africanas.....	26
Figura 16.	Comparação da tonalidade vermelha (a^*) da madeira entre as espécies africanas.....	26
Figura 17.	Comparação da tonalidade amarela (b^*) da madeira entre as espécies africanas.....	27
Figura 18.	Variáveis colorimétricas (L^* , a^* e b^*) obtidas para a madeira das cinco espécies africanas.....	28
Figura 19.	Efeito do local de crescimento na luminosidade (L^*) da madeira de <i>Combretum glutinosum</i>	29
Figura 20.	Efeito do local de crescimento na tonalidade vermelha (a^*) da madeira de <i>Combretum micranthum</i>	30
Figura 21.	Efeito do local de crescimento na tonalidade amarela (b^*) da madeira de <i>Combretum micranthum</i>	31
Figura 22.	Efeito do local de crescimento na tonalidade vermelha (a^*) da madeira de <i>Guiera senegalensis</i>	32
Figura 23.	Efeito do local de crescimento na tonalidade amarela (b^*) da madeira de <i>Piliostigma reticulatum</i>	33
Figura 24.	Comparação do módulo de elasticidade dinâmico paralelo ($MOEd_{//}$) às fibras da madeira entre as cinco espécies africanas.....	43
Figura 25.	Comparação do módulo de elasticidade dinâmico perpendicular ($MOEd_{\perp}$) às fibras da madeira entre as cinco espécies africanas.....	43
Figura 26.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico nos sentidos paralelo e ($MOEd_{//}$) e perpendicular ($MOEd_{\perp}$) às fibras e a densidade aparente da madeira para as cinco espécies africanas.....	44
Figura 27.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo ($MOEd_{//}$) e perpendicular ($MOEd_{\perp}$) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira das cinco espécies africanas.....	45
Figura 28.	Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade dinâmico perpendicular ($MOEd_{\perp}$) às fibras da madeira de <i>Combretum glutinosum</i>	47
Figura 29.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo ($MOEd_{//}$) e perpendicular ($MOEd_{\perp}$) às fibras e a densidade aparente da madeira de <i>Combretum glutinosum</i>	48
Figura 30.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo ($MOEd_{//}$) e perpendicular ($MOEd_{\perp}$) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira de <i>Combretum glutinosum</i>	49

Figura 31.	Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) às fibras da madeira de <i>Combretum micranthum</i>	50
Figura 32.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a densidade aparente da madeira de <i>Combretum micranthum</i>	51
Figura 33.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira de <i>Combretum micranthum</i>	52
Figura 34.	Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade dinâmico perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de <i>Guiera senegalensis</i>	54
Figura 35.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a densidade aparente da madeira de <i>Guiera senegalensis</i>	55
Figura 36.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira de <i>Guiera senegalensis</i>	56
Figura 37.	Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade dinâmico perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de <i>Piliostigma reticulatum</i>	57
Figura 38.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a densidade aparente da madeira de <i>Piliostigma reticulatum</i>	58
Figura 39.	Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira de <i>Piliostigma reticulatum</i>	59

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Espécies estudadas.....	3
2.1.1 <i>Combretum glutinosum</i>	3
2.1.2 <i>Combretum micranthum</i>	4
2.1.3 <i>Combretum nigricans</i>	5
2.1.4 <i>Guiera senegalensis</i>	6
2.1.5 <i>Piliostigma reticulatum</i>	7
2.2 Cor da madeira.....	8
2.2.1 Fatores que afetam a cor da madeira.....	9
2.2.2 Colorimetria aplicada à madeira.....	10
2.3 Extrativos da madeira.....	11
2.3.1 Taninos.....	12
2.4 Rigidez da madeira.....	14
2.4.1 Ensaio não destrutivo para determinação do módulo de elasticidade dinâmico.....	14
2.4.2 Método do ultrassom.....	15
2.4.2.1 Fatores que afetam a propagação das ondas ultrassônicas na madeira.....	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Material e local de coleta.....	18
3.2 Análises colorimétricas da madeira.....	20
3.3 Análises dos extrativos da madeira.....	21
3.3.1 Determinação do teor de extrativos em água quente.....	21
3.3.2 Determinação do teor de taninos.....	21
3.3.2.1 Determinação do número de Stiasny (NS).....	21
3.3.2.2 Determinação do teor de taninos e não taninos.....	22
3.4 Ensaio de rigidez da madeira.....	22
3.5 Análises estatísticas.....	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1 Efeito do local de crescimento na densidade aparente da madeira.....	24
4.2 Comparação da cor da madeira entre as espécies.....	25
4.3 Efeito do local de crescimento na cor da madeira.....	29
4.3.1 <i>Combretum glutinosum</i>	29
4.3.2 <i>Combretum micranthum</i>	30
4.3.3 <i>Combretum nigricans</i>	31
4.3.4 <i>Guiera senegalensis</i>	32
4.3.5 <i>Piliostigma reticulatum</i>	33
4.4 Comparação dos teores de extrativos da madeira entre as espécies.....	34
4.5 Efeito do local de crescimento nos teores de extrativos da madeira.....	35
4.5.1 <i>Combretum glutinosum</i>	35
4.5.2 <i>Combretum micranthum</i>	36
4.5.3 <i>Combretum nigricans</i>	36
4.5.4 <i>Guiera senegalensis</i>	37
4.5.5 <i>Piliostigma reticulatum</i>	38
4.6 Correlação entre a cor e os teores de extrativos das madeiras das cinco espécies.....	38
4.7 Correlação entre a cor e os teores de extrativos da madeira de cada espécie.....	39
4.7.1 <i>Combretum glutinosum</i>	39

4.7.2 <i>Combretum micranthum</i>	39
4.7.3 <i>Combretum nigricans</i>	40
4.7.4 <i>Guiera senegalensis</i>	40
4.7.5 <i>Piliostigma reticulatum</i>	41
4.8 Comparação do módulo de elasticidade dinâmico da madeira entre as espécies.....	42
4.9 Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade da madeira.....	46
4.9.1 <i>Combretum glutinosum</i>	46
4.9.2 <i>Combretum micranthum</i>	49
4.9.3 <i>Combretum nigricans</i>	52
4.9.4 <i>Guiera senegalensis</i>	53
4.9.5 <i>Piliostigma reticulatum</i>	56
5 CONCLUSÕES.....	60
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aquecimento global e as mudanças climáticas têm sido o foco de inúmeros debates entre cientistas, pesquisadores e governantes devido ao impacto causado ao meio ambiente e à sustentabilidade do planeta. O aquecimento global é capaz de modificar o clima de uma região e desencadear verdadeiras catástrofes ambientais, sendo a região do Sahel um exemplo dessas modificações.

O Sahel é uma região de transição semiárida da África localizada entre a zona mais úmida Sudanesa ao sul e o Deserto do Sahara ao norte, apresentando, portanto, um gradiente de precipitação que varia em função da latitude e da longitude (SOTELO MONTES et al., 2012). O Sahel forma um corredor ininterrupto do Oceano Atlântico ao Mar Vermelho, passando pelos seguintes países: Senegal, Mauritânia, Mali, Burkina Faso, Níger, Nigéria, Chade e Sudão. Outros países como Etiópia, Eritreia, Djibouti, Somália e Quênia também podem ser incluídos na região Saheliana. Desde 1968, o Sahel tem apresentado a maior redução pluviométrica do mundo (NICHOLSON, 1998 citado por GONZALEZ, 2001).

No Sahel do Oeste da África, o rápido crescimento populacional, com taxas anuais de 3% nas últimas décadas, causou um aumento pela demanda por alimento, o que contribuiu para a intensificação e expansão de sistemas agrícolas assim como a utilização dos recursos naturais de forma não sustentável. Essa exploração desenfreada resultou na degradação do solo, na redução da cobertura vegetal e em um processo de desertificação em larga escala (SIVAKUMAR, 2007); e isso afeta a regeneração, o crescimento e o estabelecimento de várias espécies na região saheliana.

Poucos estudos são realizados sobre a qualidade da madeira das espécies dessa região e o impacto que locais de crescimento, já em processo de alteração, apresenta nas propriedades da madeira (SOTELO MONTES et al., 2010, 2011, 2012).

As espécies selecionadas neste estudo (*Combretum glutinosum* Perr. ex DC.; *Combretum micranthum* G. Don; *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr.; *Guiera senegalensis* J. F. Gmel.; e *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst) apresentam grande importância para os países do Oeste da África pelas suas propriedades medicinais, pelo fornecimento de madeira para a construção de casas, móveis e energia (lenha) e para a indústria têxtil. Entretanto, algumas dessas espécies (ex: *Combretum nigricans*) apresentam uma regeneração lenta, sendo já escassa em algumas regiões do Sahel que sofrem com a desertificação (RIVES et al., 2010).

Algumas das espécies estudadas apresentam teores importantes de taninos (ex.: *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum* e *Combretum nigricans*), os quais são utilizados para o tingimento de tecidos gerando uma importante atividade econômica no Oeste da África e impulsionando o comércio têxtil local e internacional (JANSEN & CARDON, 2005). A cor da madeira está relacionada, principalmente, ao teor de extrativos. Portanto, um estudo detalhado da cor e sua variação em função do local de crescimento auxiliarão na escolha de árvores com maiores teores de extrativos.

Além disso, algumas dessas espécies (ex.: *Combretum glutinosum*) são utilizadas para a construção de casas e a confecção de móveis, mostrando a importância de estudos relacionados às suas propriedades mecânicas.

Quanto às espécies *Guiera senegalensis* e *Piliostigma reticulatum*, ambas estão se tornando espécies invasoras, e de maior dominância na região do Sahel Africano. Elas apresentam uma boa regeneração, mesmo nos locais mais inóspitos e adaptam-se facilmente a vários tipos de solo e às mudanças climáticas, habitando áreas onde anteriormente ocorria o predomínio de espécies nativas.

Neste contexto, o objetivo geral deste estudo é a caracterização química, física e mecânica das madeiras de *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis* e *Piliostigma reticulatum* provenientes de quatro diferentes regiões da República do Níger (África).

Os objetivos específicos são:

- Avaliar o efeito do local de crescimento na densidade aparente, na variação da cor, no teor de extrativos e na rigidez das madeiras estudadas;
- Determinar as correlações entre a cor e os teores de extrativos a fim de verificar o potencial da colorimetria da madeira para a seleção de espécies/regiões ricas em taninos.

Este projeto é resultado de uma parceria internacional entre o Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) e o World Agroforestry Centre/ International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF), na qual o ICRAF é responsável pela coleta do material e o Instituto de Florestas pelo suporte técnico-científico.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Espécies estudadas

2.1.1 *Combretum glutinosum*

O gênero *Combretum* compreende cerca de 250 espécies, distribuídas nas regiões tropicais e sub-tropicais do mundo, sendo que 140 espécies ocorrem na África Tropical (JANSEN & CARDON, 2005).

A espécie *Combretum glutinosum* (Família: Combretaceae) ocorre naturalmente em todo o Oeste da África, estendendo-se até o Sudão. Nas florestas, a espécie cresce em savanas arborizadas sendo facilmente adaptável à vários tipos de solo, entretanto, os solos arenosos e com boa drenagem são os mais adequados para o seu desenvolvimento. A espécie apresenta crescimento rápido e abundante, sendo considerada uma das árvores mais altas das savanas, e estando presente em áreas onde a precipitação média anual é de 200 a 900 mm (BAUMER, 1983; JANSEN & CARDON, 2005).

A espécie apresenta sinônimos (*Combretum passargei* Engl. & Diels, *Combretum relictum* (Aubrév.) Hutch. & Dalziel) e é vulgarmente conhecida como bois d'éléphant e chigommier (em francês) (JANSEN & CARDON, 2005).

As árvores são caducifólias, com tronco tortuoso e de baixa ramificação, podendo atingir alturas que variam entre 12 e 14 m; possuem folhas subopostas e subalternas, verticuladas, e quando jovens, as folhas tornam-se mais coriáceas, glutinosas e densamente pilosas (Figura 1A-B). Seu fruto é do tipo sâmara, elíptico, glutinoso e amarelo, podendo apresentar até 4 cm de comprimento (Figura 1C). O período de floração e frutificação da espécie ocorre na estação seca e varia de acordo com a sua localização (CATARINO et al., 2000; GLÆSERUD et al., 2011).

A madeira, de cor amarelada, é dura, apresenta uma densidade de 0,666 g.cm⁻³ na idade jovem e 0,901 g.cm⁻³ na idade adulta e uma alta durabilidade natural, sendo muito utilizada na construção de casas, na confecção de ferramentas manuais e como fonte de energia (lenha). Entretanto, a principal utilização da espécie está na obtenção de corantes de cor castanho e amarelo acastanhado (taninos), os quais são utilizados para o tingimento de tecidos do tipo bogolan. Em países como Mali, Burkina Faso e Guinéa, a produção desses tecidos consiste em uma atividade econômica importante, impulsionando o mercado têxtil local e internacional, principalmente na Europa e nos Estados Unidos (BAUMER, 1983; JANSEN & CARDON, 2005; SOTELO et al., 2012).

Vários tipos de extrativos foram identificados nas folhas de *Combretum glutinosum*, tais como ácido gálico, ácido elágico, flavonóides glicosídicos e quatro tipos de tanino (2,3-(S)-hexahidroxidifenol-D-glucose, punicalina, punicalagina e combreglutinina) (JANSEN & CARDON, 2005; JOSSANG et al., 1994).

A espécie também é altamente valorizada pela medicina popular africana, sendo empregada no tratamento de várias doenças tais como gripe, reumatismo, problemas intestinais, cólicas, hemorróidas, sífilis, malária e impotência sexual. Vários trabalhos são encontrados na literatura confirmando as propriedades medicinais dessa espécie (BABA-MOUSSA et al., 1999; GLÆSERUD et al., 2011; JANSEN & CARDON, 2005). A combreglutinina (tanino hidrolisável) é particularmente utilizada para o tratamento da hepatite B (JANSEN & CARDON, 2005).

Quanto às características anatômicas, a madeira dessa espécie apresenta poros difusos e solitários, de tamanho médio; pontuações guarnecidas; floema incluso; raios procumbentes e unisseriados; e parênquima axial paratraqueal vasicêntrico e confluyente (NEUMANN et al., 1998).

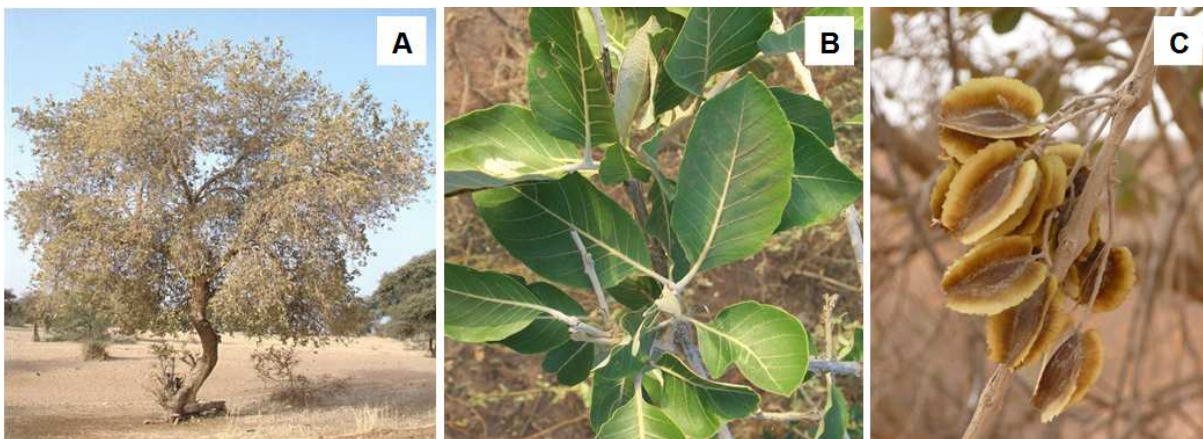


Figura 1. Características da espécie *Combretum glutinosum* (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).

2.1.2 *Combretum micranthum*

A espécie *Combretum micranthum* (Família: Combretaceae) é nativa do Sahel Africano, ocorrendo por toda a África Ocidental e sua distribuição abrange países como Nigéria, Senegal, Mauritânia e Níger, onde é vulgarmente conhecida como kinkéliba. A espécie é encontrada nas savanas africanas, ocorrendo também em florestas abertas e palmares, e adapta-se facilmente a locais secos, arenosos e argilosos (DALZIEL, 1937; KERHARO & ADAM, 1974).

A espécie também apresenta outros sinônimos, sendo eles: *Combretum parviflorum* Rchb., *Combretum album* Perr., *Combretum raimbauldii* Heckel e *Bureava crotonoides* Baill.

Combretum micranthum é uma espécie arbustiva podendo atingir até 7 m de altura e 10 cm de diâmetro, de casca cinza e fibrosa, com folhas alternas e opostas compostas por pecíolos cobertos por escamas vermelhas. A planta apresenta pilosidade densa, flores de coloração branca e fruto do tipo aquênio, pequeno, com comprimento máximo 1,5 cm (Figura 2). Sua floração e frutificação ocorrem no segundo semestre do ano entre a passagem da estação seca para a chuvosa, apresenta sementes oblongas de 5 à 8 mm de comprimento e tegumento avermelhado (CATARINO et al., 2000; PERREY et al., 2004).

A espécie é amplamente utilizada na medicina tradicional em toda a África, sendo, portanto, de grande importância econômica (OGAN, 1972; REYNOLDS, 1989). É utilizada para o tratamento de feridas, rigidez, sífilis, esterilidade, contusões, entorses, hepatite, anorexia, cólicas, febre, resfriados e bronquites (KOLA et al., 2002, PERREY et al., 2004). A espécie também é utilizada para obtenção de corante vermelho (JANSEN & CARDON, 2005).

A madeira é resistente e de alta durabilidade natural, sendo empregada na construção de cabos de ferramentas, camas, cabanas, móveis e bengalas (DALZIEL, 1937). Em algumas regiões da África é utilizada como carvão vegetal no fornecimento de energia (BAUMER, 1983). Segundo Burkill (1985), a madeira não oferece um poder calorífico tão bom quanto de outras espécies do gênero *Combretum*. Seus ramos são bastante flexíveis, sendo utilizados, na Nigéria, para a confecção de cestas e como forragem para o gado na estação seca (IRVINE, 1961).

Quanto às características anatômicas da madeira, a espécie apresenta particularidades únicas e de fácil reconhecimento. Segundo Neumann et al. (1998), a madeira é semi-porosa, com poros solitários dispostos em um padrão ligeiramente diagonal, de tamanho médio, com pontoações guarnecidas; apresenta anéis de crescimento bem distintos; raios procumbentes e unisseriados; e parênquima axial paratraqueal.

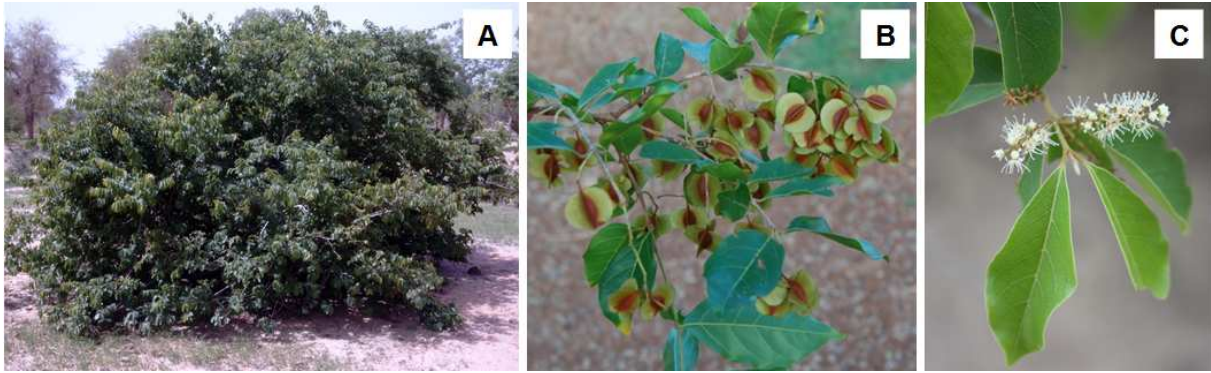


Figura 2. Características da espécie *Combretum micranthum* (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).

2.1.3 *Combretum nigricans*

A espécie *Combretum nigricans* (Família: Combretaceae) encontra-se amplamente distribuída pelas savanas africanas ocorrendo desde a região do Sahel, Senegal, Camarões e leste do Sudão. É encontrada nas savanas arborizadas e florestas secundárias mistas, geralmente em solos argilosos, arenosos e rochosos (VON MAYDELL, 1992).

É uma espécie arbórea ou arbustiva podendo atingir entre 4 e 12 m de altura e 30 cm de diâmetro, de casca rugosa e finamente escamosa, apresentando tronco torcido e de baixa ramificação, com folhas opostas, de formato ovalada à elíptica, com ápice acuminado e arredondado (Figura 3). Os frutos são elipsóides, de cor amarelada à acastanhado; e a frutificação e floração ocorrem na estação seca (CATARINO et al., 2000).

A espécie é usada para a obtenção de corante de cor vermelho alaranjado, entretanto, ela é mais importante pela produção de goma (JANSEN & CARDON, 2005). Além disso, ela também é amplamente utilizada para alimento de ruminantes e cavalos além de possuir características medicinais muito apreciadas pela medicina popular africana, sendo utilizada no tratamento de doenças gastrointestinais, dores de cabeça e reumatismo (KERHARO & ADAM, 1974; VON MAYDELL, 1992).

A madeira, de cor amarelada, é densa, resistente e de alta durabilidade natural, sendo muito utilizada para cabos de ferramentas, postes, cercas, telhados e pilões, além de ser muito importante para obtenção de carvão vegetal de boa qualidade devido ao seu alto poder calorífico. Devido à preferência dessa espécie para a produção de lenha e à sua dificuldade de regeneração natural, em algumas regiões já se tornou difícil encontrar árvores de *Combretum nigricans* (RIVES et al., 2010).

A anatomia da madeira de *Combretum nigricans* é bastante peculiar, possuindo uma estrutura muito semelhante à da espécie de *Combretum glutinosum*, diferindo-se apenas pela presença de cristais em células dos raios (NEUMANN et al., 1998; VAN VLIET, 1979).



Figura 3. Características da espécie *Combretum nigricans* (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).

2.1.4 *Guiera senegalensis*

A espécie *Guiera senegalensis* (Família: Combretaceae) ocorre naturalmente na África setentrional (Ocidental e Central), Mauritânia, Senegal, Gâmbia, Guiné-Bissau, Guine, Mali, Burkina Faso, Níger, Nigéria, Chade, Camarões e República Centro-Africana (LAHMAR et al., 2012; POUSET, 1989).

É uma árvore ou arbusto perene, com escamas cobertas por uma substância cerosa e anegrada distribuídas por toda a planta. Seu caule apresenta numerosos nós de onde são emitidos os ramos podendo atingir uma altura de 3 à 5 m, dependendo das condições do local de crescimento. As folhas são opostas à subopostas, de cor verde-acizentado, ovais, orbiculadas ou elípticas pecioladas com formato muitas vezes pontiagudo à cordiforme em sua base, de tamanho variando entre 2 e 4 cm de comprimento e entre 1 e 2 cm de largura. As flores são estreitas e alongadas, de cor amarela, dispostas em capítulos esféricos. Os frutos são lineares de 3-4 cm de altura, fusiformes e pilosos de cor prateado (Figura 4) (ENE-OJOATOWODI & ONAOLAPO, 2010; SILVA, 2004; SILVA et al., 2008b; SOMBORO et al., 2011).

A espécie adapta-se facilmente a vários tipos de solo, habitando desde terras arenosas, de pouso, encostas, até áreas com condições mais úmidas, onde anteriormente era ocupada por espécies nativas (SEGHERI & SIMIER, 2002). A planta apresenta um bom crescimento durante a estação seca, tornando-se muitas vezes a única fonte de material vegetal durante esta longa estação e principal fonte de alimentação para os animais.

É uma das espécies mais importantes para a população africana, principalmente na África Ocidental, pelo seu uso medicinal. Suas folhas são vendidas em mercados locais para o tratamento de tosse, bronquite, febre, distúrbios gastrointestinais, doenças venéreas, úlceras na pele e feridas, malária, sífilis, disenteria e gengivite. O extrato das folhas e raízes possui ainda propriedades anti-inflamatórias, analgésicas e antimicrobianas. A planta também é muito rica em extrativos, principalmente taninos (KERHARO & ADAM, 1974; SILVA et al., 2008b). Segundo Silva et al. (2008a), as folhas apresentam flavonóides (quercitrina, miricitrina, ramnetina e quercetina), ácidos fólicos e taninos gállicos, derivados naftalénicos (guieranona A, 5-metildihidroflavasperona) e terpenos (β -sitosterol e ácido oleanólico).

A madeira dessa espécie apresenta uma densidade de $0,673 \text{ g.cm}^{-3}$ na idade jovem (SOTELO et al., 2012) e apresenta valor limitado devido à baixa resistência, sendo portanto utilizada em cercas, postes, utensílios domésticos e como fonte de energia (LAHMAR et al., 2012). Quanto às características anatômicas, a madeira apresenta vasos de tamanho médio, exclusivamente solitários e difusos; pontuações guarneçadas; floema incluso; raios heterocelulares com células procumbentes, quadradas e eretas; parênquima axial paratraqueal escasso e cristais nas células de raio. A espécie é de fácil identificação devido à presença de floema incluso e de parênquima axial paratraqueal escasso (NEUMANN et al., 1998).

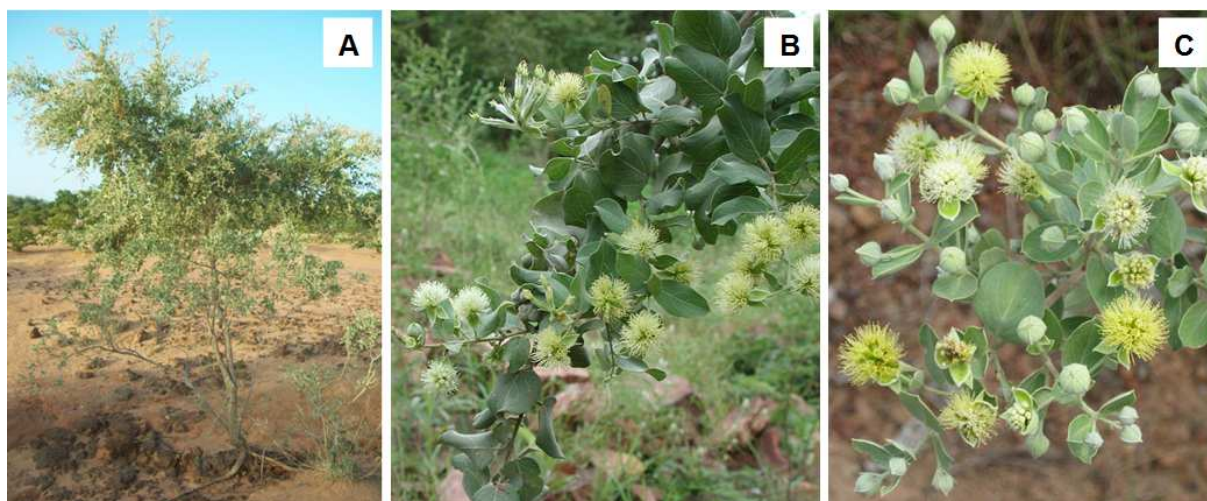


Figura 4. Características da espécie *Guiera senegalensis* (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).

2.1.5 *Piliostigma reticulatum*

A espécie *Piliostigma reticulatum* (Família: Caesalpiniaceae) é amplamente distribuída pelo Sahel Africano, ocorrendo desde o Senegal, Mauritânia, Sudão, estendendo-se até a África Oriental. Adapta-se à vários tipos de solo, habitando desde às regiões mais secas das savanas africanas até as áreas alagadas e úmidas (YELEMOU et al., 2007).

A espécie apresenta sinônimos (*Bauhinia reticulata* DC., *Bauhinia glabra* A. Chev. e *Bauhinia glauca* A. Chev.) e é vulgarmente conhecida em alguns países africanos como abafe, okpoatu e kalga (ADEROGBA et al., 2006; BABAJIDE et al., 2008).

É uma árvore ou arbusto perene, com fuste retorcido, podendo atingir entre 9 e 10 m de altura. Apresenta ainda um dossel esférico e espesso, casca fibrosa de coloração cinza a marrom escura e folhas grandes, grossas e coriáceas, com coloração verde acinzentada. Suas flores são dióicas, agrupadas em suma e pilosas, medindo de 4 à 5 cm. As pétalas são de cor branca com listra rosa e os frutos são grandes, longos, indeiscentes, lisos ou ondulados e duros, de coloração amarronzada, chegando a possuir até 25 cm de comprimento (Figura 5) (LE HOUÉROU, 2012).

A espécie é de extrema importância e utilidade para a população local, sendo suas folhas utilizadas em bebidas e para alimentação de animais tais como: bovinos, ovinos e caprinos (LE HOUÉROU, 2012). Também é tradicionalmente utilizada no tratamento de doenças tais como disenteria, diarreia, inflamações, infecções, neuralgia, varíola, malária e reumatismo (ASUZU & ONU, 1994; BOMBARDELLI et al., 1992; DALZIEL, 1937; IRVINE, 1961; YELEMOU et al., 2007).

A madeira apresenta uma coloração avermelhada escurendo-se para o castanho, sendo muito utilizada para a construção de celeiros, cercas, utensílios e como fonte de energia (GUSTAD et al., 2004; LAHMAR et al., 2012; YELEMOU et al., 2007). A casca é rica em extrativos, principalmente em taninos (cerca de 18%), sendo aproveitada na confecção de cordoaria (LE HOUÉROU, 2012).

Segundo Neumann et al. (1998), a madeira apresenta vasos de tamanho médio, solitários e múltiplos radiais; pontuações não guarnecidas; raios heterocelulares com células procumbentes, quadradas e eretas, unisseriadas; e parênquima axial paratraqueal confluyente.

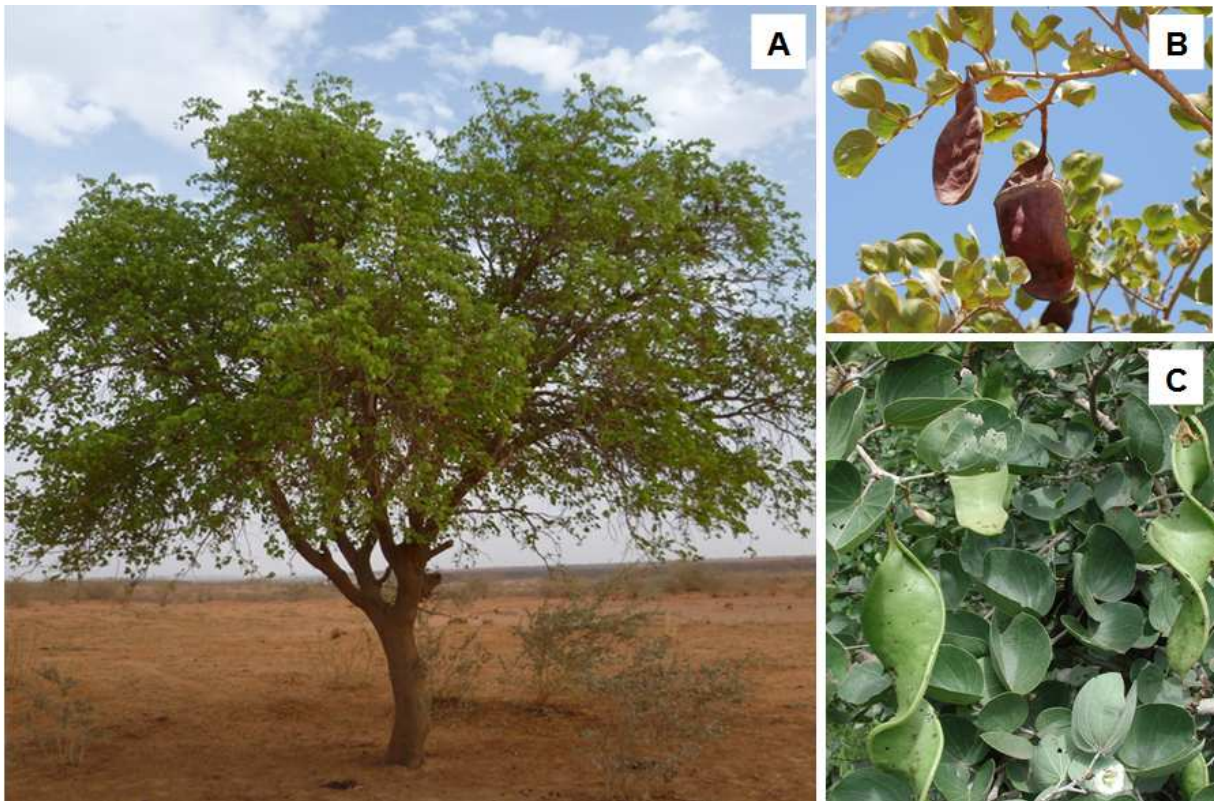


Figura 5. Características da espécie *Piliostigma reticulatum* (WEST AFRICAN PLANTS, 2012).

2.2 Cor da madeira

Segundo Amaral (1975), a cor é a impressão recebida pela mente devido a certos estímulos da retina (olho humano). A percepção da cor ocorre quando os objetos refletem ou transmitem a luz, que ao atingir o olho, age sobre o nervo ótico e produz a sensação de luz e cor no cérebro. Essa definição mostra como é possível perceber o ambiente e os objetos através da cor.

A cor é um atributo que caracteriza de tal forma os objetos, que se constitui num dos principais critérios para aceitação ou não do mesmo. Portanto, a cor da madeira possui uma grande importância para a sua identificação e classificação (ARAÚJO, 2002).

Recentemente, a cor vem sendo considerada como um indicador de qualidade da madeira. A coloração de uma madeira pode variar em tonalidades que vão desde o bege claro até o marrom escuro e pode ser influenciada por diversos fatores genéticos e ambientais tais como espécie, densidade, teor de umidade, teor de extrativos, taxa de crescimento, idade da árvore e tratamentos silviculturais (KLUMPERS et al., 1993; MOSEDALE et al., 1996; RINK & PHELPS, 1989; SOTELO MONTES et al., 2008).

De acordo com Desh & Dinwoodie (1993), a cor da madeira é causada pela natureza e quantidade de extrativos presentes na parede celular. Os extrativos são compostos químicos da parede celular, de baixo peso molecular, geralmente formado por terpenos, óleos essenciais, ácidos graxos, alcoóis graxos, resinas, ceras, taninos, graxas e corantes, polifenóis, flavonóides, estilbenos, quinonas, entre outros (PHILIPP & ALMEIDA, 1988). A diferença e a variação de cor entre a madeira de cerne e alburno devem-se ao fato de haver uma variação no teor ou na composição dos extrativos, ocasionadas pelas diferentes condições edáficas e climáticas e pela própria dinâmica de crescimento da árvore (LIU et al., 2005).

Estudos realizados por Scalbert et al. (1987) mostraram que a cor da madeira de *Quercus spp* varia com a natureza dos compostos fenólicos presentes no cerne. Janin et al. (1990) também observaram que as variações de cor nas madeiras de *Quercus spp* ocorreram devido a oxidação e condensação de polifenóis, portanto, o contato com a luz pode alterar a cor da madeira através da oxidação de certos extrativos. Segundo Hittler et al. (1972), o alto teor de extrativos está relacionado com a luminosidade ou claridade (L^*), ou seja, quanto mais escura for a madeira, maior será a quantidade de extrativos presentes no seu lenho. Gierlinger et al. (2004) observaram que a tonalidade vermelha (a^*) e a luminosidade (L^*) da madeira de *Larix decicua* Mill. estavam correlacionadas com o teor de extrativos, enquanto que o amarelo (b^*) estava relacionado à fotoquímica dos principais produtos químicos componentes da madeira, principalmente a lignina.

Os extrativos, mesmo em pequenas quantidades, têm grande importância na determinação da cor, odor e outras propriedades da madeira. Os principais extrativos responsáveis pela mudança de cor da madeira são: quininas, flavonóides, lignanas e taninos.

Estudos realizados por Flot (1988) sobre a variação da cor da madeira de carvalho (*Quercus robur*) na direção radial e longitudinal para árvores provenientes de regiões com diferentes tipos de solos mostraram que a luminosidade do alburno para o cerne diminuiu, em média, 1,9 vezes, o que mostra que o cerne é mais escuro provavelmente pelo maior teor de extrativos. O autor observou ainda que a luminosidade foi 1,5 vezes mais elevada na altura de 2,5 m que à 1,5 m. Portanto, pode-se dizer que, neste caso, a luminosidade aumenta com a altura da árvore e diminuiu na direção casca-medula.

2.2.1 Fatores que afetam a cor da madeira

A cor da madeira pode ser afetada por diversos fatores tais como teor de umidade, temperatura, degradações ocasionadas pelo ataque de organismos xilófagos e reações fotoquímicas dos componentes químicos presentes em sua estrutura. A idade da árvore, os tratamentos silviculturais que provocam o surgimento de nós, canais traumáticos e irregularidade dos anéis de crescimento assim como as condições climáticas e edáficas também influenciam na cor natural da madeira (GONÇALEZ, 1993; GOUVEIA, 2008; SOTELO MONTES et al., 2008).

Tal como mencionado anteriormente, as cores das madeiras são fortemente influenciadas pela quantidade e composição química de extrativos presentes na parede celular (MADY, 2000). Entretanto, de acordo com Burger & Richter (1991), a cor e o desenho também estão intrinsecamente relacionados à anatomia da madeira. Desta forma, fatores anatômicos como a espessura e orientação das fibras, a quantidade e distribuição de parênquima axial, a largura de raios e o diâmetro, a distribuição e a frequência dos poros contribuem para definir a figura e a cor da madeira.

A cor da madeira serrada também pode variar de acordo com os planos de corte transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial. Ribeiro (2009) estudando os valores colorímetros da madeira de *Eucalyptus grandis* para as faces tangencial e radial, observou uma coloração mais escura na face tangencial. O autor afirma que essa diferença colorimétrica entre as faces da madeira permite a classificação do material em peças mais claras ou mais escuras durante o seu desdobro.

Além de todos os fatores externos e internos (intrínsecos à madeira) que afetam a cor, ela é também instável, podendo ser alterada após exposição ao meio ambiente (luz, temperatura, umidade, radiação ultravioleta – UV, etc). A exposição da madeira ao ar normalmente a torna mais escura devido à oxidação das substâncias orgânicas causada principalmente pela luz, que promovem reações dos componentes químicos presentes na parede celular. De acordo com Rowell (1990), a alteração da cor da madeira é resultante da

ação de múltiplos agentes externos, principalmente da radiação UV, nos componentes estruturais e nos extrativos provocando a deterioração dos seus componentes químicos, principalmente da lignina.

A exposição da madeira a ambientes externos também a torna suscetível à uma série de condições que possibilitam sua degradação natural. Todos estes componentes atuando simultaneamente fazem com que a cor torne-se esmaecida, as fibras soltem-se e ocorram distorções que podem empenar a madeira, e madeira torne-se mais susceptível ao ataque de xilófagos (COSTA, 2001).

Algumas das substâncias que conferem à madeira uma cor escura são tóxicas para insetos e fungos, proporcionando uma maior durabilidade (BURGER & RITCHER, 1991). Os extrativos que promovem maior durabilidade natural à madeira são normalmente formados durante a transformação do alburno em cerne, sendo este de caráter fenólico e polifenólico, ao qual se acumulam nos lumens e nas paredes das células, resultando, na maioria das vezes, numa coloração mais escura do cerne. Como o teor de extrativos afeta a densidade da madeira, supõe-se que as madeiras mais escuras são mais densas e mais duráveis que as madeiras mais claras (OLIVEIRA et al., 2005).

Tanto a secagem quanto os tratamentos térmicos promovem a alteração da cor da madeira. Segundo Stenudd (2004), o processo de alteração da cor no processo de secagem só tem início quando o teor de umidade na madeira atinge valores inferiores ao ponto de saturação das fibras. A secagem geralmente realizada entre 60 e 100°C pode escurecer a madeira, e esta alteração na cor pode ser ainda mais intensa quando este material é submetido a temperaturas superiores (LOPES, 2010). Algumas indústrias tentam minimizar esse fator diminuindo a temperatura de secagem nas estufas, o que acarreta em um aumento de 30 a 40% no tempo de secagem (STENUDD, 2004).

2.2.2 Colorimetria aplicada à madeira

A colorimetria é o ramo da ciência desenvolvida para o estudo da medição da cor. Ela foi criada com o objetivo de evitar confusões geradas pela variabilidade de cores captadas pelas sensações psicofísicas num objeto, quantificando-se assim por meio de variáveis numéricas as interações provocadas pela luz que incidem em uma superfície qualquer (GONÇALEZ, 1993; GOUVEIA, 2008).

Os métodos destinados à medição da cor podem ser classificados em dois tipos: comparativos e quantitativos. O método comparativo é quase sempre baseado em atlas de cor: Munsell, O.S.A e N.C.S. A carta de Munsell é muito utilizada na classificação de solos, sendo a cor determinada através de uma escala, tendo como componentes a matiz, a luminosidade, e o croma ou saturação (GONÇALEZ, et al., 2001; GOUVEIA, 2008; RIBEIRO, 2009). O método quantitativo ou a colorimetria tem como base descrever numericamente cada elemento da composição de uma cor por meio de aparelhos apropriados. Este método de análise de cor é usado em diferentes sistemas de produção fabril, como por exemplo, indústrias têxteis, químicas e plásticas (MORI et al., 2004).

Existem dois tipos de instrumentos capazes de analisar dados de cor em superfícies: os colorímetros e os espectrofotômetros. Os colorímetros são equipados com uma série de filtros (azul, amarelo, verde, vermelho) e fotodetectores que quantificam a cor dos materiais quando expostos à luz (MICHOT, 1994), enquanto que os espectrofotômetros iluminam a superfície do objeto a ser medido e calcula o comprimento de onda e a quantidade de luz refletida por ela (RAPPOLD & SMITH, 2004). Atualmente os espectrofotômetros se tornaram portáteis e mais baratos em relação aos colorímetros, transformando-se nos principais aparelhos usado na colorimetria (GOUVEIA, 2008).

Um dos sistemas mais utilizados para medição de cores é o CIE $L^*a^*b^*$ que segue a norma CIE «*Commission Internationale de L'Éclairage*» (1976) e permite obter valores numéricos para as variáveis L^* , a^* , b^* , C^* e h . Este sistema é baseado em três elementos: a luminosidade ou claridade, a tonalidade ou matiz e a saturação ou cromaticidade (CAMARGO & GONÇALVEZ, 2001; STANZIOLA, 1986). A Figura 6 apresenta as três coordenadas (L^* , a^* e b^*) do espaço CIE $L^*a^*b^*$ em um espaço tridimensional. A axe L^* representa a luminosidade, a qual define a escala cinza entre o branco (100) e o preto (zero). A tonalidade é expressa pelas cores primárias que são o vermelho, verde, amarelo e azul, sendo representada em forma de um círculo cortado por duas retas perpendiculares (horizontal e vertical) passando pelo centro. Os pigmentos vermelho, verde, amarelo e azul são definidos pelas coordenadas: $+a^*$, $-a^*$, $+b^*$ e $-b^*$, respectivamente e variam de -60 a +60. O ângulo de tinta (h) é o ângulo do círculo, derivado dos valores de a^* e b^* , variando de 0 a 60. A saturação ou cromaticidade (C^*) é o desvio a partir do ponto correspondente ao cinza no eixo L^* (luminosidade) (CAMARGO & GONÇALVEZ, 2001; KONICA MINOLTA, 1998).

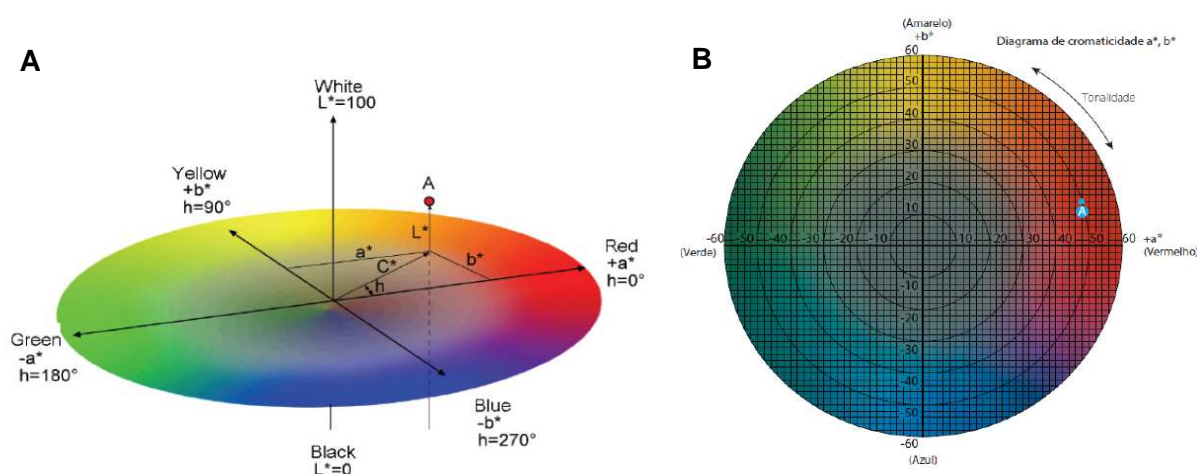


Figura 6. (A) Espaço de cor tridimensional do sistema CIE $L^*a^*b^*$. L^* : luminosidade. a^* e b^* : variáveis cromáticas. C^* e h : saturação e ângulo de coloração, respectivamente (JOHANSSON, 2005). (B) Diagrama de cromaticidade a^* e b^* (KONICA MINOLTA, 1998).

2.3 Extrativos da madeira

Os extrativos são substâncias químicas presentes na madeira que podem ser removidos utilizando solventes. Eles podem constituir até 8% do peso seco em madeiras de espécies de clima temperado, podendo chegar até 20% em madeiras de espécies de clima tropical. A presença deste composto influencia na resistência ao ataque de fungos e insetos, na coloração, no odor, na permeabilidade, na fluorescência, na inflamabilidade, na colagem, na densidade e na dureza da madeira (HILLIS, 1962 citado por MOKFIENSKI, 2004).

A composição dos extrativos pode variar significativamente entre diferentes espécies de madeira, entre indivíduos da mesma espécie e dentro de um mesmo indivíduo. Esta variação pode ser causada por vários fatores tais como características genéticas, variação sazonal, local de crescimento e idade da árvore (MOREIRA, 1999).

Os extrativos podem apresentar inúmeras aplicações tais como impermeabilizantes de embarcações de madeira e aglutinantes (ex.: breu proveniente de *Pinus* sp. e outras resinas), na medicina, como cosméticos e preservantes. Algumas substâncias dos extrativos são precursores de outras substâncias químicas, podendo estas serem formadas em resposta à injúrias ou agem como um mecanismo de defesa da planta (ROWELL et al., 2005).

Os extrativos existem na forma de monômeros, dímeros e polímeros, localizando-se no lúmen, nas paredes celulares e nas células de parênquima, mas podem aparecer também nos vasos e nas fibras e, em alguns casos, em células especializadas. Além disso, englobam óleos essenciais, resinas, taninos, graxas e pigmentos (MORAIS et al., 2005).

A distribuição de extrativos dentro da mesma árvore não é homogênea. Açúcares e outros constituintes solúveis na seiva e materiais de reserva tais como amido e gorduras, são encontrados no alburno e materiais fenólicos são usualmente depositados no cerne. Existem também variações nas quantidades de materiais depositados entre as diferentes alturas da árvore, bem como entre tronco e galhos (HILLIS, 1962 citado por MOREIRA, 1999).

Normalmente, as gimnospermas (coníferas) têm maiores teores de extrativos que as angiospermas (folhosas) e geralmente, a ocorrência dos extrativos é maior na casca e menor no cerne, sendo desprezível no alburno. A diferença qualitativa dos extrativos entre as espécies é baseada na quimiotaxonomia (taxonomia baseada nos constituintes químicos) (ROWELL et al., 2005).

2.3.1 Taninos

Os taninos são compostos polifenólicos, provenientes do metabolismo secundário das plantas, portanto estão envolvidos nos processos essenciais dos vegetais (respiração, transpiração, fotossíntese, etc). Apresentam um alto peso molecular, e são utilizados para diversas finalidades, tais como o curtimento de couro e a produção de adesivos (MORI et al., 2000; SANTANA et al., 2011). Segundo Hoinacki (1989), os taninos são capazes de transformar a pele animal em material estável tal como o couro e isso ocorre devido à associação dos grupos hidroxilas dos taninos com cadeias polipeptídicas dos aminoácidos presentes na proteína animal chamada de colágeno (HASLAM, 1966). Além disso, os taninos ainda possuem outras finalidades, tais como, fabricação de azulejo e pisos, como corantes têxteis; clarificante de vinhos, na produção da borracha, facilita perfurações de poços petrolíferos, atuam como dispersante e desfloculante no controle de insetos, fungos e bactérias, entre outras (POSER & GOSMAN, 1990; SIMÕES et al., 1999).

Os taninos são compostos altamente solúveis em águas e em solventes polares, sendo capazes de precipitar proteínas (HARTISH & KOLODZIEJ, 1997; HASLAM, 1989). O termo tanino é muito antigo, sendo descrito por Seguin em 1796 como os constituintes químicos de tecidos vegetais responsáveis pela transformação de pele animal fresca em couro (RIBÉREAU-GAYON, 1972). De acordo com Khan & Zaman (1961), há artigos arqueológicos em couro datados de 10.000 A.C. que confirmam a presença de traços de taninos, demonstrando que a utilização desses compostos em artefatos de couro remonta à antiguidade.

Os taninos são amplamente distribuídos pelo reino vegetal, estando presentes em cascas, madeiras, raízes, folhas, flores e frutos, e podem ser encontrados tanto em coníferas quanto em folhosas. As principais famílias ricas em taninos são Anacardiaceae, Leguminosae, Combretaceae, Rhizophoraceae, Mirtaceae e Polinaceae no grupo das angiospermas e Pinaceae nas gimnospermas, sendo que entre elas as espécies florestais mais utilizadas para produção comercial de taninos são a acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.) e o quebracho (*Schinopsis* sp.) (CANNAS, 2001; NOZELLA, 2001). Os taninos são encontrados nas células vegetais principalmente dentro dos vacúolos. O vacúolo é uma cavidade delimitada por uma membrana (tonoplasto) que contém o suco celular que é composto de substâncias ergástricas e algumas células podem conter pigmentos como as flavonas e antocianinas. Os taninos não interferem no metabolismo da planta, porém agem no caso de injúrias ou morte da planta (CANNAS, 2001).

Plantas ricas em taninos ocorrem em clima temperado, tropical ou subtropical. A maioria dos materiais de curtimento comercialmente importantes é produzida por países de clima quente tais como: África do Sul, Índia, Zimbábue, Tanzânia e Indonésia (PIZZI, 2008).

Espécies com altos teores de taninos são ainda muito utilizadas na medicina popular, principalmente para o tratamento de doenças como diarreia, hipertensão arterial, reumatismo, hemorragias, feridas, queimaduras, problemas estomacais e urinários, assim como em processos inflamatórios em geral. Para os tratamentos de feridas, queimaduras e inflamações, o poder antisséptico dos taninos age na precipitação das proteínas das células superficiais das mucosas e dos tecidos, formando uma camada protetora sobre a pele danificada, impossibilitando assim a proliferação de microorganismos (HASLAM, 1996).

Os taninos podem ser classificados em dois grupos de compostos químicos de natureza fenólica que são os taninos hidrolisáveis e os condensados. Os taninos hidrolisáveis são constituídos de uma mistura de fenóis simples, sendo considerado um poliéster da glucose; são formados por ligações éster-carboxila e hidrolisáveis em condições ácidas ou básicas (HAGERMAN & BUTLER, 1981; NOZELLA, 2001). A unidade básica estrutural desse tanino é o polyol usualmente D-glucose com seus grupos de hidroxilas esterificados pelos ácidos gálico ou elágico. Podemos encontrar estes taninos em folhas, galhos, cascas, frutas, vagens de eudicotiledôneas, mas não tem sido detectados em monocotiledôneas (LEWIS & YAMAMOTO, 1989; NOZELLA, 2001).

Os taninos hidrolisáveis são divididos em galotaninos, constituídos por glucose como núcleo central ligada à unidades de ácido gálico e seus derivados; e elagitaninos, constituídos por glucose como núcleo central ligado à unidades de ácido hexahidroxidifênico e seus derivados (Figura 7) (GALVEZ et al., 1997).

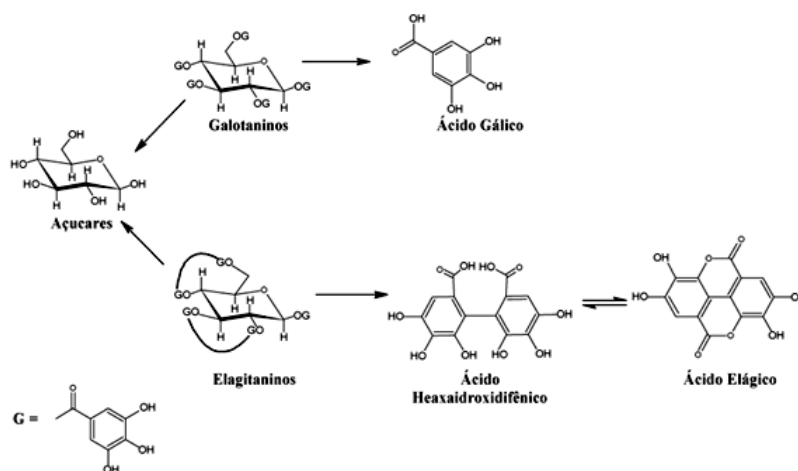


Figura 7. Taninos hidrolisáveis (QUEIROZ et al., 2002).

Os taninos condensados também designados por proantocianidinas são bastante comuns estando amplamente distribuídos na natureza. Geralmente estão presentes em pequenas quantidades nos tecidos vegetais. Do ponto de vista comercial, é considerado o mais importante dos taninos. As moléculas de taninos condensados são compostas por oligômeros ou polímeros baseados em unidades monoméricas do tipo flavonóide. Os flavonóides são a segunda maior fonte de polifenóis do reino vegetal, perdendo apenas para a lignina, além disso, são constituídos por unidades tricíclicas e hidroxiladas de 15 carbonos (JORGE et al., 2001).

Entre os tipos de monoflavonóides existentes na natureza, apenas os flavan-3-ol e os flavan-3,4-diol participam na formação dos taninos condensados, já que são os únicos com capacidade de sofrer reações de polimerização, sendo assim os precursores dos taninos condensados.

Dependendo da sua estrutura química e do seu grau de polimerização, os taninos condensados podem ou não ser solúveis em solventes orgânicos ou aquosos. No entanto, de um modo geral, os taninos constituem-se como uma classe de substâncias extremamente complexa e variada que partilham das mesmas propriedades químicas (JORGE et al., 2001). A Figura 8 apresenta as fórmulas estruturais dos taninos condensáveis.

Os pigmentos das proantocianidinas de mesma classe da antocianidinas são os responsáveis pela coloração rosa, vermelha, violeta e azul em flores, folhas, frutos, sucos e vinhos. Também são responsáveis pela adstringência de frutas, sucos e vinhos, e em muitos casos são compostos bioativos em plantas medicinais (BATTESTIN et al., 2004).

Em espécies arbóreas, a maioria dos estudos realizados são sobre os taninos presentes nas folhas e nas cascas, sendo a madeira pouco estudada, o que ressalta a contribuição deste estudo.

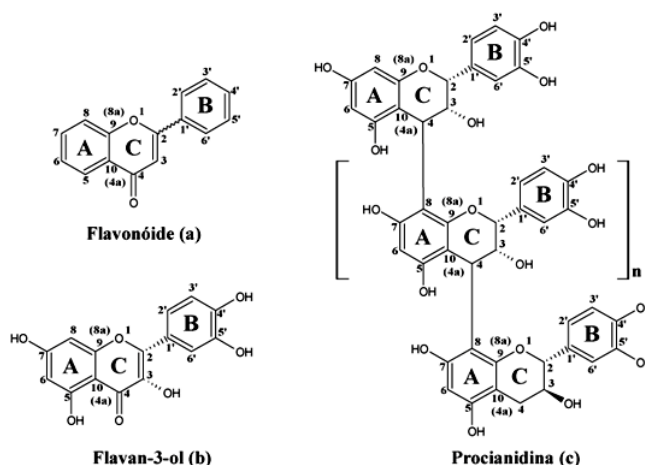


Figura 8. Taninos condensados. (a) unidade de flavonóide, (b) flavan-3-ol, (c) tanino condensado (QUEIROZ et al., 2002).

2.4 Rigidez da madeira

2.4.1 Ensaios não destrutivos para determinação do módulo de elasticidade dinâmico

As avaliações destrutivas consistem em um dos métodos mais utilizados no conhecimento das propriedades físicas e mecânicas da madeira. Entretanto, essa metodologia muitas vezes é onerosa, em razão do tempo consumido para a confecção do corpo de prova e custo de material (STANGERLIN, 2008).

De acordo com Abene (2002), os ensaios não destrutivos ou NDE (*non-destructive evaluation*) são aqueles realizados em materiais para verificar a existência ou não de discontinuidades ou defeitos, por meio de princípios físicos definidos, sem alterar suas características físicas, químicas, mecânicas ou dimensionais e sem interferir em seu uso posterior. Segundo Oliveira et al. (2003), os métodos não destrutivos apresentam algumas vantagens em relação a outros métodos convencionais para caracterização da madeira tais como: maior rapidez para analisar uma grande população, versatilidade para se adequar a um rotina padronizada, possibilidade de utilização posterior da peça testada e rapidez de aplicação do método, podendo ser ainda uma importante ferramenta para indústria no processo de controle de qualidade através de uma maior uniformidade na matéria-prima e seus derivados.

Jayne (1959) propôs a hipótese fundamental sobre avaliação não destrutiva da madeira, sugerindo que as propriedades de conservação e de dissipação de energia da madeira, podem ser medidas por meio de métodos de ensaios não destrutivos ao qual, deve ser controlada pelo mesmo mecanismo que determinam o comportamento deste material a frente de uma solicitação estática.

Ross & Pelleri (1994) descrevem brevemente as principais técnicas comumente utilizadas na avaliação não destrutiva de produtos à base de madeira para a determinação do módulo de elasticidade (MOE), dentre elas podemos destacar:

- Técnica da flexão estática: consiste na medição estática do MOE na flexão de um exemplar de madeira, sendo o princípio básico de funcionamento da máquina MSR (*Machine Stress Rating*) para a classificação da madeira serrada;
- Técnica da vibração transversal (*transverse vibration technique* ou *resonance technique*): consiste na análise da vibração de um exemplar de madeira, com obtenção do MOE do material a partir da análise das frequências principais de vibração;
- Técnica das ondas de tensão (*stress wave method*): consiste na aplicação de uma onda de tensão (impacto) no material e análise do fenômeno de propagação desse estímulo. A velocidade de propagação de uma onda de tensão induzida e sua atenuação no material são os principais parâmetros analisados nesses casos; e
- Técnica da propagação de ondas de ultrassom: utilizada técnicas de ondas acústicas (*Acoustic emission - AE*) e ultrassônicas (*Acoustoultrasonic emission - AU*), eficientes para determinados propósitos, como, por exemplo, na avaliação da orientação da grã da madeira.

Outros métodos não destrutivos também têm sido utilizados na pesquisa da madeira, como por exemplo, radiografia, correntes parasitas, análise de vibração e o método de retirada de pequenas amostras – baguetas (com diversos tipos de extratores de corpos-de-prova), entre outros. A escolha desses métodos depende principalmente da aplicação específica e da adaptabilidade (ROSS, 1999 citado por SHIMOYAMA, 2005). Essas técnicas têm sido empregadas com sucesso para avaliação da madeira em várias etapas de seu processamento, desde a árvore em pé até os diferentes produtos obtidos (SHIMOYAMA, 2005).

2.4.2 Método do ultrassom

O método do ultrassom é uma técnica baseada na aplicação de ondas ultrassônicas de alta frequência, acima de 20 kHz em madeiras para a determinação de suas constantes elásticas. A utilização deste método se dá de uma forma relativamente muito simples. A propagação da onda ocorre através de um circuito eletrônico responsável por emitir pulsos elétricos que são conduzidos por cabos coaxiais e convertidos em ondas elásticas através do cristal piezolétrico, localizado nos transdutores. As vibrações mecânicas deslocam-se pelo material atenuando ou retardando o sinal emitido pelo gerador. Esse sinal retardado ou atenuado é então recuperado por outro cristal piezolétrico e as vibrações então amplificadas são transformadas novamente em pulsos elétricos para medir o tempo de propagação. Sabendo-se a velocidade de propagação da onda e a densidade do material é possível calcular então sua constante elástica (CALEGARI et al., 2008; DEL MENEZZI et al., 2007).

O ultrassom vem sendo utilizado em várias partes do mundo e tem sido um valioso instrumento para avaliação e determinação de propriedades de muitas espécies de madeira, permitindo desde a determinação da existência de nós, presença de ataque de microorganismos ou insetos, direcionamento das fibras, decomposição, passando pela avaliação de elementos estruturais de madeira em uso, até a estimativa de alguns parâmetros

como o módulo de elasticidade (BARTHOLOMEU et al., 2003; GORNIK & MATOS, 2000).

O método de ultrassom vem sendo empregado tanto para avaliações da qualidade de peças industrializadas, quanto em determinações das propriedades físicas e mecânicas, podendo ser realizado em madeiras serradas, em produtos à base de madeira ou ainda em árvores em pé (BARTHOLOMEU et al., 2001).

Estudos realizados por vários autores vêm mostrando o avanço na determinação do método de ultrassom na determinação das constantes elásticas da madeira. Bucur (1984), propôs a base da teoria de utilização do ultrassom para determinação das constantes elásticas da madeira através de "*carottes de sondage*" (pequenos corpos-de-prova cilíndricos com até 5 mm de diâmetro), comprovando que o método é eficaz.

2.4.2.1 Fatores que afetam a propagação das ondas ultrassônicas na madeira

A madeira é um material biológico e anisotrópico, sendo, portanto diversos os fatores que podem influenciar na propagação das ondas ultrassônicas, dentre as quais, podem ser citadas: as propriedades físicas (densidade), as características anatômicas e morfológicas da espécie (ângulo da grã), a presença de defeitos (nós e rachaduras), o tamanho das amostras, as condições do meio (temperatura e umidade) e o procedimento utilizado para a tomada das medidas (frequência e tipo do transdutor) (BUCUR & BOEHNEK, 1994; CALEGARI et al., 2008). Alguns desses fatores serão discutidos nos próximos parágrafos.

Densidade da madeira - a densidade da madeira é um dos parâmetros mais utilizados para avaliar as propriedades mecânicas da madeira já que afeta de forma considerável a velocidade de propagação da onda de tensão. Para as madeiras de coníferas, percebe-se um aumento da densidade a partir da medula em direção a casca, enquanto que para as madeiras de folhosas o valor máximo de densidade encontra-se próximo a medula (CALEGARI et al., 2008). Madeiras mais densas vão sempre apresentar maiores teores de extrativos, logo terão menores espaços vazios, ocasionando uma maior velocidade de propagação das ondas de tensão em um tempo menor em um determinado percurso. Madeiras porosas, portanto, menos densas, vão apresentar menor velocidade de propagação, e um tempo maior para percorrer um determinado percurso (SHIMOYAMA, 2005).

Características anatômicas - a anatomia da madeira pode ser observada através de três seções principais: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial. Segundo Bucur (1988), a anisotropia deste material está relacionada com os elementos anatômicos e sua influência nas propriedades acústicas. A velocidade de propagação da onda ultrassônica é mais elevada na direção longitudinal, seguida pela direção radial e posteriormente pela tangencial. Essa diferença nas velocidades de propagação em relação os eixos da madeira deve-se a estrutura anatômica do material (GONCALVES & PUCCINI, 2000 apud CALEGARI et al., 2008). Na direção longitudinal encontram-se as células responsáveis pela condução dos sinais sonoros (fibras e vasos). Essas células proporcionam condições favoráveis de propagação, devido às microfibrilas de celulose se apresentarem de forma mais alinhada, funcionando como um amortecimento para ondas mais suaves. Já na direção radial, a continuidade do sinal é fornecida pelos raios lenhosos presentes em quantidades menores em relação às fibras, com isso, os valores da onda de ultrassom se tornam mais baixos quando comparados com a velocidade da seção longitudinal.

Ângulo da grã - o ângulo de inclinação da grã tem um efeito importante sobre a onda ultrassônica afetando a principalmente a resistência mecânica da madeira. A velocidade das ondas emitidas no sentido longitudinal decresce com o aumento no ângulo de grã. Uma grã reta apresenta um ângulo de 0° e ocorre quando as fibras encontram-se posicionadas paralelamente ao eixo longitudinal do tronco. Quanto maior o valor do ângulo entre a direção

da onda e a direção da grã, menor será a sua velocidade de propagação, devido ao maior tempo de percurso (SHIMOYAMA, 2005).

Nós - os nós presentes na madeira exercem grande importância na propagação das ondas acústicas. As ondas de tensão induzidas por impacto na madeira com nó, não mantêm seu curso normal, ocasionando um aumentando do seu tempo de propagação. De acordo com Jung (1979) apud Shimoyama (2005), as ondas de tensão desviam o seu curso, ao encontrar as áreas descontínuas dos nós, contornando-os através da madeira, gerando um aumento no tempo de propagação reduzindo-se assim a velocidade da onda. Além disso, ao se propagar ao redor dos nós, os altos teores de extrativos e os altos ângulos de grã dessa região colaboram para uma redução ainda maior na velocidade das ondas.

Teor de umidade - o teor de umidade pode afetar as propriedades mecânicas da madeira principalmente nos ensaios estáticos. A velocidade de propagação da onda ultrassônica decresce consideravelmente com o aumento do teor de umidade encontrado no corpo de prova até o ponto de saturação das fibras (PSF), sendo que, a partir deste ponto, a variação da velocidade torna-se pequena. A velocidade de propagação da ultrassônica na madeira tende a aumentar com a diminuição do teor de umidade nas direções longitudinal e radial. A influência da umidade abaixo do PSF é mais significativa do que acima deste ponto, mas as relações numéricas entre essas grandezas variam muito entre as diferentes espécies (BUCUR & SAREM, 1992). Segundo Gonçalves & Costa (2002), esse fenômeno se deve ao fato de até o PSF encontramos a presença de água livre nos vazios celulares e água de impregnação nas paredes, fazendo com que a onda ocorra tanto na parede celular quanto na água reduzindo a velocidade. Abaixo do PSF, só é possível encontrar água de impregnação que se localiza na parede celular, desta forma, a propagação da onda ocorreria somente na parede celular, fazendo com que a velocidade seja maior e com que a dispersão ocorra em função de fatores ligados à estrutura da madeira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material e local de coleta

O material utilizado neste estudo engloba cinco espécies arbóreas/arbustivas provenientes da República do Níger (África), sendo elas: *Combretum glutinosum* Perr. ex DC. (Combretaceae), *Combretum micranthum* G. Don (Combretaceae), *Combretum nigricans* Lepr. ex Guill. & Perr. (Combretaceae), *Guiera senegalensis* J. F. Gmel. (Combretaceae) e *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst (Caesalpiniaceae). A República do Níger está situada no oeste da África, fazendo fronteira com a Nigéria e Benin ao sul, Burkina Faso e Mali à oeste, Argélia e Líbia ao norte e Chade à leste. Sua zona setentrional e central se encontram nas áreas desérticas do Sahara e do Sahel. A República do Níger está dividida em sete departamentos (Tillabéri, Dosso, Tahoua, Maradi, Zinder, Diffa e Agadez) e um distrito, cuja capital é Niamei (Figura 9).

As amostras de madeira são provenientes de populações naturais e foram coletadas pelo World Agroforestry Center (ICRAF) de acordo com um delineamento experimental composto por quatro unidades amostrais representadas por transectos entre as seguintes regiões: 1- La Tapoa-Ouallam (Tillabéri), 2- Gaya-Dogondoutchi (Dosso), 3- Tafouka-Bouza (Tahoua) e 4- Aguié-Kornaka (Maradi) (Figura 10).

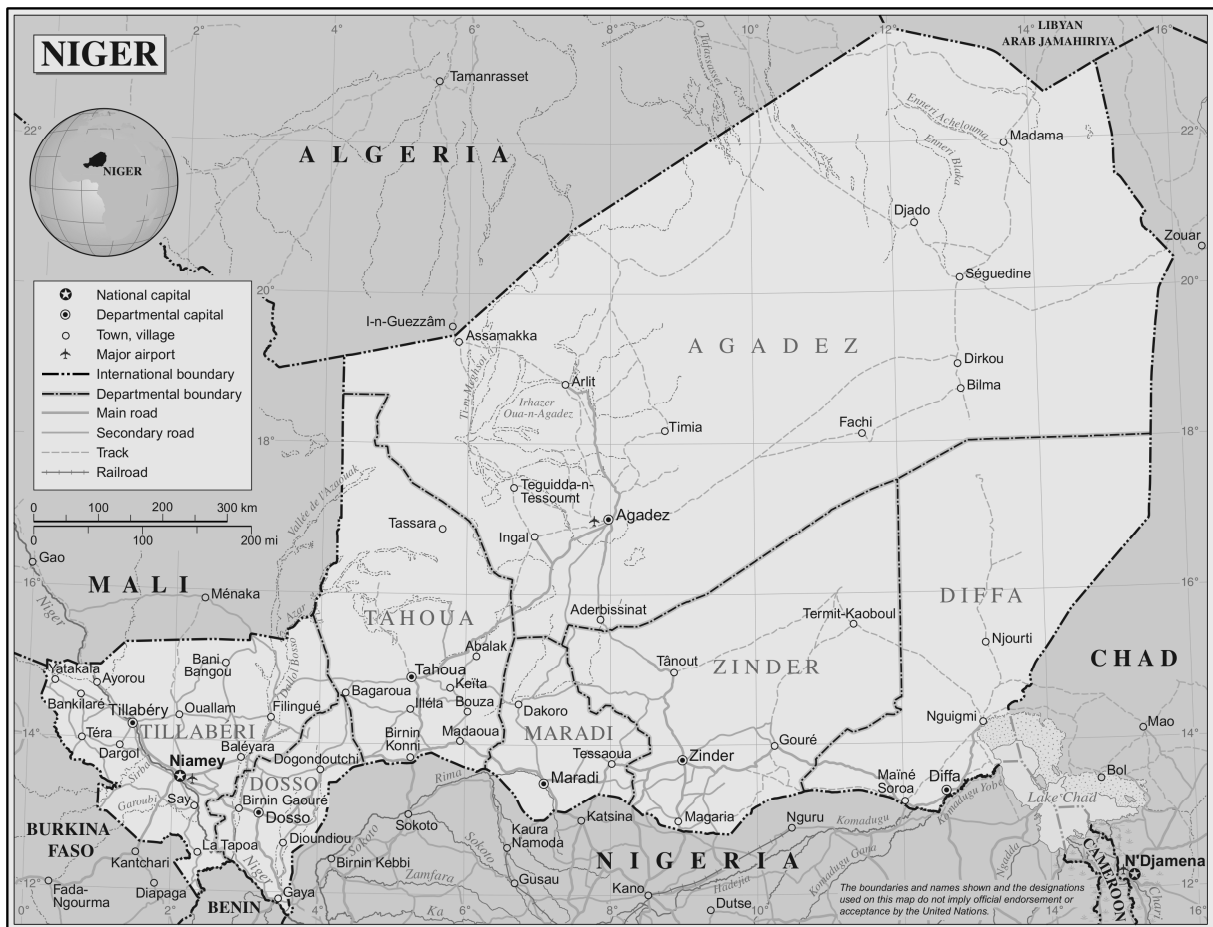


Figura 9. Mapa da República do Níger (Oeste da África), dividida em sete departamentos (Tillabéri, Dosso, Tahoua, Maradi, Zinder, Diffa e Agadez) e um distrito, capital Niamei.

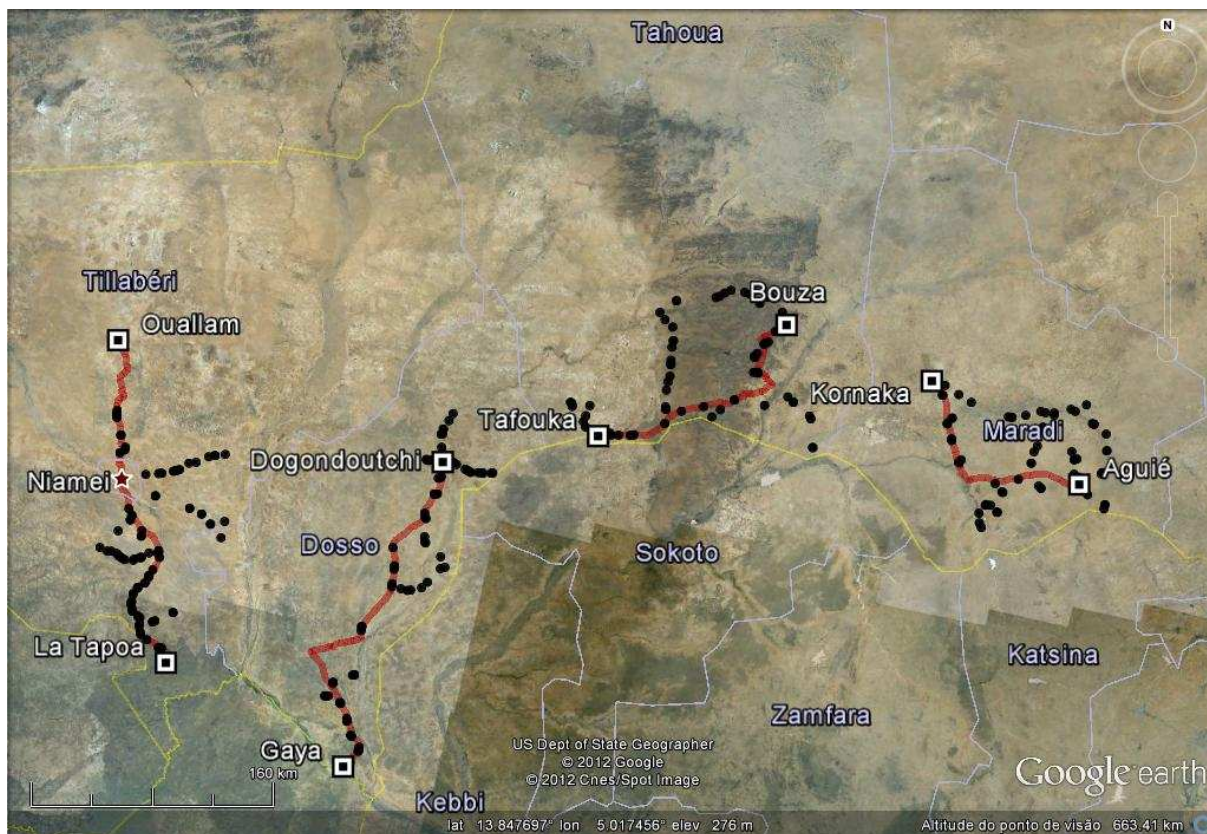


Figura 10. Localização das quatro unidades amostrais ou transectos: 1- La Tapoa-Ouallam, 2- Gaya-Dogondoutchi, 3- Tafouka-Bouza, 4- Aguié-Kornaka. Os pontos representam o georreferenciamento dos locais de coleta das amostras de madeira.

A região La-Tapoa-Ouallam está situada no Departamento de Tillabéri (Figura 9). La Tapoa está situada próxima ao Rio Níger, ao sudoeste de Tillabéri e apresenta um clima semiárido, com estações bem distintas, precipitação anual de 540 mm sendo os maiores índices pluviométricos encontrados no mês de agosto (168,4 mm). Ouallam está situada ao norte de Tillabéri, com precipitação anual de 360 mm, sendo os maiores índices pluviométricos no mês de agosto (138 mm) (WORLD WEATHER ONLINE, 2012). Na região de Tillabéri, todas as espécies de madeira estudadas apresentam um alto valor econômico para o consumo energético (lenha) (RIVES et al., 2010).

A região Gaya-Dogondoutchi está situada no Departamento de Dosso. Gaya está localizada à 254 km sudeste da capital Niamey, fazendo fronteira com o Benin e a Nigéria, e apresenta um dos maiores índices pluviométricos da República do Níger com precipitação anual de 700-800 mm, sendo os maiores índices no mês de agosto (225 mm) (WORLD WEATHER ONLINE, 2012).

A região Tafouka-Bouza está situada no Departamento de Tahoua, fazendo fronteira com a Nigéria e o Rio Kori, enquanto que a região Aguié-Kornaka está situada no Departamento de Maradi. Tafouka e Bouza apresentam índices pluviométricos de 145 e 133,5 mm no mês mais chuvoso (agosto) e precipitação anual de aproximadamente 487 e 365 mm, respectivamente. Tanto Aguié quanto Kornaka apresentam índices pluviométricos de 177 mm no mês mais chuvoso (agosto) e precipitação anual de aproximadamente 505 mm.

Para cada espécie, foram coletados discos de madeira de aproximadamente 10 mm de espessura, sendo a orientação norte-sul identificada em cada disco. Com o auxílio de um trado, baguetas de madeira com 5 mm de diâmetro foram retiradas na mesma posição dos discos na orientação sul. A maioria dos discos apresentaram medula descentralizada,

caracterizando a presença de madeira de tração devido à tortuosidade do tronco e/ou à bifurcação das árvores amostradas. Na Figura 11 pode-se observar o aspecto dos discos das cinco espécies estudadas.

Os discos foram utilizados para as análises colorimétricas e análises dos extrativos enquanto que as baguetas foram utilizadas para os ensaios de rigidez. As densidades aparentes dos discos e das baguetas foram determinadas segundo a norma ASTM D 2395 (1997), sendo utilizado o método de imersão em água para determinar o volume das baguetas.

O total de amostras para cada espécie de cada região é apresentado na Tabela 1. A espécie *Combretum nigricans* é uma das mais afetadas pelo intenso processo de desertificação ocorrente no Sahel africano, portanto foram coletadas amostras apenas nas regiões 1 (La Tapoa-Ouallam) e 2 (Gaya-Dogondoutchi).

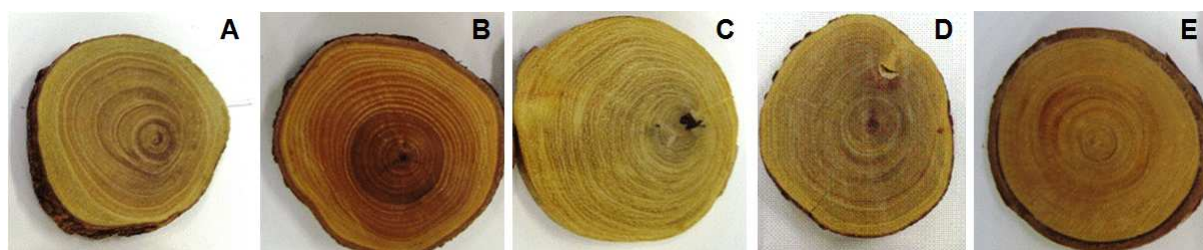


Figura 11. Discos de madeira utilizados para as análises colorimétricas e determinação do teor de extrativos. A. *Combretum glutinosum*. B. *Combretum micranthum*. C. *Combretum nigricans*. D. *Guiera senegalensis*. E. *Piliostigma reticulatum*.

Tabela 1. Total de amostras de discos e baguetas utilizadas para cada espécie de madeira.

Espécie	Região								Total ¹
	1: La Tapoa-Ouallam		2: Gaya-Dogondoutchi		3: Tafouka-Bouza		4: Aguié-Kornaka		
	Disco	Bagueta	Disco	Bagueta	Disco	Bagueta	Disco	Bagueta	
<i>Combretum glutinosum</i>	17	17	18	18	20	20	20	20	75
<i>Combretum micranthum</i>	20	20	20	20	20	20	10	10	70
<i>Combretum nigricans</i>	20	20	20	20	0	0	0	0	40
<i>Guiera senegalensis</i>	20	20	20	20	20	20	20	20	80
<i>Piliostigma reticulatum</i>	19	19	20	20	20	20	20	20	79
Total									344

¹ Mesmo número de observações para discos e baguetas de madeira.

3.2 Análises colorimétricas da madeira

As análises colorimétricas foram realizadas no espaço CIE L*a*b* segundo a norma CIE «Commission Internationale de L'Éclairage» (1976). As coordenadas L*, a* e b* foram obtidas com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM 2600d da Konica Minolta, utilizando-se a área de iluminação de 3 mm de diâmetro (SAV – *small area view*), iluminante padrão D65, ângulo de observação de 10° e luz especular incluída. Para efetuar as medições, o aparelho foi calibrado com o padrão preto e branco, sendo que para a calibração do branco foi utilizada a placa CM-A145.

As medições de cor foram efetuadas na face transversal dos discos, no sentido casca-medula-casca, totalizando 10 medições por disco para um total de amostras tal como especificado na Tabela 1. Antes das medições, as superfícies das amostras foram lixadas com uma sequência de lixas de granulometria de 120 e 220.

Os dados mensurados pelo espectrofotômetro foram transferidos para o software SpectraMagic™ NX (CM-S100w), versão 1.9, da Konica Minolta e em seguida transportado para o software Microsoft Office Excel para as análises estatísticas.

3.3 Análises dos extrativos da madeira

3.3.1 Determinação do teor de extrativos em água quente

Para a determinação do teor de extrativos, foram utilizadas 2,0 g de madeira (base peso seco) em 150 ml de água, sendo o material extraído em um balão e colocado em refluxo durante 2 horas. Após a extração, o material foi filtrado a vácuo em cadinho de vidro sinterizado e separado para posterior análise. Após cada extração, foi separada uma alíquota de 25 ml para a determinação da massa de extrativos totais. Esta alíquota foi colocada em uma placa de petri previamente tarada e levada em estufa à $103\pm 5^\circ\text{C}$ até peso constante. A quantidade de extrativos, em gramas, contida em 25 ml de solução foi obtida pela diferença entre a massa da placa de petri antes e depois de ser levada à estufa. Considerando-se a quantidade de partículas (base seca) e o volume inicial empregados na extração, calculou-se o teor de extrativos em percentagem (Figura 12).

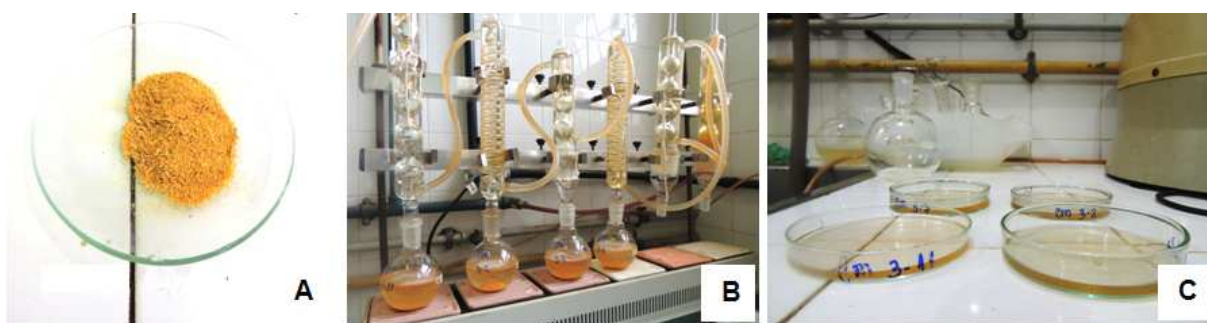


Figura 12. Determinação do teor de extrativos em água quente. (A) Madeira moída. (B) Material em refluxo. (C) Obtenção do teor de extrativos.

Nas análises dos extrativos foram utilizadas, para cada espécie, quatro discos provenientes de quatro árvores para cada região totalizando 72 amostras. A seleção das amostras foi feita de acordo com o diâmetro dos discos, sendo selecionados aqueles de maior diâmetro.

3.3.2 Determinação do teor de taninos

3.3.2.1 Determinação do número de Stiasny (NS)

Após cada extração em água quente foi separada uma alíquota de 50 ml para a determinação do teor de polifenóis pela reação de Stiasny (WISSING, 1955). A alíquota de 50 ml foi colocada em um balão, sendo adicionados 5 ml de ácido clorídrico concentrado e 10 ml de formaldeído. O balão foi levado para a manta térmica, sendo aquecido sob refluxo por 30 minutos. Posteriormente, o material foi filtrado em cadinho de vidro sinterizado sob vácuo. O precipitado (Figura 13) foi lavado com água quente destilada e levado à estufa à 105°C até a obtenção do peso seco. O número de Stiasny (teor de tanino condensável) foi então determinado de acordo com a seguinte equação:

$$NS = PT/PE \times 100$$

onde: NS= número de Stiasny, %; PT= peso seco do tanino, g; e PE= peso seco do extrato, g.

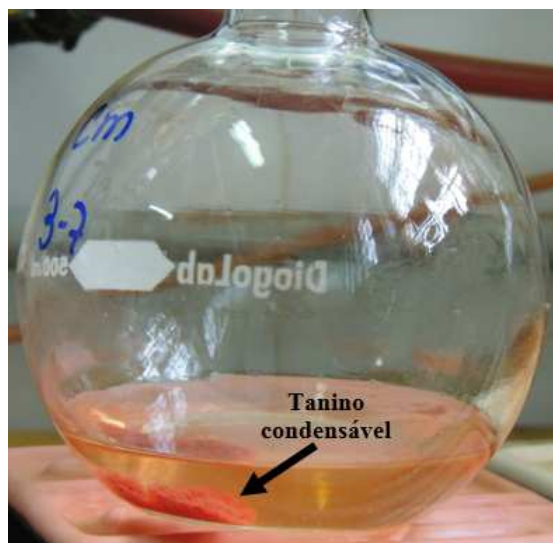


Figura 13. Determinação do teor de tanino condensável.

3.3.2.2 Determinação do teor de taninos e não taninos

O teor de taninos foi obtido pela multiplicação entre o número de Stiasny e o teor de extrativos em água quente, dividido por 100.

O teor de não taninos foi obtido pela diferença entre o teor de extrativos em água quente e o teor de taninos.

3.4 Ensaio de rigidez da madeira

O módulo de elasticidade dinâmico das madeiras foi realizado utilizando o método não destrutivo de transmissão de ultrassom através de pulsos elétricos tal como descrito por Bucur (1984) e Herzig (1992).

As medições foram realizadas no Centre de Recherche sur les Matériaux Renouvelables (CRM) da Faculté de Foresterie, de Géomatique et de Géographie da Université Laval (Québec-QC, Canadá). Para este ensaio, foram utilizadas baguetas de madeira, as quais foram primeiramente acondicionadas em câmara climática à 20°C e 60% de umidade relativa (UR), a fim de se obter o teor de umidade de equilíbrio à 12% de umidade. As baguetas de madeira foram mantidas em suportes de plexiglás para evitar deformações durante a dessecção (Figura 14A).

Para determinar a velocidade de propagação da onda ultrassônica, as baguetas foram posicionadas entre dois transdutores de ultrassom, LT (transdutor transmissor) e LR (transdutor receptor) instalado numa barra de alinhamento. Em seguida foi aplicada uma pressão constante de 10 atmosferas ao material tal como mostrado na Figura 14B. As medições foram realizadas nos sentidos paralelo ($MOEd_{//}$) e perpendicular às fibras ($MOEd_{\perp}$) tal como descrito por Yang & Fortin (2001) e tomadas em diferentes intervalos de tempo. A marcação do tempo de transmissão foi aceita somente quando uma amplitude máxima e bem definida foi visualizada no visor do osciloscópio. Para a marcação da direção longitudinal nas extremidades das baguetas foi utilizado um microscópio binocular. No início de cada série de medição, o equipamento foi calibrado com uma amostra de plexiglás padrão possuindo as mesmas dimensões das baguetas visando aumentar a confiabilidade dos dados obtidos.

Para o teste do ultrassom, foram selecionadas somente as baguetas que apresentavam um comprimento mínimo de 25 mm, sendo excluídas aquelas com comprimento menor. O total de baguetas de madeira utilizadas foram de 233.

Para a calibração do aparelho com o plexiglás foi utilizado a seguinte equação como fator de correção da velocidade de propagação e padronização da onda:

$$V_b = d_b V_r / (d_r - t_r V_r + t_b V_r)$$

onde: V_b = velocidade de propagação da onda ultrassônica, $m.s^{-1}$; d_b = tamanho da amostra de madeira, m; V_r = velocidade de propagação padrão do plexiglás, $2,670 m.s^{-1}$; d_r = tamanho do plexiglás, m; t_b = tempo de percurso da onda ultrassônica na madeira, s; t_r = tempo de percurso da onda ultrassônica no plexiglás, s.

O módulo de elasticidade dinâmico foi calculado pela seguinte fórmula:

$$MOEd = V_b^2 \times \rho / g$$

onde: $MOEd$ = módulo de elasticidade dinâmico, MPa; V_b = velocidade de propagação da onda ultrassônica, $cm.s^{-1}$; ρ = densidade aparente da madeira no teor de umidade de equilíbrio, $g.cm^{-3}$; g = aceleração da gravidade, $980,4 cm.s^{-2}$.

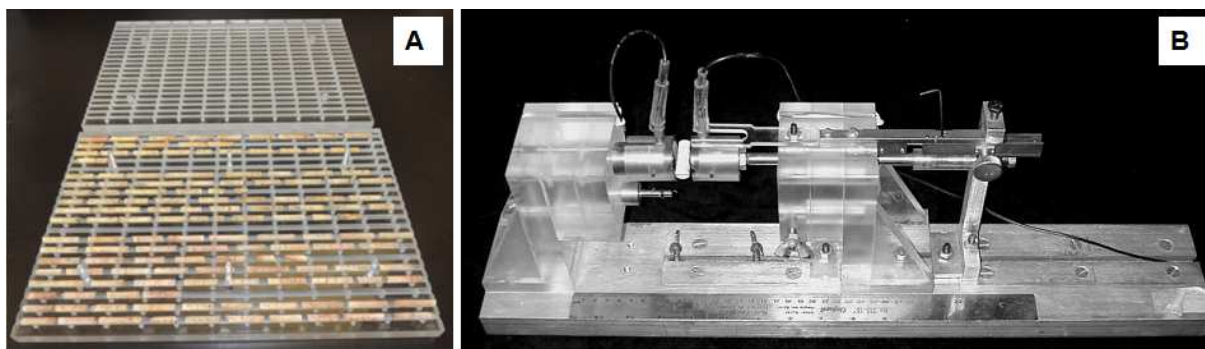


Figura 14. (A) Suporte de plexiglás utilizado para acondicionamento das baguetas de madeira das cinco espécies africanas. (B) Dispositivo utilizado para determinar o módulo de elasticidade dinâmico das baguetas de madeira (YANG & FORTIN, 2001).

3.5 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram feitas com o auxílio do programa STATISTICA 7.0, sendo os testes analisados à 95% de probabilidade. A normalidade dos dados foi verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov e a homogeneidade das variâncias através do teste de Levene.

Para as variáveis que apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias, aplicou-se a análise de variância (ANOVA) e quando encontrados resultados significativos foi utilizado um dos testes de comparação entre médias (Tukey, Fisher, Scheffe ou Bonferroni). O teste de Tukey foi utilizado quando a variável estudada apresentou número igual de repetições enquanto que os demais testes, para um número desigual de repetições. Quando os critérios da ANOVA não foram atendidos, testou-se a transformação dos dados. O teste não paramétrico de Kruskal-Wallis foi utilizado somente quando não houve normalidade dos dados e/ou homogeneidade das variâncias mesmo após a transformação dos dados.

As variáveis independentes estudadas foram: espécie (1-*Combretum glutinosum*, 2-*Combretum micranthum*, 3-*Combretum nigricans*, 4-*Guiera senegalensis* e 5-*Piliostigma reticulatum*) e região (1- La Tapoa-Ouallam, 2- Gaya-Dogondoutchi, 3- Tafouka-Bouza e 4- Aguié-Kornaka). As variáveis dependentes avaliadas foram: densidade aparente, variáveis colorimétricas (L^* , a^* e b^*), teor de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), teor de tanino condensado e não tanino, velocidade de propagação da onda ultrassônica nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras e o módulo de elasticidade dinâmico paralelo ($MOEd_{//}$) e perpendicular ($MOEd_{\perp}$) às fibras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito do local de crescimento na densidade aparente da madeira

Os valores médios obtidos para densidade aparente dos discos de madeira das cinco espécies e quatro regiões estudadas são apresentados na Tabela 2. Comparando as regiões para cada espécie individualmente, os dados de densidade aparente apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias, portanto aplicou-se a ANOVA e quando significativo realizou-se o teste de Scheffe à 5% de significância para verificar as diferenças significativas entre as médias.

Tabela 2. Valores médios obtidos para a densidade aparente dos discos de madeira das cinco espécies africanas para diferentes regiões.

Região	Espécie				
	<i>Combretum glutinosum</i>	<i>Combretum micranthum</i>	<i>Combretum nigricans</i>	<i>Guiera senegalensis</i>	<i>Piliostigma reticulatum</i>
1: La Tapoa-Ouallam	0,745 (0,14)	0,819 (0,07)	0,789 (0,14)	0,768 (0,07) ab	0,731 (0,04)
2: Gaya-Dogondoutchi	0,752 (0,09)	0,861 (0,08)	0,839 (0,08)	0,738 (0,06) ab	0,710 (0,06)
3: Tafouka-Bouza	0,788 (0,07)	0,848 (0,12)	-	0,791 (0,10) a	0,727 (0,06)
4: Aguié-Kornaka	0,779 (0,08)	0,862 (0,04)	-	0,720 (0,05) b	0,694 (0,05)
Média geral	0,767 BC	0,845 A	0,813 AB	0,755 CD	0,715 D
Teste de Levene	0,46 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,74 ^{NS}	1,23 ^{NS}	0,13 ^{NS}
ANOVA – Valor F	0,87 ^{NS}	0,92 ^{NS}	1,99 ^{NS}	3,69*	1,75 ^{NS}

* Significativo à 95% de probabilidade. ^{NS} Não significativo. Valores entre parêntesis = desvio padrão. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Scheffe ($\alpha = 0,05$). Letras minúsculas = comparação entre linhas. Letras maiúsculas = comparação entre colunas.

O local de crescimento não afetou a densidade aparente da madeira das espécies de *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans* e *Piliostigma reticulatum*. Entretanto, diferenças significativas foram observadas entre as densidades aparentes da madeira de *Guiera senegalensis* das regiões 3 (Tafouka-Bouza) e 4 (Aguié-Kornaka). Neste caso, a região 3 apresentou uma densidade aparente maior (0,791 g.cm⁻³) que a região 4 (0,720 g.cm⁻³). Isso pode ser explicado pelo fato da região 3 ser uma das mais áridas e por estar localizada à uma latitude maior, mais próxima ao Deserto do Saara.

Quando comparou-se a média da densidade aparente de todas as espécies entre si, independente da região, os dados apresentaram normalidade e homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene, portanto aplicou-se a ANOVA, e a comparação entre as médias foi feita pelo teste de Scheffe. Diferenças significativas foram encontradas entre as densidades aparentes ($F = 1,41$, $p > 0,013$) das cinco espécies estudadas. As maiores densidades aparentes foram observadas para as madeiras de *Combretum micranthum* (0,845 g.cm⁻³) e *Combretum nigricans* (0,813 g.cm⁻³), seguidas pelas madeiras de *Combretum glutinosum* (0,767 g.cm⁻³), *Guiera senegalensis* (0,755 g.cm⁻³) e *Piliostigma reticulatum* (0,715 g.cm⁻³). Estes resultados estão próximos aos valores encontrados por outros autores. Estudos realizados por Nygard & Elfving (2000) com 45 espécies das savanas africanas com idades entre 5 e 14 anos indicaram valores médios de densidade de 0,736 g.cm⁻³ para *Combretum micranthum*, 0,751 g.cm⁻³ para *Combretum nigricans*, 0,686 g.cm⁻³ para *Combretum glutinosum*, 0,681 g.cm⁻³ para *Guiera senegalensis* e 0,641 g.cm⁻³ para *Piliostigma reticulatum*. Picard et al. (2006) também encontraram valores similares no estudo realizado em áreas sudanesas do Sahel Africano onde se determinou a melhor unidade de gestão na produção de carvão e lenha através das características da vegetação de três savanas africanas. Esses autores obtiveram densidades básicas de 0,694 g.cm⁻³ para *Combretum glutinosum*, 0,760 g.cm⁻³ para *Combretum*

micranthum, 0,752 g.cm⁻³ para *Combretum nigricans*, 0,658 g.cm⁻³ para *Guiera senegalensis* e 0,647 g.cm⁻³ para *Piliostigma reticulatum*. Sotelo et al. (2012), ao avaliar o efeito da região, dos tipos de solos e do uso da terra em ecozonas sudanesas do Sahel Africano em Mali observaram valores médios de densidade de 0,666 g.cm⁻³ para *Combretum glutinosum*, 0,673 g.cm⁻³ para *Guiera senegalensis* e 0,530 g.cm⁻³ para *Piliostigma reticulatum*. Estudando as propriedades do carvão da madeira de *Combretum micranthum* no Tongo, Fontodji et al. (2013) encontraram valores médios de 0,794 g.cm⁻³ para a densidade básica.

4.2 Comparação da cor da madeira entre as espécies

Os valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas das madeiras de *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis* e *Piliostigma reticulatum*, independente da região, são apresentados na Tabela 3.

As variáveis L* e b* apresentaram distribuição normal pelo teste de Kolmogorov-Smirnov á nível de 5% de significância, porém não apresentaram homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene (Tabela 3). A variável a* não apresentou normalidade dos dados, mesmo após as transformações dos dados, e nem homogeneidade das variâncias. Portanto, foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para todas as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*).

Entre todas as espécies estudadas, a *Guiera senegalensis* foi aquela que apresentou a madeira mais escura, ou seja, com o menor valor de L* (luminosidade), seguida pelas espécies *Combretum micranthum*, *Piliostigma reticulatum*, *Combretum nigricans* e *Combretum glutinosum*. As espécies *Combretum glutinosum* e *Combretum nigricans* apresentaram as madeiras mais claras por apresentar o maior valor de L* (Figura 15).

A espécie *Combretum micranthum* foi aquela que apresentou mais pigmento vermelho (a*), seguida por *Piliostigma reticulatum* e *Guiera senegalensis* e posteriormente *Combretum nigricans* e *Combretum glutinosum*, as quais obtiveram os menores valores de a* (Figura 16).

Tabela 3. Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira das cinco espécies africanas.

Espécie	L*		a*		b*	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
<i>Combretum glutinosum</i>	61,27 a (250,61)	4,54	4,01 c (71,55)	1,09	24,04 a (220,65)	3,51
<i>Combretum micranthum</i>	55,95 bc (144,96)	3,45	10,61 a (307,49)	1,26	25,57 a (253,30)	3,33
<i>Combretum nigricans</i>	60,16 a (237,55)	2,11	4,03 c (72,23)	1,04	23,55 a (207,54)	2,81
<i>Guiera senegalensis</i>	53,68 c (100,09)	3,73	6,17 b (170,28)	1,63	17,88 b (89,50)	3,35
<i>Piliostigma reticulatum</i>	56,52 b (163,14)	5,54	6,85 b (201,76)	1,01	19,36 b (121,50)	4,50
Teste de Levene	13,89**		7,75**		6,36**	
Teste de Kruskal-Wallis – Valor H	111,87**		253,80**		145,26**	

** Significativo à 99% de probabilidade. DP: desvio padrão. Valores entre parêntesis = média dos postos obtidos pelo teste de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si.

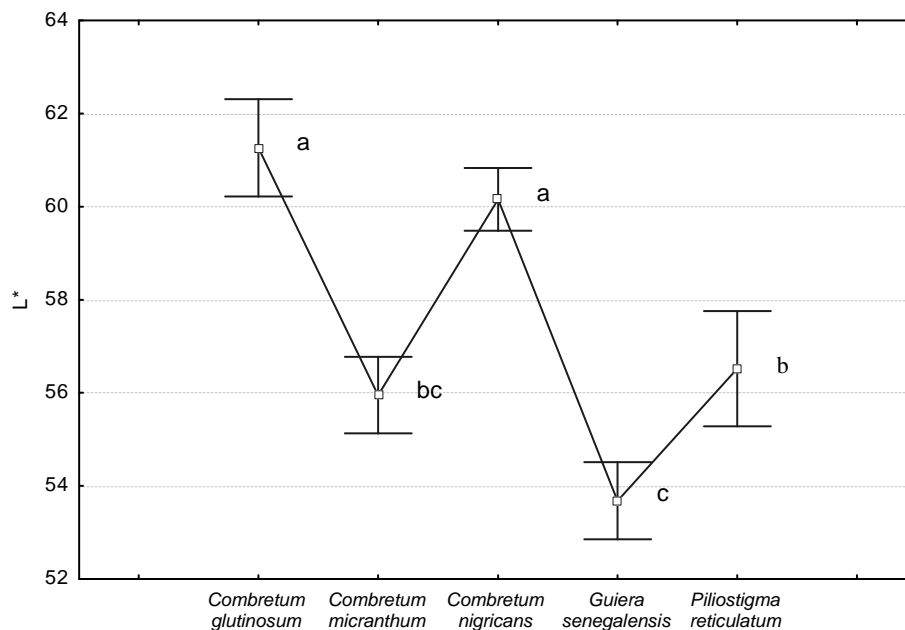


Figura 15. Comparação da luminosidade (L*) da madeira entre as espécies africanas.

As três espécies de *Combretum* apresentaram os maiores valores de b* (amarelo) quando comparadas às espécies *Guiera senegalensis* e *Piliostigma reticulatum*, as quais não se diferenciaram entre si (Figura 17).

A Figura 18 apresenta as três variáveis L*, a* e b* obtidas para todas as espécies estudadas. A colorimetria permitiu diferenciar as espécies estudadas, com exceção das espécies *Combretum glutinosum* e *Combretum nigricans*, as quais não puderam ser distinguidas pela cor uma da outra.

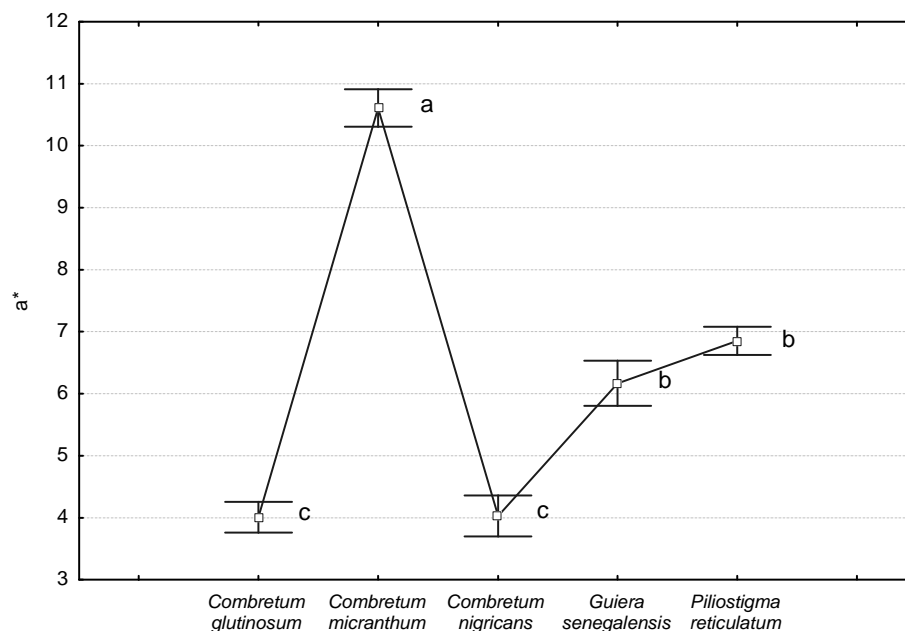


Figura 16. Comparação da tonalidade vermelha (a*) da madeira entre as espécies africanas.

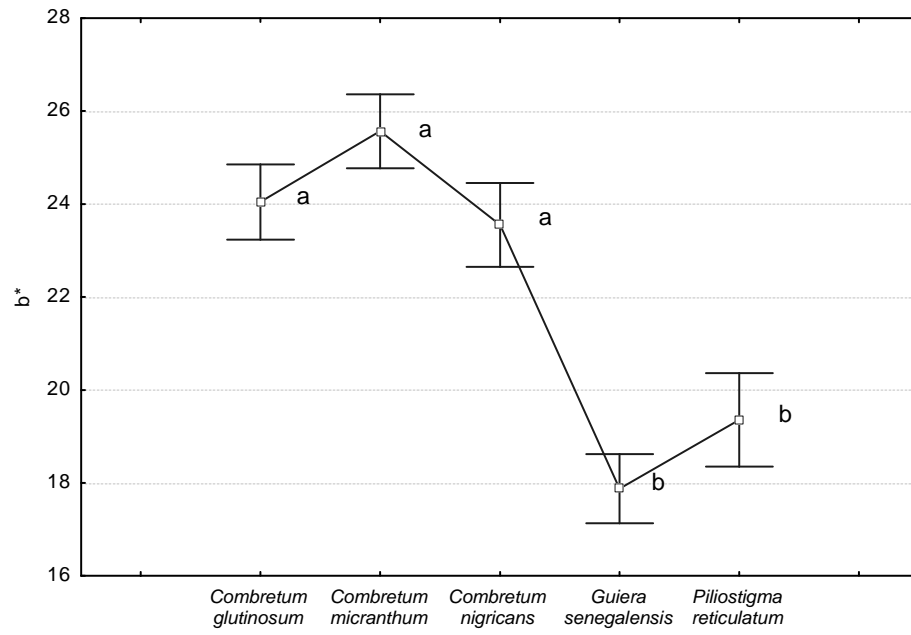
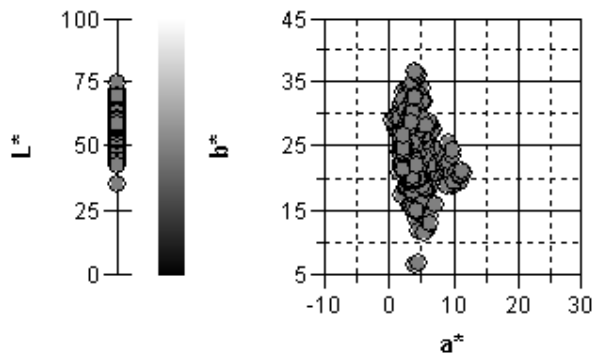
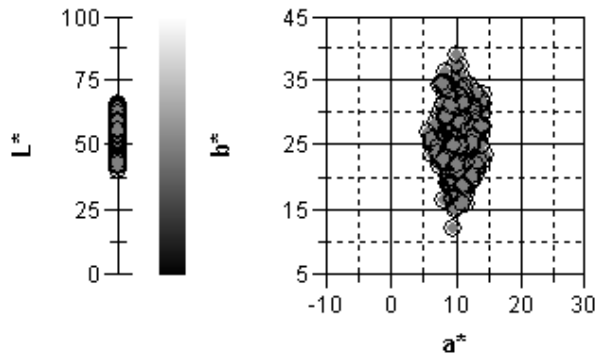


Figura 17. Comparação da tonalidade amarela (b*) da madeira entre as espécies africanas.

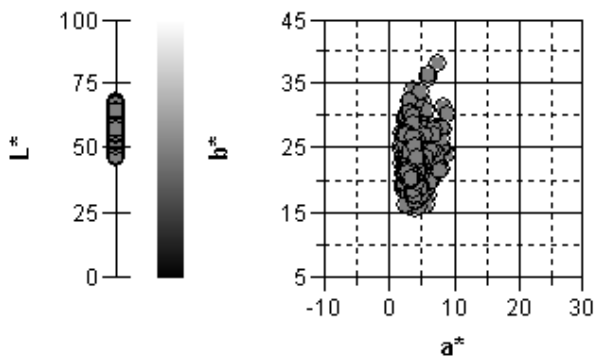
A: *Combretum glutinosum*



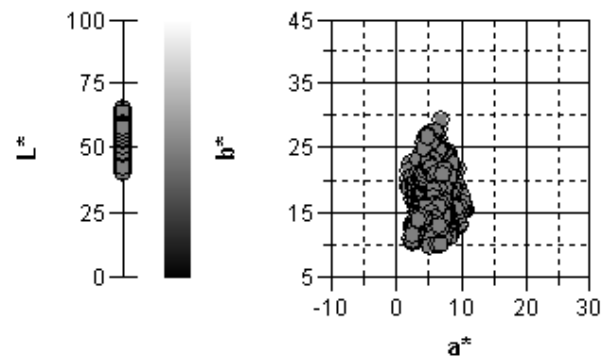
B: *Combretum micranthum*



C: *Combretum nigricans*



D: *Guiera senegalensis*



E: *Piliostigma reticulatum*

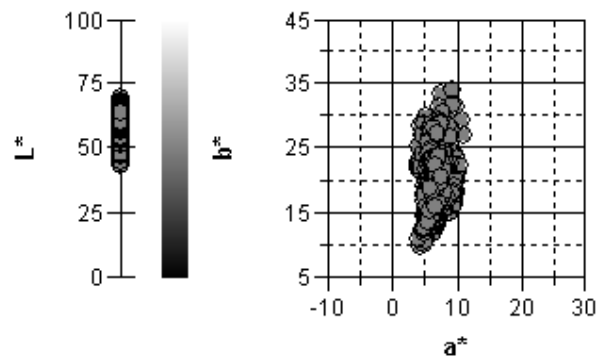


Figura 18. Variáveis colorimétricas (L^* , a^* e b^*) obtidas para a madeira das cinco espécies africanas.

4.3 Efeito do local de crescimento na cor da madeira

4.3.1 *Combretum glutinosum*

Os valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Combretum glutinosum* são apresentados na Tabela 4.

Os dados das variáveis L* e b* apresentaram normalidade e homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene, o que permitiu utilizar a ANOVA. Para a coordenada b*, não foram observadas diferenças significativas, enquanto que para a variável L*, o valor F foi significativo e a comparação entre médias foi feita pelo teste de Fisher à 5% de significância. As regiões 2 (Gaya- Dogondoutchi) e 3 (Tafouka-Bouza) apresentam madeiras com maior luminosidade (maiores valores de L*) enquanto que as madeiras das regiões 1 (La Tapoa-Ouallam) e 4 (Aguié-Kornaka) foram mais claras (Figura 19).

A coordenada a* não apresentou distribuição normal, sendo necessária a transformação dos dados (log 10). Após a transformação, os dados apresentaram normalidade e homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene, portanto aplicou-se a ANOVA, entretanto, não foram observadas diferenças significativas entre as regiões.

Tabela 4. Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Combretum glutinosum* para diferentes regiões.

Região	L*		a*		b*	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1: La Tapoa-Ouallam	59,54 b	4,76	4,29 (0,607)	1,68	22,80	3,36
2: Gaya-Dogondoutchi	63,14 a	3,72	3,73 (0,563)	0,72	24,87	3,21
3: Tafouka-Bouza	62,80 a	3,71	4,17 (0,612)	0,79	25,13	3,05
4: Aguié-Kornaka	59,51 b	4,83	3,86 (0,572)	0,96	23,44	3,98
Teste de Levene	0,95 ^{NS}		2,65 ^{NS}		0,64 ^{NS}	
ANOVA – Valor F	4,04*		0,90 ^{NS}		2,23 ^{NS}	

* Significativo à 95% de probabilidade. ^{NS} Não significativo. DP: desvio padrão. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Fisher ($\alpha = 0,05$). Valores entre parêntesis = dados transformados (log10).

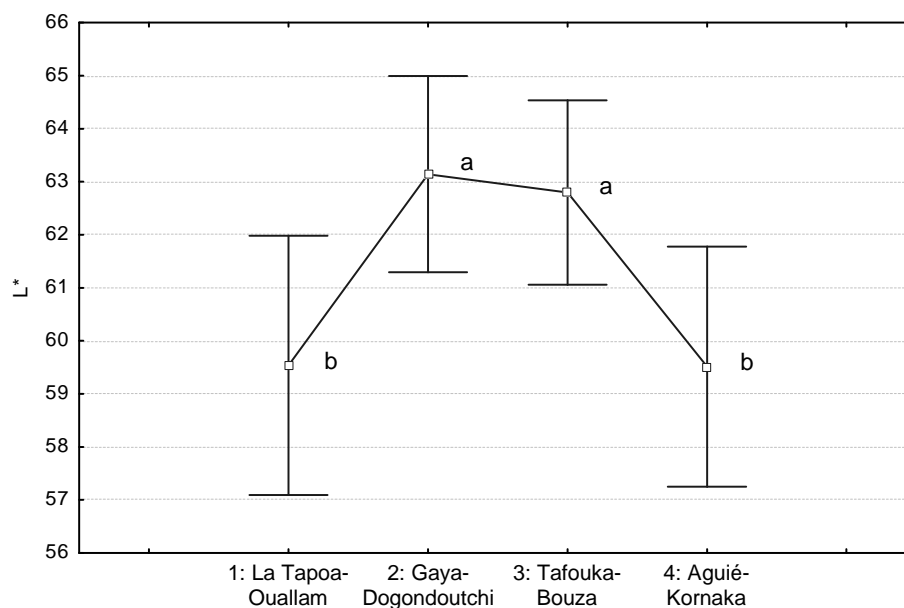


Figura 19. Efeito do local de crescimento na luminosidade (L*) da madeira de *Combretum glutinosum*.

4.3.2 *Combretum micranthum*

Os valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Combretum micranthum* são apresentados na Tabela 5.

Para a espécie *Combretum micranthum*, as variáveis L*, a* e b* apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias permitindo realizar a ANOVA. As análises estatísticas mostram que não houve diferenças significativas de luminosidade (L*) entre as madeiras provenientes das regiões estudadas. Entretanto, para as coordenadas cromáticas a* e b*, foram encontradas diferenças significativas entre as regiões, sendo portanto realizado o teste de Bonferroni a fim de identificar as diferenças entre as médias. Para a coordenada a*, a região 3 (Tafouka-Bouza) diferenciou-se somente das regiões 2 (Gaya-Dogondoutchi) e 4 (Aguié-Kornaka) (Figura 20).

As madeiras mais amareladas (maior valor de b*) são encontradas nas regiões 3 (Tafouka e Bousza) e 4 (Aguié-Kornaka) (Figura 21).

Tabela 5. Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Combretum micranthum* para diferentes regiões.

Região	L*		a*		b*	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1: La Tapoa-Ouallam	55,43	4,26	10,86 ab	1,08	23,50 c	2,98
2: Gaya-Gogondoutchi	56,94	3,16	10,05 b	1,03	24,91 bc	2,67
3: Tafouka-Bouza	55,00	2,65	11,24 a	1,18	26,81 ab	2,68
4: Aguié-Kornaka	56,93	3,34	9,96 b	1,54	28,52 a	3,55
Teste de Levene	2,49 ^{NS}		1,83 ^{NS}		1,03 ^{NS}	
ANOVA-Valor F	1,50 ^{NS}		4,81*		8,42**	

* Significativo à 95% de probabilidade. ** Significativo à 99% de probabilidade. ^{NS} Não significativo. DP: desvio padrão. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Bonferroni ($\alpha = 0,05$).

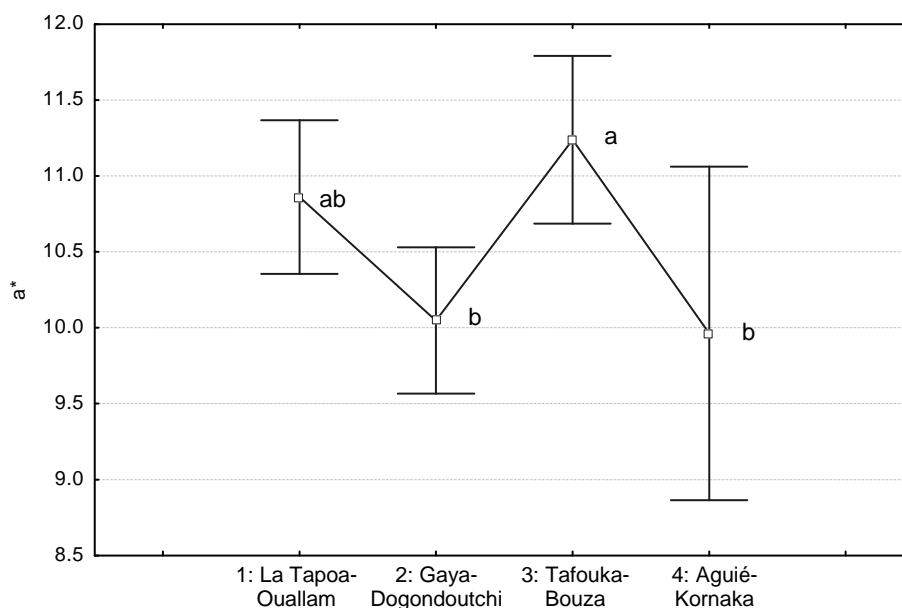


Figura 20. Efeito do local de crescimento na tonalidade vermelha (a*) da madeira de *Combretum micranthum*.

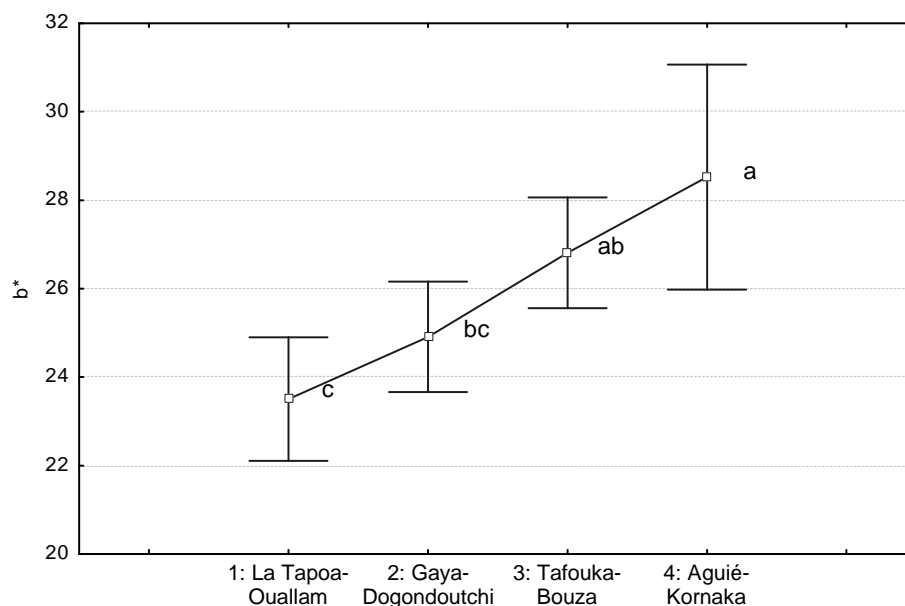


Figura 21. Efeito do local de crescimento na tonalidade amarela (b^*) da madeira de *Combretum micranthum*.

4.3.3 *Combretum nigricans*

Os valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Combretum nigricans* são apresentados na Tabela 6.

Para a espécie *Combretum nigricans*, as variáveis L^* , a^* e b^* apresentaram distribuição normal. L^* e b^* apresentaram homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene, o que permitiu realizar a ANOVA, entretanto não foram observadas diferenças significativas entre as regiões para ambas as variáveis. A coordenada a^* não apresentou homogeneidade das variâncias mesmo após a transformação dos dados, portanto utilizou-se o teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov ao nível de 5% de significância. Neste caso, as madeiras da região 2 (Gaya-Dogondoutchi) apresentaram mais pigmento vermelho (a^*) que as madeiras da região 1 (La Tapoa-Ouallam).

Tabela 6. Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Combretum nigricans* para diferentes regiões.

Região	L^*		a^*		b^*	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1: La Tapoa-Ouallam	60,39	2,19	3,73 b	0,41	23,21	3,21
2: Gaya-Dogondoutchi	59,92	2,04	4,33 a	1,36	23,89	2,38
Teste de Levene	0,78 ^{NS}		9,58**		0,47 ^{NS}	
ANOVA-Valor F	0,50 ^{NS}		-		0,58 ^{NS}	
Teste de Kolmogorov-Smirnov	-		-		-	

** Significativo à 99% de probabilidade. ^{NS} Não significativo. DP: desvio padrão. S: significativo. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ($\alpha = 0,05$).

4.3.4 *Guiera senegalensis*

Os valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Guiera senegalensis* são apresentados na Tabela 7.

Para espécie *Guiera senegalensis*, as variáveis L* e a* apresentam distribuição normal e homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene, portanto aplicou-se ANOVA. Para a variável L*, não foram observadas diferenças significativas entre as quatro regiões estudadas.

Para a coordenada a* foram observadas diferenças significativas entre as regiões 3 (Tafouka-Bouza) e 4 (Aguié-Kornaka) segundo o teste de Tukey à 95% de probabilidade. A região 3 apresentou um maior teor de pigmento vermelho que a região 4 (Figura 22).

A variável b* não apresentou homogeneidade das variâncias mesmo após a transformação dos dados, portanto aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Entretanto, não foram encontradas diferenças significativas de pigmento amarelo (b*) entre as madeiras das regiões estudadas (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Guiera senegalensis* para diferentes regiões.

Região	L*		a*		b*	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1: La Tapoa-Ouallam	53,28	2,70	6,42 ab	1,58	18,01 (40,50)	3,62
2: Gaya-Dogondoutchi	52,70	4,80	6,27 ab	1,74	17,22 (36,05)	3,22
3: Tafouka-Bouza	56,89	3,30	6,72 a	1,57	18,14 (43,75)	2,10
4: Aguié-Kornaka	54,86	3,73	5,26 b	1,35	18,15 (41,70)	4,26
Teste de Levene	2,04 ^{NS}		0,49 ^{NS}		3,52*	
ANOVA-Valor F	1,23 ^{NS}		3,26*		-	
Teste de Kruskal-Wallis - Valor H	-		-		1,18 ^{NS}	

* Significativo à 95% de probabilidade. ^{NS} Não significativo. DP: desvio padrão. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). Valores entre parêntesis = média dos postos obtidos pelo teste de Kruskal-Wallis.

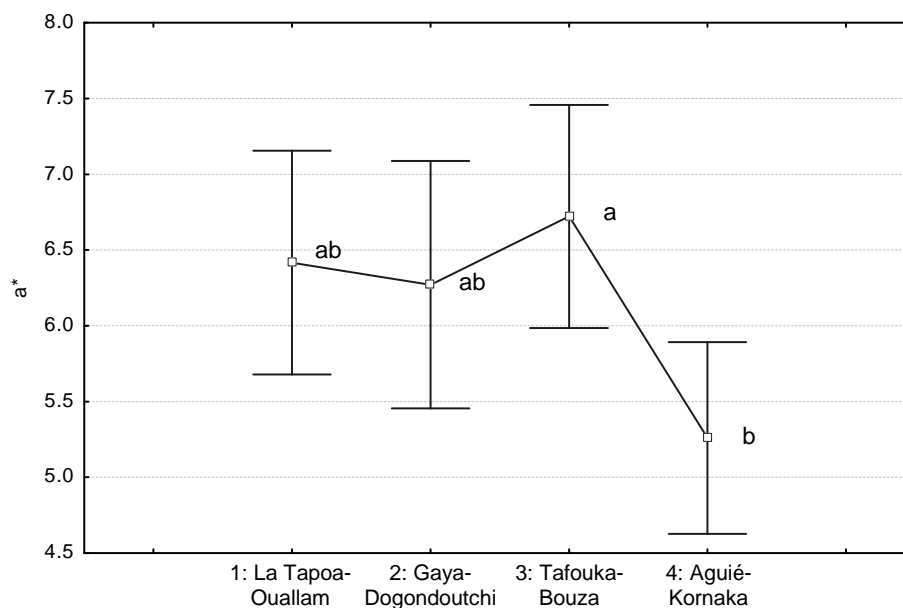


Figura 22. Efeito do local de crescimento na tonalidade vermelha (a*) da madeira de *Guiera senegalensis*.

4.3.5 *Piliostigma reticulatum*

Os valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Piliostigma reticulatum* são apresentados na Tabela 8.

Para *Piliostigma reticulatum*, as variáveis L*, a* e b* apresentaram distribuição normal e homogeneidade das variâncias através do teste de Levene, permitindo realizar a ANOVA.

As variáveis L* e a* da madeira de *Piliostigma reticulatum* não apresentaram diferenças significativas entre as regiões. Entretanto, para a variável b*, as madeiras da região 4 (Aguié-Kornaka) foi estatisticamente diferente das demais regiões segundo o teste de Fisher a 5% de significância, ou seja, as madeiras dessa região apresentaram menos pigmento amarelo (b*) (Figura 23).

Tabela 8. Valores médios obtidos para as variáveis colorimétricas da madeira de *Piliostigma reticulatum* para diferentes regiões.

Região	L*		a*		b*	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
1: La Tapoa-Ouallam	55,76	5,62	6,96	0,98	21,03 a	4,22
2: Gaya-Dogondoutchi	56,84	5,82	6,97	1,23	19,73 a	4,68
3: Tafouka-Bouza	58,88	4,45	6,96	0,96	20,49 a	3,94
4: Aguié-Kornala	54,95	5,77	6,53	0,85	16,26 b	3,79
Teste de Levene	1,36 ^{NS}		0,91 ^{NS}		1,09 ^{NS}	
ANOVA-Valor F	1,93 ^{NS}		0,91 ^{NS}		5,22**	

** Significativo à 99% de probabilidade. ^{NS} Não significativo. DP: desvio padrão. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Fisher ($\alpha = 0,05$).

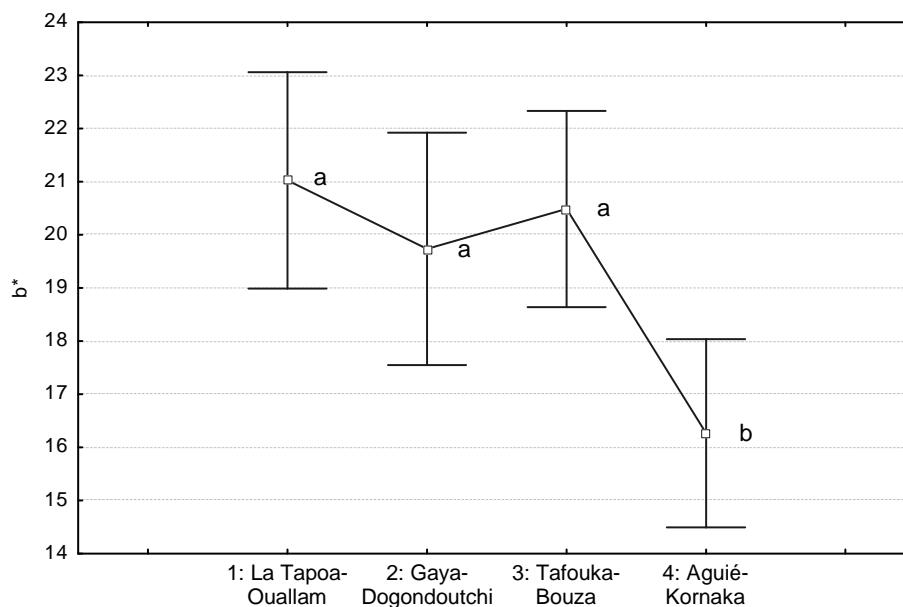


Figura 23. Efeito do local de crescimento na tonalidade amarela (b*) da madeira de *Piliostigma reticulatum*.

4.4 Comparação dos teores de extrativos da madeira entre as espécies

Os valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, polifenóis ou número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino das madeiras de *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis* e *Piliostigma reticulatum*, independente da região, são apresentados na Tabela 9.

As variáveis número de Stiasny (NS) e tanino condensado não apresentaram homogeneidade das variâncias mesmo após a transformação dos dados, portanto aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Não foram observadas diferenças significativas entre as médias dos teores de extrativos em água quente das cinco espécies. Os teores de extrativos em água quente observados variaram de 5,53 a 6,94%.

Para o teor de polifenóis, representado pelo número de Stiasny (NS) foram observadas diferenças significativas entre as espécies. A madeira de *Combretum micranthum* apresentou o maior teor de polifenóis (66,65%), entretanto a espécie não foi estatisticamente diferente das espécies *Combretum glutinosum* e *Guiera senegalensis*, as quais apresentaram teores de 47,88 e 54,99%. A madeira de *Piliostigma reticulatum* apresentou um teor de 37,97% enquanto que a madeira de *Combretum nigricans* o menor teor de polifenóis (6,63%). Segundo Trugilho (1997), a quantidade de teor de polifenóis é uma característica particular de cada espécie, podendo variar de acordo com a idade da árvore, os constituintes químicos presentes na madeira, a posição de coletas das amostras e as condições edafoclimáticas em que as árvores se desenvolveram.

Tabela 9. Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira das cinco espécies africanas.

Espécie	Extrativos em água quente (%)	Número de Stiasny (NS) (%)	Tanino condensado (%)	Não tanino (%)
<i>Combretum glutinosum</i>	6,94	47,88 (39,34) ab	3,26 (42,06)ab	3,22 b
<i>Combretum micranthum</i>	5,96	66,65 (58,06) a	3,88 (49,19) a	2,08 c
<i>Combretum nigricans</i>	6,56	6,63 (5,37) c	0,41 (6,94) c	6,15 a
<i>Guiera senegalensis</i>	6,26	54,99 (41,09) ab	3,62 (42,87) ab	2,64 bc
<i>Piliostigma reticulatum</i>	5,53	37,97 (23,03) bc	2,06 (26,66) bc	3,47 b
Teste de Levene	1,59 ^{NS}	9,43**	6,29 ^{NS}	1,32 ^{NS}
ANOVA – Valor F	0,91 ^{NS}	-		9,63**
Teste de Kruskal-Wallis – Valor H	-	42,34**	28,04**	

Valores entre parêntesis = média dos postos obtidos pelo teste de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). ** Significativo á 99% de probabilidade. ^{NS} Não significativo.

Com relação ao teor de tanino condensado, o maior valor foi observado para a espécie *Combretum micranthum* (3,88%), estes resultados justificam porque a espécie é uma das mais valorizadas na medicina popular africana. Entretanto, a madeira desta espécie não foi estatisticamente diferente das madeiras de *Combretum glutinosum* e *Guiera senegalensis*, as quais apresentaram teores de tanino de 3,26 e 3,62%. Os maiores teores de taninos observados para as madeiras de *Combretum micranthum* e *Combretum glutinosum* confirmam os resultados encontrados por Jansen & Cardon (2005). Para *Guiera senegalensis*, o alto teor de tanino encontrado neste estudo, torna a espécie interessante, já que a mesma é considerada invasora e abundante na região do Sahel, portanto, apresentando potencial para substituir as espécies mais exploradas para a indústria têxtil.

Comparando as médias dos teores de não tanino entre a madeira de todas as espécies, verificou-se que *Combretum nigricans* apresentou o maior teor de não tanino com 6,15%, contudo não foram observados resultados expressivos no teor de tanino total, o que justifica o alto valor de não tanino. De acordo com Vieira (2010), os não taninos correspondem à fração de açúcares, gomas e resinas existentes na madeira, sendo de grande importância sua quantificação, pois através deles pode ser determinada a qualidade da resina a ser confeccionada, no caso de utilização em colagem de madeiras. O baixo teor de tanino encontrado para a madeira de *Combretum nigricans* contradiz a afirmação feita por Jansen & Cardon (2005).

4.5 Efeito do local de crescimento nos teores de extrativos da madeira

Estudos envolvendo teores de extrativos são complexos já que estes são afetados por inúmeras variáveis tais como a idade da árvore (a qual é ainda indeterminada neste estudo), condições edafoclimáticas e características intrínsecas à árvore, ou seja, à cada indivíduo.

O efeito das regiões nos teores de extrativos para cada espécie não considera o efeito da latitude e da longitude nas condições edafoclimáticas de crescimento da planta. Sabe-se que estas variáveis apresentam um forte impacto na qualidade da madeira tal como observado por Sotelo Montes et al. (2012). Na região do Sahel, a latitude apresenta um impacto importante nas características edafoclimáticas, pois quanto maior a latitude, mais áridas são as regiões já que estão cada vez mais próximas do Deserto do Saara.

4.5.1 *Combretum glutinosum*

Os valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, polifenóis, tanino condensado e não tanino da madeira de *Combretum glutinosum* para as quatro regiões são apresentados na Tabela 10. O teor de tanino condensado não apresentou homogeneidade das variâncias mesmo após a transformação dos dados, portanto aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis.

Não foram observadas diferenças significativas entre as médias dos teores de extrativos em água quente. Com relação ao teor de polifenóis, diferenças significativas foram observadas apenas para região 2 (Gaya-Dogondoutchi), sendo esta a que apresentou o menor valor (8,38%). Entre as quatro regiões estudadas, a região 2 destaca-se das demais por apresentar um dos maiores índices pluviométricos.

Tabela 10. Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira de *Combretum glutinosum* para diferentes regiões.

Região	Extrativos em água quente (%)	Número de Stiasny (NS) (%)	Tanino condensado (%)	Não tanino (%)
1: La Tapoa-Ouallam	5,92	65,71 a	3,97 (9,00) ab	0,39 b
2: Gaya-Dogondoutchi	7,05	8,38 b	0,45 (2,50) b	1,44 a
3: Tafouka-Bouza	6,90	56,04 a	3,82 (9,62) ab	1,08 ab
4: Aguié-Kornaka	7,87	61,41a	4,80 (12,87) a	1,09 ab
Teste de Levene	0,87 ^{NS}	1,52 ^{NS}	4,01 ^{**}	1,52 ^{NS}
ANOVA – Valor F	0,68 ^{NS}	141,28 ^{**}	-	4,64 ^{**}
Teste de Kruskal-Wallis – Valor H	-	-	10,03 ^{**}	-

Valores entre parêntesis = média dos postos obtidos pelo teste de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Sheffé ($\alpha = 0,05$). ** Significativo á 99% de probabilidade. ^{NS} Não significativo.

A região 4 (Aguié-Kornaka) foi a região que apresentou mais tanino condensado (4,80%). Essa região está localizada em uma das zonas mais áridas do Sahel africano o que pode ter influenciado no resultado. Makkar (1998) observou que os níveis de tanino estão diretamente relacionados com clima, solo, disponibilidade de água e idade da planta. A região 4 também foi a que apresentou os maiores teores de não tanino (1,09%).

4.5.2 *Combretum micranthum*

Os valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, polifenóis, tanino condensado e não tanino da madeira de *Combretum micranthum* são apresentados na Tabela 11.

A região 1 (La Tapoa-Ouallam) foi a que apresentou o maior teor de extrativos (8,47%), enquanto que as demais regiões não foram estatisticamente diferentes entre si. Estes resultados foram similares aos resultados observados por Gonçalves e Lelis (2001) ao avaliar o teor de tanino na madeira e na casca da espécie *Acacia mangium*. Esses autores observaram que os teores de extrativos na madeira são geralmente menores que os extrativos da casca, sendo de aproximadamente 5 e 15%, respectivamente. No caso dos extrativos em água quente, os autores observaram valores de 6% e 25% para madeira e a casca da espécie *Albizia guachapele*. Os valores de extrativos totais e tanino da madeira encontrados no presente estudo estão próximos àqueles obtidos por Gonçalves e Lelis (2001).

Quanto aos teores de não tanino apenas a região 1 (La Tapoa-Ouallam) diferiu estatisticamente da região 3 (Tafouka-Bouza) com valores de 3,3 e 1,35%, respectivamente.

Não foram observadas diferenças significativas entre as médias das regiões para os teores de polifenóis e taninos.

Tabela 11. Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira de *Combretum micranthum* para diferentes regiões.

Região	Extrativos em água quente (%)	Número de Stiasny (NS) (%)	Tanino condensado (%)	Não tanino (%)
1: La Tapoa-Ouallam	8,47 a	60,73	5,17	3,30 a
2: Gaya-Dogondoutchi	5,40 b	66,73	3,45	1,95 ab
3: Tafouka-Bouza	4,95 b	73,19	3,30	1,35 b
4: Aguié-Kornaka	5,02 b	65,96	3,60	1,72 ab
Teste de Levene	1,75 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,75 ^{NS}	2,03 ^{NS}
ANOVA – Valor F	3,57**	2,07 ^{NS}	2,42 ^{NS}	3,89**

Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). **Significativo à 99% de probabilidade. ^{NS} Não significativo.

4.5.3 *Combretum nigricans*

Os valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, polifenóis, tanino condensado e não tanino da madeira de *Combretum nigricans* são apresentados na Tabela 12.

Para espécie *Combretum nigricans*, não foram observadas diferenças significativas entre as variáveis das duas regiões analisadas (La Tapoa-Ouallam e Gaya-Dogondoutchi). Essa espécie é uma das mais afetadas pelo intenso processo de desertificação ocorrente no Sahel Africano. De acordo com Lykke et al. (2003), as secas ocorrentes nos anos de 1970 e 1980 levaram a uma redução drástica no número de plantas lenhosas nas savanas do Sahel, tendo como consequência a redução do número e da diversidade de árvores. Por isso, a

combinação de longos períodos com baixa precipitação e aumento da pressão antrópica e da agropecuária, resultaram em um declínio contínuo na diminuição do número da vegetação e da qualidade, a um ponto onde muitas espécies estão se tornando escassas ou extintas. Desta forma, a vegetação lenhosa presente no Sahel agora é degradada, dispersa e de crescimento lento devido ao clima seco que assola a região.

Estudos realizados por Savadogo et al. (2007) destacaram a espécie *Combretum nigricans* como a mais rara da mata ciliar, floresta densa, floresta aberta e pousio.

Catarino et al. (2000) ao estudar o Genero *Combretum* na flora de Guiné-Bissau perceberam que a distribuição pelo território da espécie acontece de forma rara ou pouco frequente.

Tabela 12. Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira de *Combretum nigricans* para diferentes regiões.

Região	Extrativos em água quente (%)	Número de Stiasny (NS) (%)	Tanino condensado (%)	Não tanino (%)
1: La Tapoa-Ouallam	6,15	7,80	0,45	5,70
2: Gaya-Dogondoutchi	6,97	5,46	0,37	6,60
Teste de Levene	0,0082 ^{NS}	4,62 ^{NS}	1,00 ^{NS}	0,40 ^{NS}
ANOVA – Valor F	0,23 ^{NS}	2,24 ^{NS}	0,43 ^{NS}	0,30 ^{NS}

^{NS} Não significativo.

4.5.4 *Guiera senegalensis*

Os valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, polifenóis, tanino condensado e não tanino da madeira de *Guiera senegalensis* são apresentados na Tabela 13.

Comparando-se as médias dos teores de extrativos em água quente presentes na madeira de *Guiera senegalensis*, observa-se que apenas as regiões 3 (Tafoua-Bouza) e 1 (La Tapoa-Ouallam) são diferentes estatisticamente. A região 3 foi a que apresentou o maior teor de extrativos totais (8,10%).

Tabela 13. Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não taninos da madeira de *Guiera senegalensis* para diferentes regiões.

Região	Extrativos em água quente (%)	Número de Stiasny (NS) (%)	Tanino condensado (%)	Não tanino (%)
1: La Tapoa-Ouallam	3,07 a	48,06 (5,00) b	1,50 b	1,57
2: Gaya-Dogondoutchi	6,07 ab	46,43 (4,500) b	2,85 ab	3,22
3: Tafouka-Bouza	8,10 b	66,52 (14,00) a	5,47a	2,62
4: Aguié-Kornaka	7,80 ab	58,95 (10,50) ab	4,65 ab	3,15
Teste de Levene	0,64 ^{NS}	5,99**	2,07 ^{NS}	1,33 ^{NS}
ANOVA – Valor F	4,07**	-	5,56**	2,83 ^{NS}
Teste de Kruskal-Wallis – Valor H	-	11,03**	-	-

Valores entre parêntesis = média dos postos obtidos pelo teste de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). ** Significativo à 99% de probabilidade. ^{NS} Não significativo.

Para os teores de polifenóis a região 3 foi aquela que apresentou o maior valor de 66,52%, entretanto ela não foi diferente da região 4 mas foi estatisticamente diferente das demais regiões.

Quanto aos teores de taninos condensados apenas a região 1 diferiu estatisticamente da região 3 com valores de 1,50 e 5,47%, respectivamente. Novamente a região 3 foi aquela que apresentou mais tanino, enquanto que a região 1 foi a que apresentou menos tanino. Estes resultados estão diretamente relacionados com o local de crescimento da planta, visto que a região 3 está localizada nas áreas mais secas do Sahel africano e a região 1 em regiões mais úmidas afetando-se assim o desenvolvimento da planta. Não foram observadas diferenças significativas entre as médias dos teores de não tanino para as quatro regiões.

4.5.5 *Piliostigma reticulatum*

Os valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, polifenóis, tanino condensado e não tanino da madeira de *Piliostigma reticulatum* são apresentados na Tabela 14.

A região 3 (Tafouka-Bouza) foi a que apresentou o menor teor de polifenóis (22,73%), entretanto essa região foi estatisticamente igual à região 1 com 37,12% e diferente das regiões 2 e 4. As regiões 1, 2 e 4 não foram estatisticamente diferentes entre si.

O teor de não tanino foram maiores para as regiões 1 e 3 quando comparado às regiões 2 e 4.

Não foram observadas diferenças significativas entre as médias das regiões para os teores de extrativos totais e taninos.

Tabela 14. Valores médios obtidos para os teores de extrativos em água quente, número de Stiasny (NS), tanino condensado e não tanino da madeira de *Piliostigma reticulatum* para diferentes regiões.

Região	Extrativos em água quente (%)	Número de Stiasny (NS) (%)	Tanino condensado (%)	Não tanino (%)
1: La Tapoa-Ouallam	7,05 (11,87)	37,12 ab	2,55	4,50 a
2: Gaya-Dogondoutchi	4,35 (4,62)	42,14 a	1,87	2,47 b
3: Tafouka-Bouza	5,77 (10,50)	22,73b	1,35	4,42 a
4: Aguié-Kornaka	4,95 (7,00)	49,90 a	2,47	2,47 b
Teste de Levene	4,57**	0,87 ^{NS}	0,50 ^{NS}	3,03 ^{NS}
ANOVA – Valor F	-	7,73**	3,16 ^{NS}	7,16 **
Teste de Kruskal-Wallis – Valor H	5,80 ^{NS}	-	-	-

Valores entre parêntesis = média dos postos obtidos pelo teste de Kruskal-Wallis. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05$). ** Significativo à 99% de probabilidade. ^{NS} Não significativo.

4.6 Correlação entre a cor e os teores de extrativos das madeiras das cinco espécies

A Tabela 15 apresenta as análises de correlação entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado das madeiras de *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis* e *Piliostigma reticulatum*, independente da região. Não foram observadas correlações significativas entre as variáveis estudadas.

Tabela 15. Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira das cinco espécies africanas.

Espécie	L*		a*		b*	
	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado
<i>Combretum glutinosum</i>	-0,2761	-0,1639	0,3223	-0,3270	0,3277	-0,0698
<i>Combretum micranthum</i>	-0,0798	-0,3626	0,2641	0,3508	-0,1727	0,3285
<i>Combretum nigricans</i>	-0,4231	-0,3221	0,1716	0,1605	0,3683	0,0791
<i>Guiera senegalensis</i>	0,3637	0,1835	0,1346	0,0901	0,2392	0,2241
<i>Piliostigma reticulatum</i>	0,4371	0,0805	0,2940	-0,0257	0,4070	0,2401

4.7 Correlação entre a cor e os teores de extrativos da madeira de cada espécie

4.7.1 *Combretum glutinosum*

A Tabela 16 apresenta as análises de correlação entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado para a madeira de *Combretum glutinosum*.

Observou-se uma correlação significativa somente entre o teor de tanino condensado e a coordenada b* para a região 1 (La Tapoa-Ouallam). Esses resultados indicam que as madeiras da região 1 com maiores teores de tanino condensado apresentaram uma cor mais amarelada. As demais regiões não apresentaram correlações significativas com os teores de extrativos em água quente e tanino condensado.

Tabela 16. Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de *Combretum glutinosum* para diferentes regiões.

Região	L*		a*		b*	
	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado
1: La Tapoa-Ouallam	-0,8459	0,4855	0,5964	-0,9262	-0,4941	0,9915*
2: Gaya-Dogondoutchi	0,5537	0,4772	-0,4252	0,0476	-0,7944	0,0159
3: Tafouka-Bouza	-0,0213	0,0489	-0,7539	0,4883	0,3875	0,0705
4: Aguié-Kornala	-0,8613	-0,4079	0,9236	0,1614	-0,8656	-0,3239

*Significativo à 95% de probabilidade.

4.7.2 *Combretum micranthum*

A Tabela 17 apresenta as análises de correlação entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado para a madeira de *Combretum micranthum*. Não foram observadas correlações significativas entre as variáveis estudadas.

Tabela 17. Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de *Combretum micranthum* para diferentes regiões.

Região	L*		a*		b*	
	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado
1: La Tapoa-Ouallam	0,1461	-0,3511	0,9322	0,6366	0,4623	0,6986
2: Gaya-Dogondoutchi	0,1368	0,1860	-0,2825	-0,2820	0,4756	0,5196
3: Tafouka-Bouza	0,7873	0,4485	-0,6551	0,6547	-0,0093	0,037
4: Aguié-Kornala	-0,3482	-0,2979	0,5240	0,6174	-0,5208	-0,3396

4.7.3 *Combretum nigricans*

A Tabela 18 apresenta as análises de correlação entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado para a madeira de *Combretum nigricans*. Uma correlação significativa foi observada apenas entre o teor de tanino condensado e a coordenada L* para a região 1 (La Tapoa-Ouallam), indicando que quanto maior o teor de tanino condensado mais escura (menor valor de L*) é a madeira.

Tabela 18. Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de *Combretum nigricans* para diferentes regiões.

Região	L*		a*		b*	
	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado
1: La Tapoa-Ouallam	-0,7769	-0,9698*	0,9300	0,8485	0,2726	-0,2091
2: Gaya-Dogondoutchi	0,1238	0,7940	-0,8696	-0,8451	0,7189	0,7576

*Significativo à 95% de probabilidade.

4.7.4 *Guiera senegalensis*

A Tabela 19 apresenta as análises de correlação entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado para a madeira de *Guiera senegalensis*.

Tabela 19. Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de *Guiera senegalensis* para diferentes regiões.

Região	L*		a*		b*	
	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado
1: La Tapoa-Ouallam	0,9997**	0,9464*	-0,2900	-0,5382	0,5906	0,8224
2: Gaya-Dogondoutchi	0,4515	0,4144	0,8391	0,8590	0,4790	0,4366
3: Tafouka-Bouza	0,8022	0,7663	-0,5480	-0,5263	-0,1943	0,1386
4: Aguié-Kornala	-0,5632	-0,5242	0,7387	0,6404	0,0440	0,0737

*Significativo à 95% de probabilidade. **Significativo à 99% de probabilidade.

A região 1 (La Tapoa-Ouallam) foi a única que apresentou correlações significativas entre os teores de extrativos em água quente e tanino condensado e a coordenada L*. Isso indica que quanto maiores os teores de extrativos e taninos mais clara é a madeira.

4.7.5 *Piliostigma reticulatum*

A Tabela 20 apresenta as análises de correlação entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado para a madeira de *Piliostigma reticulatum*.

Nas regiões 3 (Tafouka-Bouza) e 4 (Aguié-Kornala), o teor de extrativos apresentou uma correlação significativa com a coordenada a*, mostrando que madeiras com maiores teores de extrativos em água quente são mais avermelhadas (maior valor de a*).

Tabela 20. Análise de correlação de Pearson entre as variáveis colorimétricas (L*, a* e b*) e os teores de extrativos em água quente e tanino condensado da madeira de *Piliostigma reticulatum* para diferentes regiões.

Região	L*		a*		b*	
	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado	Extrativos em água quente	Tanino condensado
1: La Tapoa-Ouallam	0,1377	0,1223	-0,4091	-0,6178	-0,1497	-0,2062
2: Gaya-Dogondoutchi	0,1472	0,0721	0,1005	-0,0306	0,1827	0,0879
3: Tafouka-Bouza	0,7115	0,0599	0,9715*	0,3911	0,6649	-0,0472
4: Aguié-Kornala	0,3231	0,7824	0,9739*	0,5170	0,7024	0,6273

*Significativo à 95% de probabilidade.

4.8 Comparação do módulo de elasticidade dinâmico da madeira entre as espécies

Os valores médios obtidos para o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd[⊥]) às fibras das madeiras de *Combretum glutinosum*, *Combretum micranthum*, *Combretum nigricans*, *Guiera senegalensis* e *Piliostigma reticulatum*, independente da região, são apresentados na Tabela 21.

Quando se comparou as médias de densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica, MOEd// e MOEd[⊥] de todas as espécies entre si, independente da região, os dados apresentaram normalidade e homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene, portanto aplicou-se a ANOVA, e a comparação entre as médias foi feita pelo teste de Tukey (significância de 5%).

Diferenças significativas foram encontradas entre as cinco espécies estudadas para o módulo de elasticidade dinâmico (Figuras 24 e 25). Os maiores valores de módulos de elasticidade dinâmicos tanto no sentido paralelo quanto no perpendicular às fibras foram observados para a madeira de *Combretum nigricans* (11027 e 4795 MPa, respectivamente), a qual apresentou também a maior densidade (0,907 g.cm⁻³). Em seguida, os maiores módulos, em ordem de grandeza, foram obtidos para as madeiras de *Combretum glutinosum* (9701 e 4074 MPa), *Guiera senegalensis* (9007 e 4001 MPa), *Combretum micranthum* (8283 e 3889 MPa) e *Piliostigma reticulatum* (7308 e 3278 MPa), respectivamente. A madeira de *Piliostigma reticulatum* apresentou os menores módulos e também a menor densidade aparente (0,686 g.cm⁻³). Isto pode ser explicado pelo fato da densidade da madeira influenciar diretamente na velocidade de propagação das ondas ultrassônicas. Madeiras mais densas vão apresentar células com paredes mais espessas, maiores teores de extrativos, logo terão menores espaços vazios, ocasionando uma maior velocidade de propagação das ondas de tensão em um tempo menor dado um determinado percurso. Madeiras porosas, portanto, menos densas, vão apresentar menor velocidade de propagação, e um tempo maior para percorrer um determinado percurso (SHIMOYAMA, 2005). Estes resultados podem ser observados em estudos de diversos autores, os quais mostram que a densidade afeta a velocidade de propagação da onda ultrassônica e o módulo de elasticidade dinâmico consideravelmente (BAAR et al., 2011; CALEGARI, 2006; MISHIRO, 1996; OLIVEIRA & SALES, 2005 e 2006; STANGERLIN et al., 2010).

Tabela 21. Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulo de elasticidade dinâmico da madeira das cinco espécies africanas.

Espécie	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	Velocidade MOEd// (cm.s ⁻¹)	MOEd// (MPa)	Velocidade MOEd [⊥] (cm.s ⁻¹)	MOEd [⊥] (MPa)
<i>Combretum glutinosum</i>	0,817 b (8,22)	3445,13a (5,34)	9701 b (8,98)	2235,71 bc (2,88)	4074 b (10,43)
<i>Combretum micranthum</i>	0,798 b (10,38)	3230,17 b (6,66)	8283 d (7,29)	2203,70 c (2,83)	3889 b (8,48)
<i>Combretum nigricans</i>	0,907a (6,17)	3510,22 a (4,62)	11027a (8,66)	2292,26 a (3,18)	4795 a (13,09)
<i>Guiera senegalensis</i>	0,799b (8,17)	3392,56a (7,00)	9007 c (7,85)	2271,07 ab (2,78)	4001 b (10,77)
<i>Piliostigma reticulatum</i>	0,686c (7,72)	3264,35 b (2,97)	7308 e (7,07)	2183,63 c (3,38)	3278 c (9,24)
Teste de Levene	1,49 ^{NS}	1,99 ^{NS}	1,37 ^{NS}	0,58 ^{NS}	1,008 ^{NS}
ANOVA – Valor F	26,50**	4,19**	19,08**	18,75**	25,12**

Valores entre parêntesis = coeficiente de variação. ^{NS} Não significativo. ** Significativo à 99% de probabilidade. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey e Scheffe ($\alpha = 0,01$).

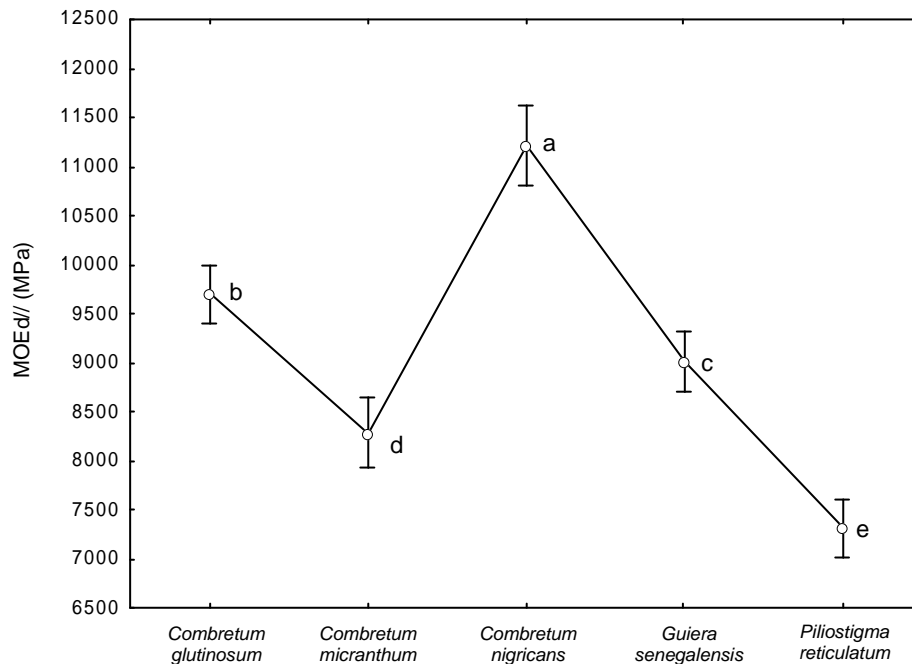


Figura 24. Comparação do módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) às fibras da madeira entre as cinco espécies africanas.

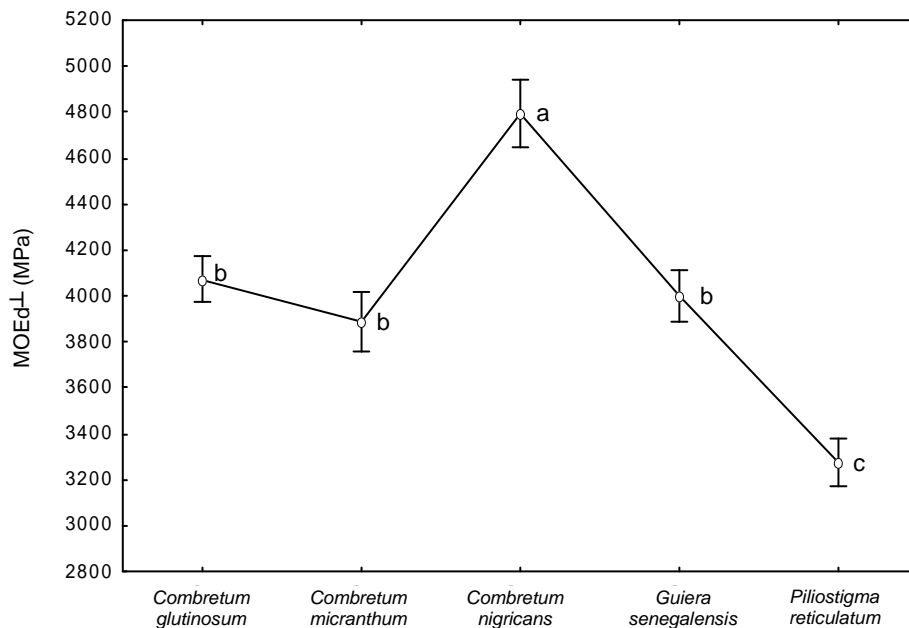


Figura 25. Comparação do módulo de elasticidade dinâmico perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira entre as cinco espécies africanas.

Pode ser constatado também que o módulo de elasticidade dinâmico no sentido paralelo às fibras é maior que no sentido perpendicular. Isso ocorre porque no sentido paralelo às fibras, as células da madeira (fibras e vasos) são os principais responsáveis pela condução dos sinais ultrasonoros. Estes sinais vão encontrar condições favoráveis de propagação devido às microfibrilas de celulose estarem mais alinhadas levando um amortecimento das ondas e tornando-as mais suaves, ou seja, resultando em velocidades mais elevadas gerando módulos maiores. No sentido perpendicular às fibras, a propagação das ondas ultrassônicas é mais

desfavorável, devido ao sinal ultrasonoro não encontrar nenhum substrato contínuo de propagação. A cada passagem do sinal por uma célula há perda de energia. Este fator ajuda a explicar os menores valores de velocidade de propagação no sentido perpendicular e, conseqüentemente, os menores valores de módulos (GONÇALEZ et al., 2001; MCDONALD, 1978).

Matos (1997) observou que quando as ondas acústicas ocorrem no sentido perpendicular às fibras, há um espécie de barreira do diâmetro do lúmen, levando à um desvio em cada fibra. Com este desvio, há um aumento acentuado no tempo do percurso, reduzindo significativamente a velocidade de propagação das ondas. Estudos realizados por McDonald (1978) mostraram que a velocidade das ondas acústicas foi de 2 à 3 vezes maior no sentido longitudinal do que radial ou tangencial.

A Figura 26 apresenta as correlações entre a densidade aparente e os módulos de elasticidade dinâmicos nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras para as cinco espécies estudadas. As análises mostraram correlações significativas entre as variáveis, indicando um coeficiente de Pearson de 0,7294 para $MOEd_{//}$ e de 0,9047 para $MOEd_{\perp}$, demonstrando-se assim que o efeito da densidade da madeira no $MOEd_{\perp}$ é maior do que no $MOEd_{//}$.

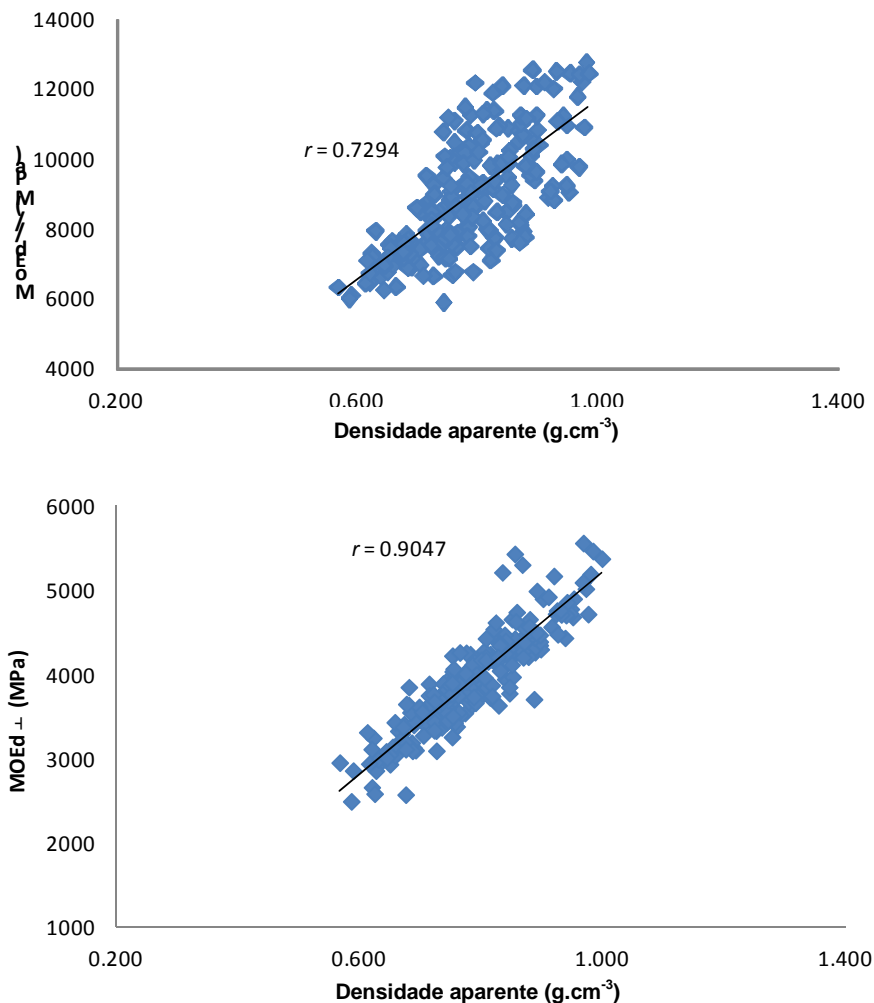


Figura 26. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico nos sentidos paralelo ($MOEd_{//}$) e perpendicular ($MOEd_{\perp}$) às fibras e a densidade aparente da madeira para as cinco espécies africanas.

Para a velocidade da onda ultrassônica foram encontrados diferentes resultados para os dois sentidos analisados. No sentido paralelo, as madeiras de *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans* e *Guiera senegalensis* foram aquelas que apresentaram as maiores velocidades de propagação da onda ultrassônica (3445,13, 3510,22 e 3392,56 cm.s^{-1} , respectivamente) enquanto que as madeiras de *Combretum micranthum* e *Piliostigma reticulatum* apresentaram as menores velocidades (3230,17 e 3264,35 cm.s^{-1}). No sentido perpendicular, *Combretum nigricans* continuou apresentando maior velocidade de propagação da onda ultrassônica, enquanto que as espécies *Combretum micranthum* e *Piliostigma reticulatum* foram as que apresentaram os menores valores (2203,70 e 2183,63 cm.s^{-1} , respectivamente).

A Figura 27 apresenta as correlações entre o módulo de elasticidade dinâmico e a velocidade de propagação da onda ultrassônica tanto no sentido paralelo quanto no sentido perpendicular às fibras para as cinco espécies. As análises demonstraram correlações significativas, onde se observou que a velocidade de propagação da onda ultrassônica influenciou de forma mais expressiva o $\text{MOEd}_{//}$ quando comparado ao MOEd_{\perp} , indicando um coeficiente de Pearson de 0,7676 e 0,6710, respectivamente.

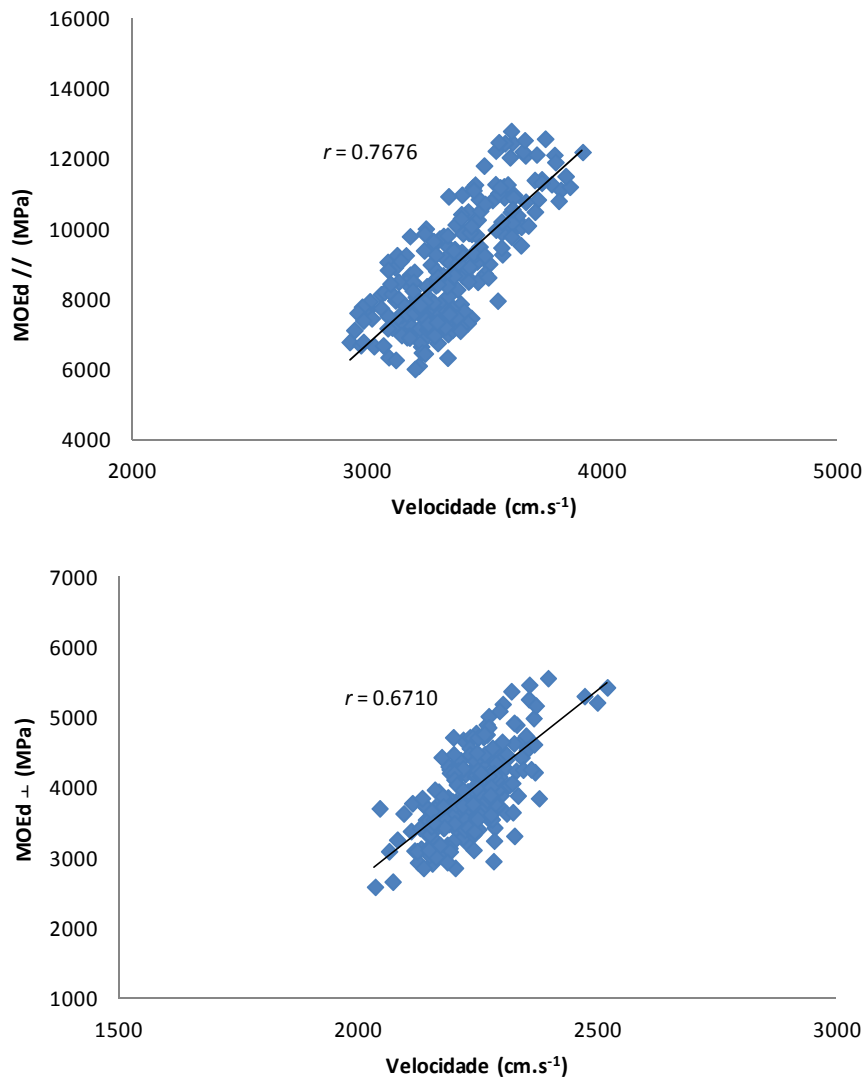


Figura 27. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo ($\text{MOEd}_{//}$) e perpendicular (MOEd_{\perp}) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira para as cinco espécies africanas.

Não foram observadas correlações significativas entre a densidade aparente e a velocidade de propagação da onda ultrassônica. Estudos realizados por Baar et al. (2011) e por Mishiro (1996), mostram a influência positiva da densidade da madeira na velocidade de propagação mas geralmente ela é eliminada por outros fatores tais como rigidez do material, micro e macro estrutura da madeira, composição química, entre outros fatores.

Os valores de módulos encontrados neste estudo são inferiores aqueles encontrados por outros autores com pequenas amostras de madeira (baguetas) (BUCUR, 1981; FERRAD, 1982; HENRIG, 1992; HERNANDEZ et al., 1998; KOUBA et al., 1997; YANG & FORTIN, 2001). Entretanto, estudos de rigidez com pequenas amostras realizadas por Santos (2011) com duas espécies provenientes do Sahel Africano também indicaram resultados de módulos de elasticidade dinâmicos similares à este estudo. As diferenças encontradas estão relacionadas às características intrínsecas da madeira tais como propriedades físicas (densidade), morfológicas (tipo de grã e lenho tardio e juvenil) e anatômicas (STANGERLIN et al., 2010).

4.9 Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade da madeira

4.9.1 *Combretum glutinosum*

Os valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica, MOEd// e MOEd[⊥] da madeira de *Combretum glutinosum* são apresentados na Tabela 22.

O local de crescimento não afetou o MOEd//, entretanto, diferenças significativas foram observadas para o MOEd[⊥], sendo este maior para região 3 (Tafouka-Bouza) quando comparado às demais regiões (Figura 28). A madeira da região 3 também apresentou a maior densidade aparente, a qual está diretamente relacionada ao módulo. Isto pode ser explicado pelo fato da região 3 estar localizada em uma das áreas mais áridas já que encontra-se à uma maior latitude e mais próxima do Deserto do Saara (Figura 9) além de ser uma das regiões mais impactadas pelo processo de desertificação no Sahel Africano, sendo, portanto, uma região mais desfavorável para o crescimento da planta, o que resulta em uma maior densidade da madeira. Neste local, a precipitação média anual é de aproximadamente 365 à 487 mm.

Segundo Nicholson et al. (1998), o solo nas regiões áridas e semi-áridas do Sahel Africano é erodido, produzindo enormes voçorocas, e a textura do solo e os teores de matéria orgânica e nutrientes são alterados de modo a reduzir a fertilidade do solo, estes fatores, ao longo do tempo ocasionam alterações na cobertura vegetal, espécies ricas em nutrientes e de alta qualidade são substituídas por uma vegetação mais adaptada as áreas áridas, reduzindo-se de forma considerável a diversidade de espécies na região.

A Tabela 23 mostra a correlação do módulo de elasticidade dinâmico com a densidade aparente da madeira de *Combretum glutinosum* nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras. Observa-se correlações significativas da densidade com MOEd// ($r = 0,4179$) e MOEd[⊥] ($r = 0,8246$). Entretanto, os resultados mostram mais uma vez que a densidade aparente da madeira apresenta um efeito maior no MOEd[⊥] (Figura 29). Para a velocidade de propagação da onda ultrassônica também foram observadas correlações significativas com os módulos, entretanto, a correlação foi mais forte com o MOEd// ($r = 0,7199$) quando comparado ao MOEd[⊥] ($r = 0,5947$) (Figura 30).

Não foram verificadas correlações significativas entre a velocidade de propagação da onda ultrassônica e a densidade aparente. De um modo geral o efeito da densidade nas ondas ultrassônicas é totalmente dependente da espécie analisada, da estrutura da madeira e da direção da medição (OLIVEIRA & SALES 2005).

Tabela 22. Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de *Combretum glutinosum* para diferentes regiões.

Região	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	Velocidade MOEd// (cm.s ⁻¹)	MOEd// (MPa)	Velocidade MOEd \perp (cm.s ⁻¹)	MOEd \perp (MPa)
1: La Tapoa-Ouallam	0,825 ab (8,33)	3452,96 (5,31)	9827 (8,99)	2207,76 a (3,29)	4002 a (11,30)
2: Gaya-Dogondoutchi	0,812 ab (7,51)	3445,69 (5,50)	9638 (9,40)	2208,71 a (2,18)	3966 a (10,14)
3: Tafouka-Bouza	0,862 a (6,97)	3403,84 (4,98)	9995 (9,14)	2244,63 b (2,84)	4335 b (12,15)
4: Aguié-Kornaka	0,773 b (6,90)	3480,08 (5,67)	9381 (8,34)	2277,95 b (2,28)	4019 a (10,64)
Teste de Levene	0,47 ^{NS}	0,41 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,56 ^{NS}	0,20 ^{NS}
ANOVA – Valor F	5,43**	0,37 ^{NS}	0,87 ^{NS}	4,71**	2,84**

Valores entre parêntesis = coeficiente de variação experimental. ^{NS} Não significativo. ** Significativo à 99% de probabilidade. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Fisher ($\alpha = 0,05$).

Tabela 23. Análise de correlação de Pearson entre os módulos de elasticidade paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de *Combretum glutinosum* e as variáveis densidade aparente e velocidade de propagação da onda ultrassônica.

	Densidade aparente	Velocidade
MOEd//	0,4179**	0,7199**
MOEd \perp	0,8246**	0,5947**

** Significativo à 99% de probabilidade. n = 57.

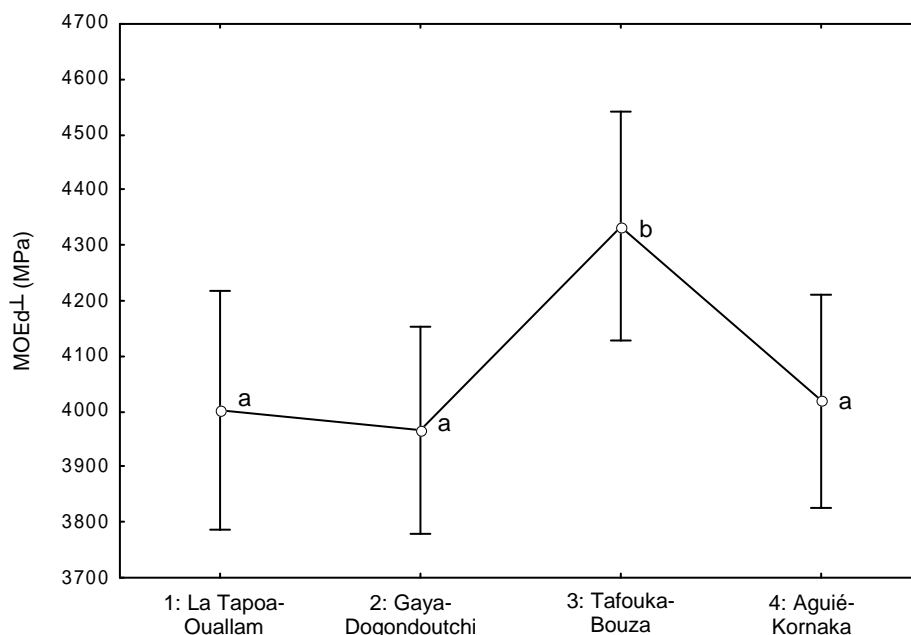


Figura 28. Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade dinâmico perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de *Combretum glutinosum*.

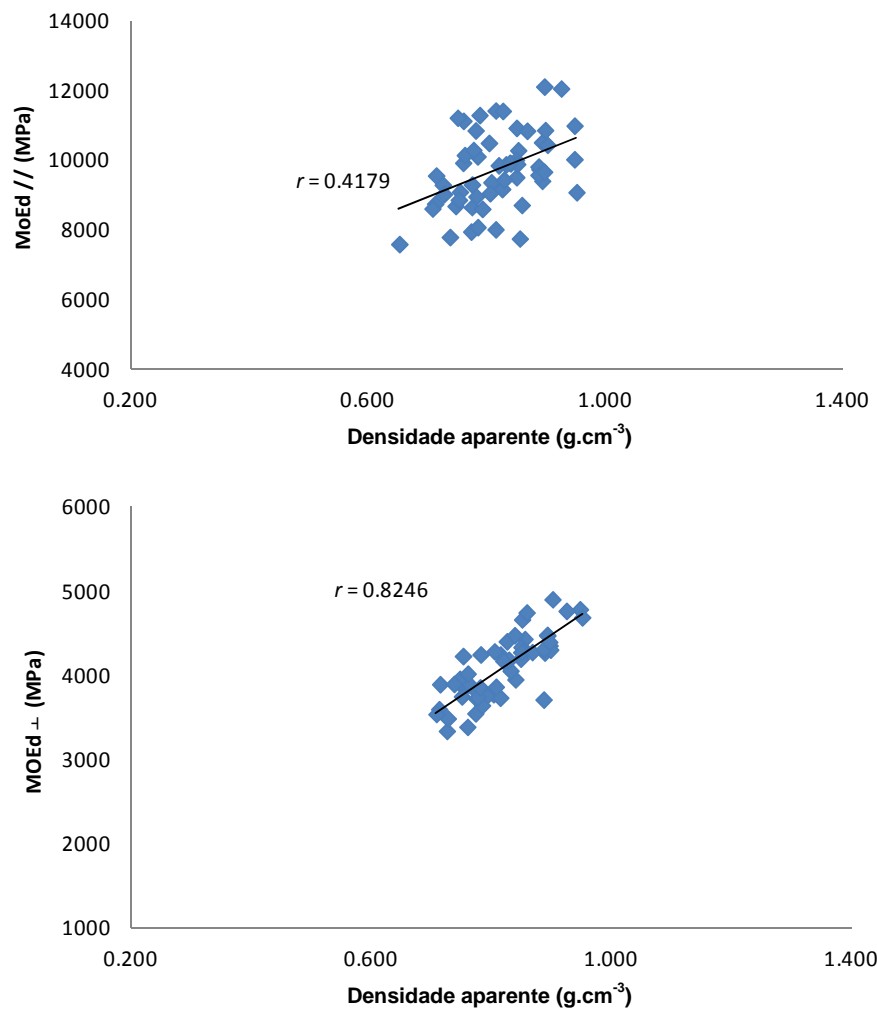


Figura 29. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a densidade aparente da madeira de *Combretum glutinosum*.

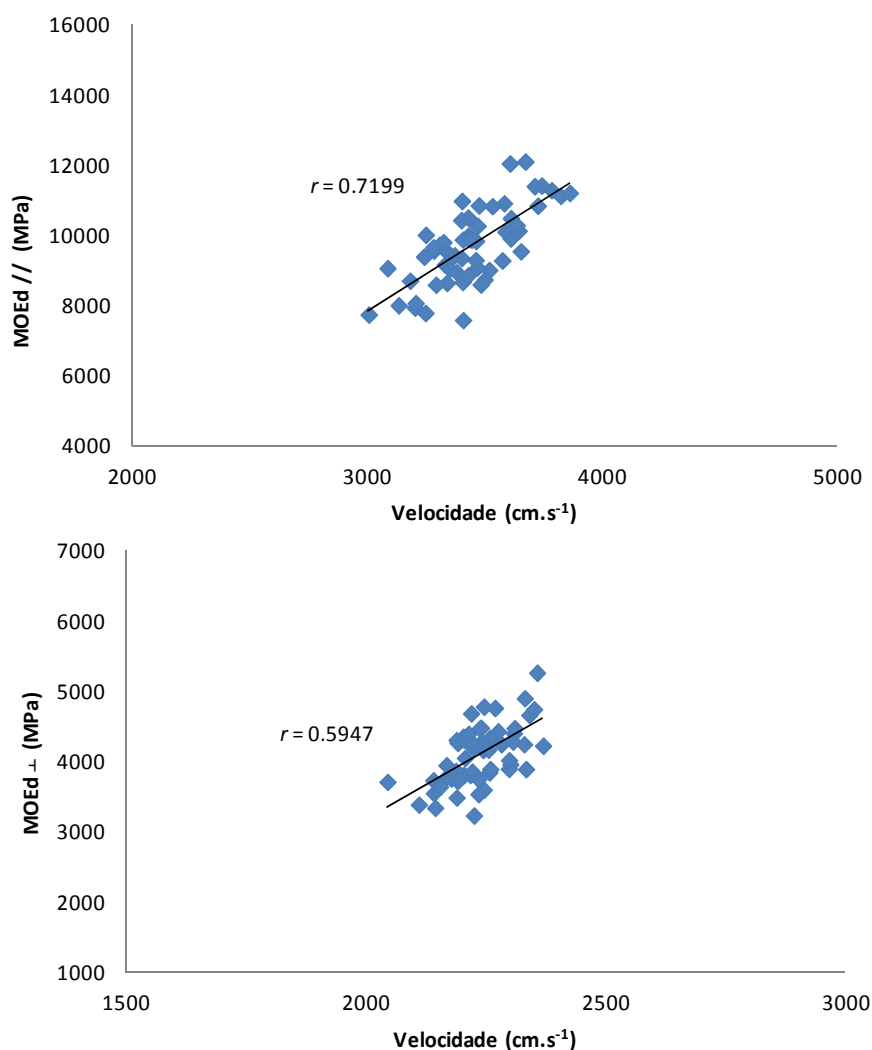


Figura 30. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd[⊥]) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira de *Combretum glutinosum*.

4.9.2 *Combretum micranthum*

Os valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica, MOEd// e MOEd[⊥] da madeira de *Combretum micranthum* são apresentados na Tabela 24.

O local de crescimento afetou o MOEd// e MOEd[⊥] da madeira de *Combretum micranthum*. Para o MOEd//, foram observadas diferenças significativas somente quando comparada a região 2 (Gaya-Dogondoutchi) com as regiões 1 (La Tapoa – Ouallam) 3 (Tafouka-Bouza). Para o MOEd[⊥], a região 1 apresentou diferenças significativas quando comparada às regiões 2 e 3 (Figura 31). Devido à inconsistência dos dados da região 4 (Aguié-Kornaka), esta foi excluída das análises estatísticas.

Observando os resultados das Tabelas 24 e 25, nota-se que o MOEd[⊥] é mais afetado pela densidade aparente que o MOEd//. Correlações significativas foram observadas entre a densidade aparente e ambos os módulos de elasticidade dinâmicos, nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras ($r = 0,4391$ e $0,8906$, respectivamente) (Figura 32). Entretanto, constata-se novamente que o MOEd// é mais dependente da velocidade de propagação da

onda ultrassônica (Figura 33), enquanto que o $MOEd^{\perp}$ é mais dependente da densidade aparente da madeira.

Carrasco & Azevedo Júnior (2003) descrevem que o aumento da densidade não é propriamente o que acarreta o aumento da velocidade de propagação da onda ultrassônica na madeira. Ao contrário, o aumento da densidade deveria ocasionar uma diminuição da velocidade de propagação, visto que a velocidade é inversamente proporcional à raiz quadrada da densidade. Porém o aumento da densidade pode estar relacionada a uma maior deposição de celulose na face interna da parede celular, uma vez que esta deposição gera um aumento mais significativo nos valores de rigidez do que nos valores da densidade. Desta forma mesmo que haja aumento da densidade, a velocidade não diminui, pois é compensada pelo aumento da rigidez.

Tabela 24. Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo ($MOEd//$) e perpendicular ($MOEd^{\perp}$) às fibras da madeira de *Combretum micranthum* para diferentes regiões.

Região	Densidade aparente ($g.cm^{-3}$)	Velocidade $MOEd//$ ($m.s^{-1}$)	$MOEd//$ (MPa)	Velocidade $MOEd^{\perp}$ ($m.s^{-1}$)	$MOEd^{\perp}$ (MPa)
1: La Tapoa-Ouallam	0,894 a (5,52)	3132,12 a (3,55)	8797 a (8,53)	2183,38 (2,38)	4269 a (9,16)
2: Gaya-Dogondoutchi	0,768 b (9,99)	3095,29 a (4,46)	7346 b (10,08)	2220,50 (3,56)	3805 b (8,61)
3: Tafouka-Bouza	0,757 b (6,48)	3394,44 b (6,18)	8739 a (7,95)	2205,38 (2,51)	3686 b (8,27)
Teste de Levene	2,44 ^{NS}	2,66 ^{NS}	1,51 ^{NS}	2,45 ^{NS}	0,53 ^{NS}
ANOVA – Valor F	18,06**	12,60**	5,83**	0,662 ^{NS}	6,84**

Valores entre parêntesis = coeficiente de variação experimental. ^{NS} Não significativo. ** Significativo à 99% de probabilidade. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,01$).

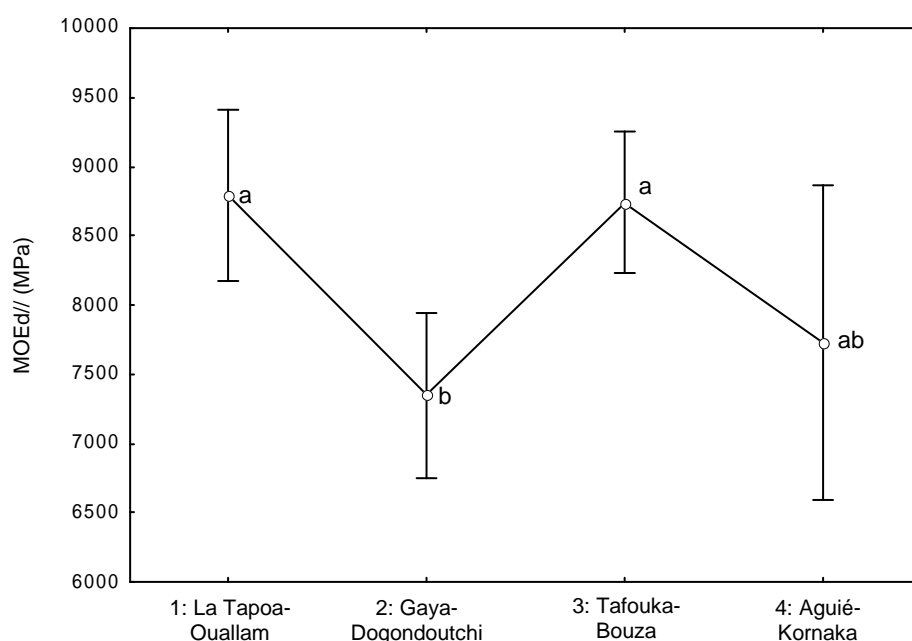


Figura 31. Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade dinâmico paralelo ($MOEd//$) às fibras da madeira de *Combretum micranthum*.

Tabela 25. Análise de correlação de Pearson entre os módulos de elasticidade paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de *Combretum micranthum* e as variáveis densidade aparente e velocidade de propagação da onda ultrassônica.

	Densidade aparente	Velocidade
MOEd//	0,4391**	0,6531**
MOEd \perp	0,8906**	0,4925**

** Significativo à 99% de probabilidade. n = 39.

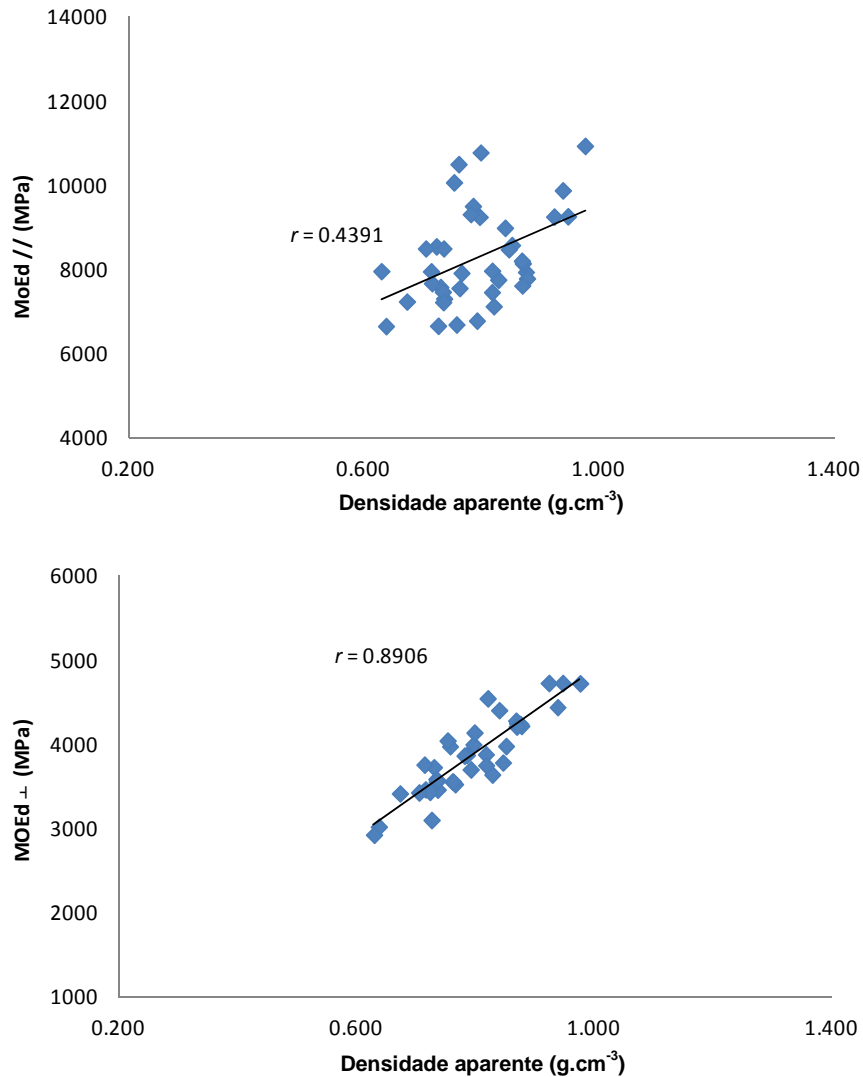


Figura 32. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a densidade aparente da madeira de *Combretum micranthum*.

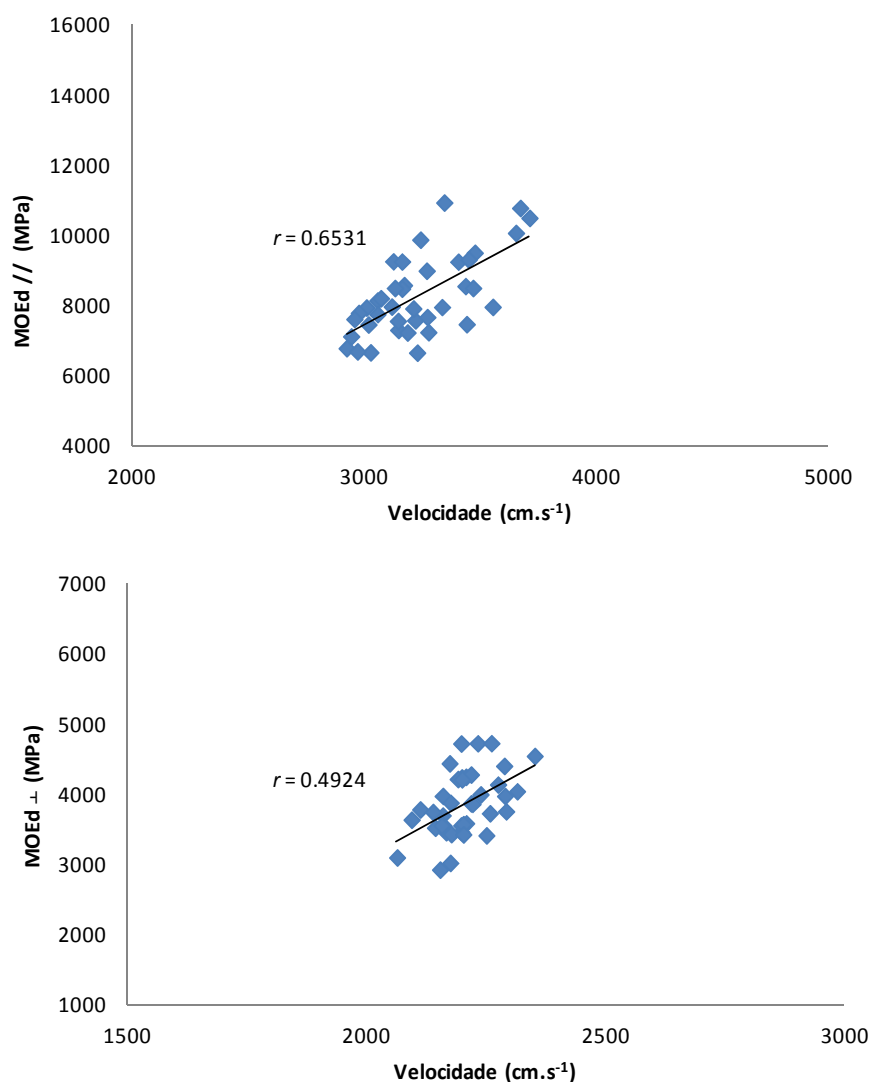


Figura 33. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd[⊥]) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira de *Combretum micranthum*.

4.9.3 *Combretum nigricans*

Os valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica, MOEd// e MOEd[⊥] da madeira de *Combretum nigricans* são apresentados na Tabela 26. Não foram observadas diferenças significativas entre as regiões para MOEd// e MOEd[⊥] da madeira dessa espécie. Apesar disso, a espécie foi a que apresentou a maior densidade aparente e os maiores módulos de elasticidade dinâmicos.

Tabela 26. Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de *Combretum nigricans* para diferentes regiões.

Região	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	Velocidade MOEd// (cm.s ⁻¹)	MOEd// (MPa)	Velocidade MOEd \perp (cm.s ⁻¹)	MOEd \perp (MPa)
1: La Tapoa-Ouallam	0,912 (4,35)	3498,19 (2,90)	11181 (8,37)	2293,03 (3,86)	4822 (10,08)
2: Gaya-Dogondoutchi	0,902 (8,51)	3523,10 (6,03)	11236 (7,04)	2291,43 (2,39)	4764 (10,56)
Teste de Levene	1,11 ^{NS}	0,28 ^{NS}	3,32 ^{NS}	1,09 ^{NS}	0,00065 ^{NS}
ANOVA – Valor F	0,24 ^{NS}	0,11 ^{NS}	0,013 ^{NS}	-0,033 ^{NS}	0,15 ^{NS}

Valores entre parêntesis = coeficiente de variação experimental. ^{NS} Não significativo.

4.9.4 *Guiera senegalensis*

Os valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica, MOEd// e MOEd \perp da madeira de *Guiera senegalensis* são apresentados na Tabela 27.

Diferenças significativas foram encontradas apenas para a velocidade de propagação da onda ultrassônica e o MOEd \perp às fibras. A região 3 (Tafouka-Bouza) foi a que apresentou o maior MOEd \perp (4207 MPa) (Figura 34). Foi observado novamente que a densidade aparente da madeira está diretamente relacionada com MOEd \perp (Tabela 28). Para esta comprovação, uma forte correlação foi observada entre a densidade aparente e o MOEd \perp ($r = 0,8230$), enquanto que entre a densidade aparente e o MOEd//, a correlação apesar de significativa foi fraca ($r = 0,4543$) (Figura 35).

Não foram encontradas diferenças significativas entre o MOEd// da madeira comparando as quatro regiões. Estes resultados podem ser explicados pelo fato da espécie *Guiera senegalensis* pertencer ao grupo de arbustos mais abundante das regiões áridas do Sahel Africano, os quais apresentam vantagens fenológicas que permitiram adaptações mesmo em ecossistemas secos.

Tabela 27. Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de *Guiera senegalensis* para diferentes regiões.

Região	Densidade aparente (g.cm ⁻³)	Velocidade MOEd// (cm.s ⁻¹)	MOEd// (MPa)	Velocidade MOEd \perp (cm.s ⁻¹)	MOEd \perp (MPa)
1: La Tapoa-Ouallam	0,788 (6,38)	3418,08 (8,01)	9231 (9,05)	2221,72 b (1,84)	3886 b (6,14)
2: Gaya-Dogondoutchi	0,783 (7,94)	3444,22 (,20)	9364 (7,81)	2287,30 a (3,30)	4083 b (11,58)
3: Tafouka-Bouza	0,802 (6,57)	3354,64 (9,31)	9066 (6,95)	2289,20 a (1,64)	4207 a (9,28)
4: Aguié-Kornaka	0,735 (7,66)	3343,87 (3,56)	8221 (10,47)	2303,72 a (3,63)	3817 b (12,06)
Teste de Levene	2,36 ^{NS}	0,20 ^{NS}	1,67 ^{NS}	1,56 ^{NS}	0,26 ^{NS}
ANOVA – Valor F	2,67 ^{NS}	0,28 ^{NS}	2,53 ^{NS}	5,32**	3,12**

Valores entre parêntesis = coeficiente de variação experimental. ^{NS} Não significativo. ** Significativo à 99% de probabilidade. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,01$).

Tabela 28. Análise de correlação de Pearson entre os módulos de elasticidade paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de *Guiera senegalensis* e as variáveis densidade aparente e velocidade de propagação da onda.

	Densidade aparente	Velocidade
MOEd//	0,4543**	0,8687**
MOEd \perp	0,8230**	0,6810**

** Significativo à 99% de probabilidade. n = 52.

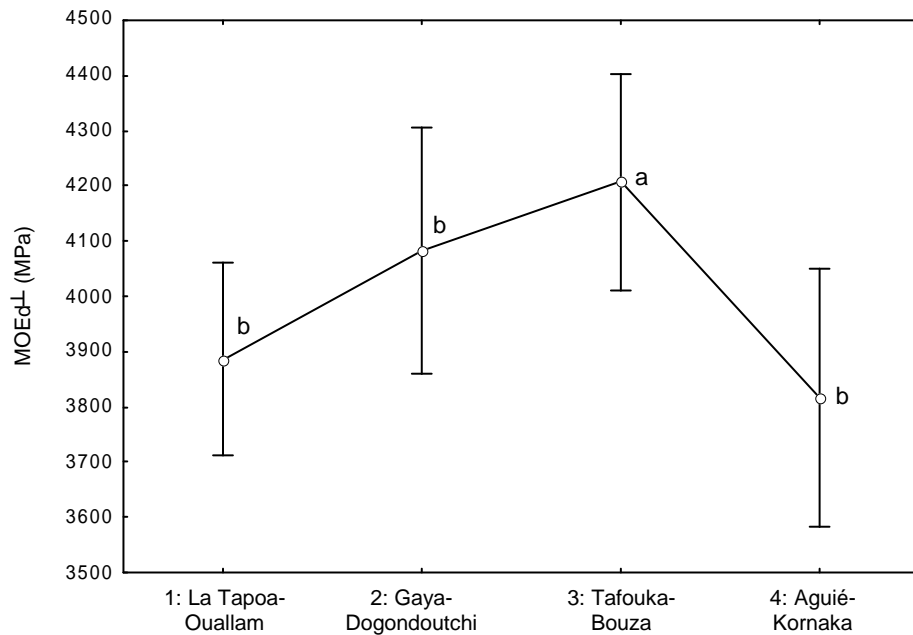


Figura 34. Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade dinâmico perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de *Guiera senegalensis*.

Quanto às correlações da velocidade de propagação da onda ultrassônica com os módulos da madeira de *Guiera senegalensis*, os resultados também foram similares aos encontrados anteriormente para as três espécies, ou seja, a velocidade afeta mais o MOEd// que o MOEd \perp , os quais apresentaram coeficientes de correlação de 0,8687 e 0,6810, respectivamente (Figura 36). Não foram constatadas correlações significativas entre a velocidade de propagação e a densidade aparente da madeira.

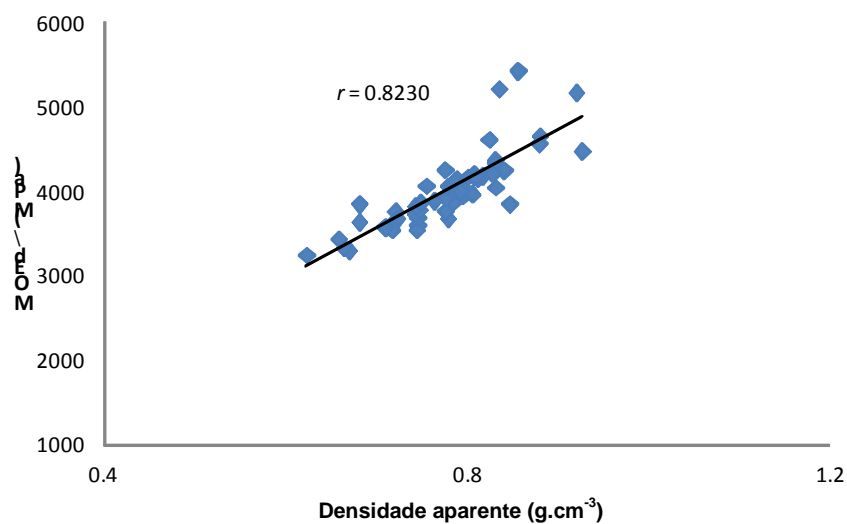
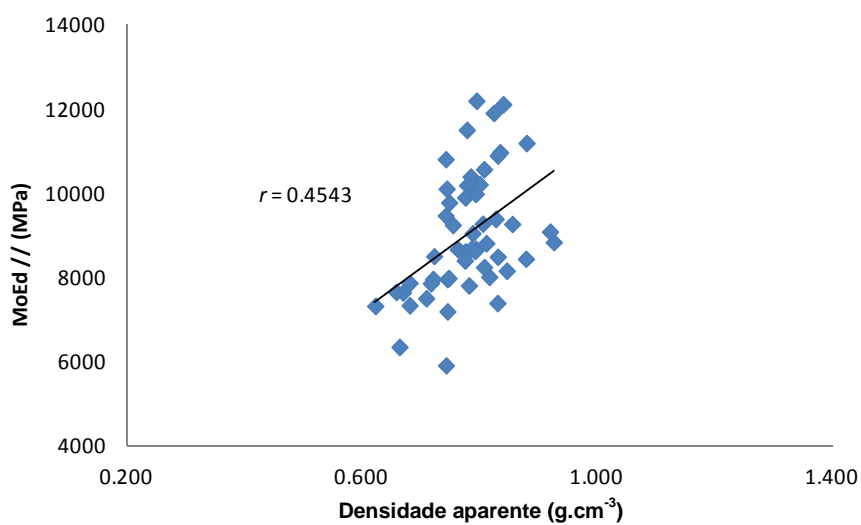


Figura 35. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a densidade aparente da madeira de *Guiera senegalensis*.

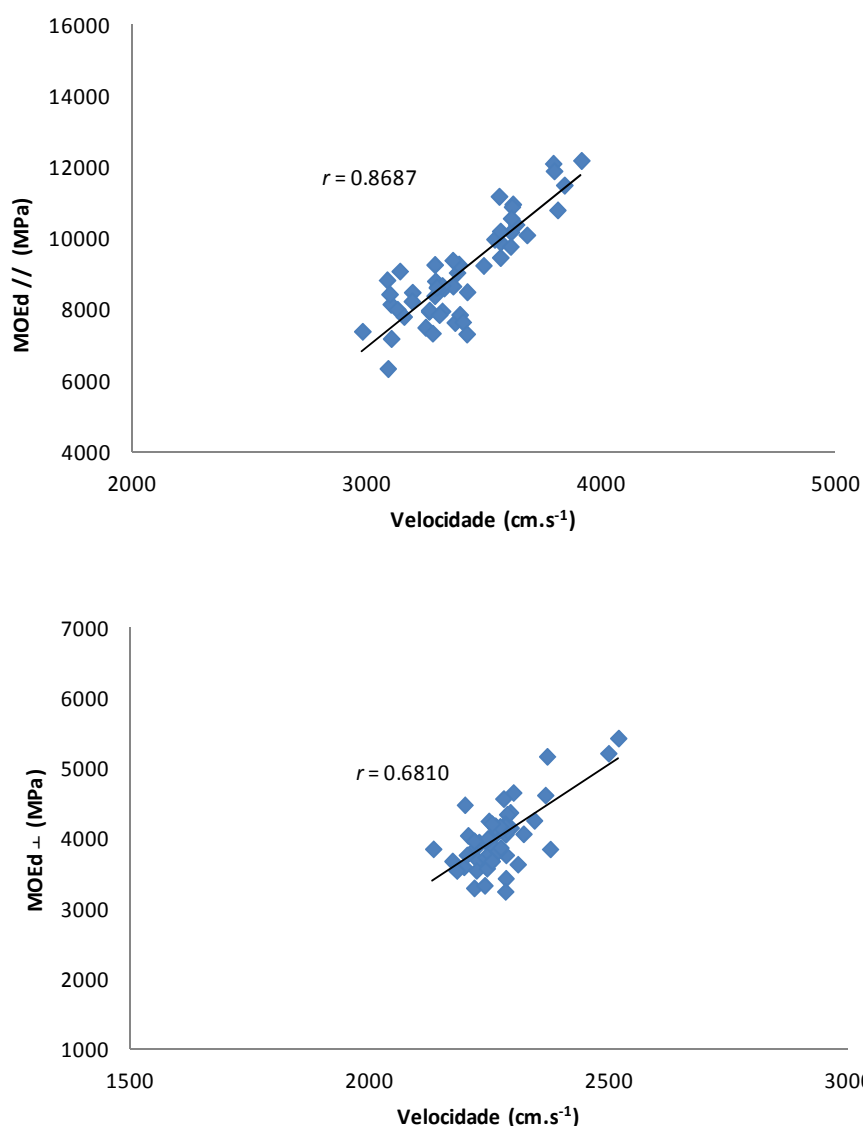


Figura 36. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira de *Guiera senegalensis*.

4.9.5 *Piliostigma reticulatum*

Os valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica, MOEd// e MOEd \perp da madeira de *Piliostigma reticulatum* são apresentados na Tabela 29.

Diferenças significativas foram encontradas para a densidade aparente, a velocidade de propagação da onda ultrassônica no sentido paralelo às fibras e MOEd \perp . A região 4 (Aguié-Kornaka) foi a que apresentou a menor densidade aparente (0,645 g.cm⁻³) e o menor MOEd \perp (3004 MPa) (Figura 37). Mais uma vez é possível notar a influência da densidade aparente da madeira no MOEd \perp . Correlações significativas foram verificadas entre densidade aparente e MOEd \perp ($r = 0,6968$), indicando que quanto menor a densidade aparente menor o MOEd \perp da madeira de *Piliostigma reticulatum* e vice-versa (Figuras 37 e 39).

No caso da madeira de *Piliostigma reticulatum*, a correlação entre a velocidade de propagação da onda ultrassônica no sentido perpendicular e o MOEd \perp foi mais forte ($r =$

0,6979) que as correlações no sentido paralelo às fibras ($r = 0,4149$) (Tabela 30). Estes resultados indicam que o $MOEd^{\perp}$ está sendo afetado pela densidade aparente e também pela velocidade de propagação da onda ultrassônica (Figura 39). Não foi encontrada correlação significativa entre a velocidade de propagação e a densidade aparente da madeira.

Piliostigma reticulatum é um arbusto que coloniza vários tipos solos, apesar disso apresenta um crescimento lento, por isso são encontrados valores altos de densidade da madeira ($0,732 \text{ g.cm}^{-3}$). A estrutura da planta está muitas vezes relacionada com as dificuldades encontradas no local de crescimento como elevadas temperaturas, vento, falta de água, fogo e ataques de patógenos (YELEMOU et al., 2007).

Tabela 29. Valores médios obtidos para densidade aparente, velocidade de propagação da onda ultrassônica e módulos de elasticidade dinâmico paralelo ($MOEd_{//}$) e perpendicular ($MOEd^{\perp}$) às fibras da madeira de *Piliostigma reticulatum* para diferentes regiões.

Região	Densidade aparente (g.cm^{-3})	Velocidade $MOEd_{//}$ (cm.s^{-1})	$MOEd_{//}$ (MPa^2)	Velocidade $MOEd^{\perp}$ (cm.s^{-1})	$MOEd^{\perp}$ (MPa)
1: La Tapoa-Ouallam	0,732 a (5,43)	3189,60 a (3,14)	7441 (6,19)	2180,65 (3,04)	3486 a (9,44)
2: Gaya-Dogondoutchi	0,670 b (5,74)	3289,48 ab (3,01)	7258 (6,87)	2202,25 (3,15)	3255 a (8,85)
3: Tafouka-Bouza	0,715 a (6,61)	3270,46 ab (2,56)	7764 (6,57)	2194,20 (3,17)	3445 a (9,55)
4: Aguié-Kornaka	0,645 b (6,24)	3292,47 b (2,35)	6890 (6,10)	2157,71 (3,99)	3004 b (9,62)
Teste de Levene	0,74 ^{NS}	0,025 ^{NS}	1,01 ^{NS}	0,29 ^{NS}	0,24 ^{NS}
ANOVA – Valor F	12,70 ^{**}	3,17 ^{**}	1,75 ^{NS}	1,044 ^{NS}	7,05 ^{**}

Valores entre parêntesis = coeficiente de variação experimental. ^{NS} Não significativo. ^{**} Significativo à 99% de probabilidade. Médias com a mesma letra não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Fisher e Bonferroni ($\alpha = 0,05$).

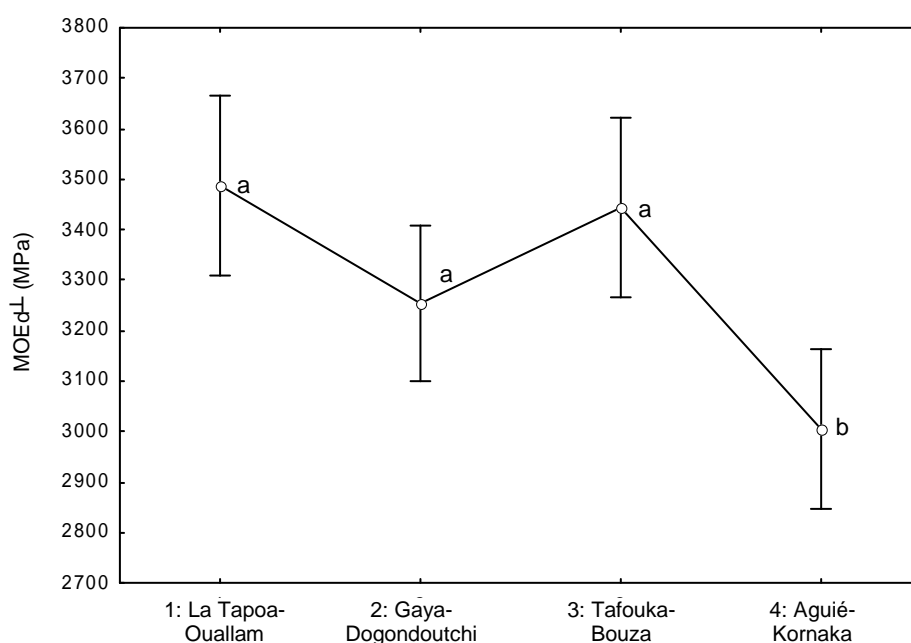


Figura 37. Efeito do local de crescimento no módulo de elasticidade dinâmico perpendicular ($MOEd^{\perp}$) às fibras da madeira de *Piliostigma reticulatum*.

Tabela 30. Análise de correlação de Pearson entre os módulos de elasticidade paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras da madeira de *Pilostigma reticulatum* e as variáveis densidade aparente e velocidade de propagação da onda.

	Densidade aparente	Velocidade
MOEd//	0,7878**	0,4149**
MOEd \perp	0,6968**	0,6979**

** Significativo à 99% de probabilidade. n = 55.

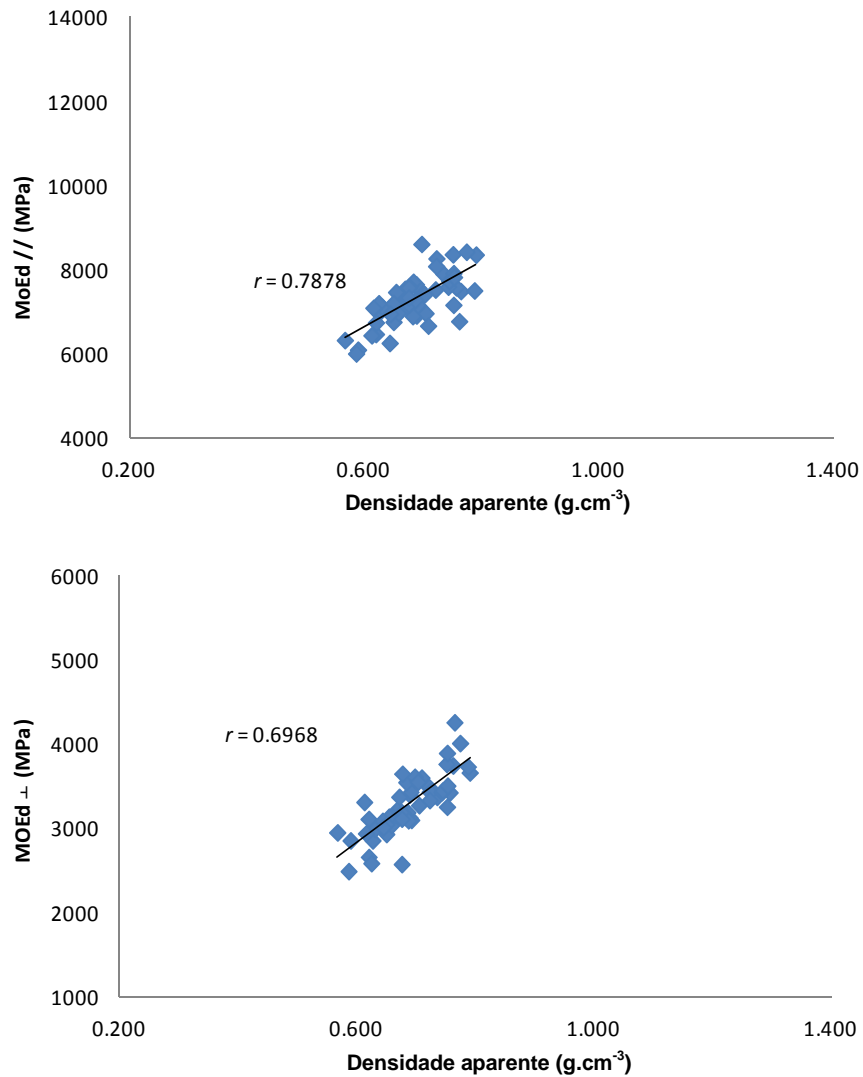


Figura 38. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd \perp) às fibras e a densidade aparente da madeira de *Piliostigma reticulatum*.

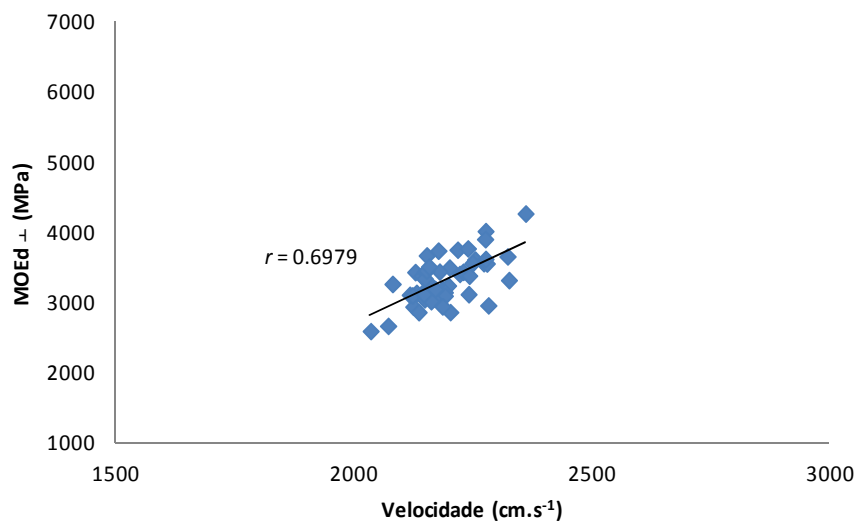
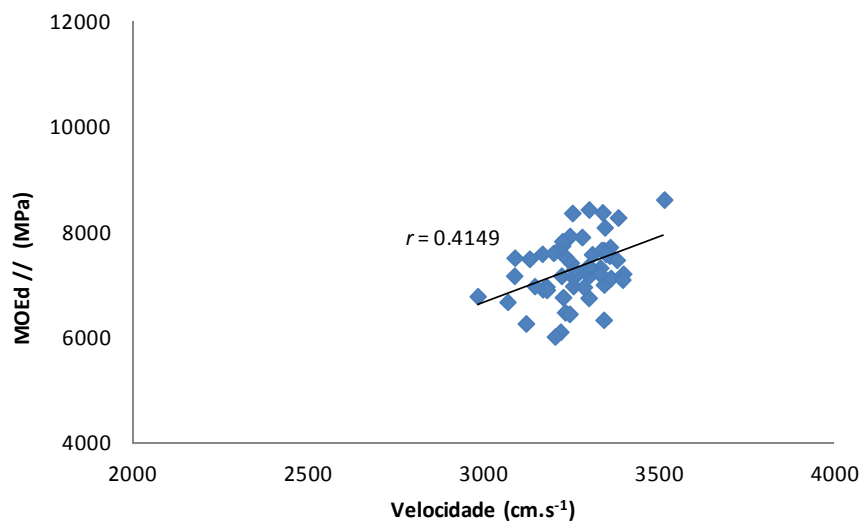


Figura 39. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico paralelo (MOEd//) e perpendicular (MOEd[⊥]) às fibras e a velocidade de propagação da onda ultrassônica da madeira de *Piliostigma reticulatum*.

5 CONCLUSÕES

O local de crescimento afetou apenas a densidade aparente da madeira de *Guiera senegalensis*, sendo a região 3 (Tafouka-Bouza), aquela que apresentou madeiras mais densas, provavelmente devido à maior aridez da região.

As madeiras de *Combretum micranthum* e *Combretum nigricans* apresentaram as maiores densidades aparentes enquanto que a madeira de *Piliostigma reticulatum* apresentou a menor densidade aparente.

A espécie *Guiera senegalensis* foi aquela que apresentou a madeira mais escura enquanto que as espécies *Combretum glutinosum* e *Combretum nigricans* apresentaram as madeiras mais claras.

A madeira de *Combretum micranthum* foi aquela que apresentou mais pigmento vermelho (a^*) e mais tanino (3,88%) enquanto que as três espécies de *Combretum* apresentaram os maiores valores de b^* (amarelo).

O local de crescimento afetou a cor da madeira de todas as espécies estudadas.

Os maiores teores de taninos foram encontrados para as madeiras de *Combretum micranthum*, *Combretum glutinosum* e *Guiera senegalensis* enquanto que as madeiras de *Piliostigma reticulatum* e *Combretum nigricans* apresentaram os menores teores.

As madeiras de *Combretum glutinosum*, *Combretum nigricans* e *Guiera senegalensis* da região 1 apresentaram uma correlação significativa do teor de taninos com as coordenadas colorimétricas b^* e L^* .

A madeira de *Piliostigma reticulatum* das regiões 3 e 4 com maiores teores de extrativos são mais avermelhadas que aquelas das regiões 1 e 2.

Estudos envolvendo teores de extrativos são complexos já que estes são afetados por inúmeras variáveis intrínsecas à madeira, portanto, recomenda-se a determinação da idade das árvores estudadas para uma melhor compreensão dos resultados.

A madeira de *Combretum nigricans* apresentou os maiores módulos de elasticidade enquanto que a madeira de *Piliostigma reticulatum* apresentou os menores módulos.

O local de crescimento afetou o módulo de elasticidade dinâmico no sentido perpendicular às fibras da madeira de todas as espécies, com exceção da madeira de *Combretum nigricans*.

Para o módulo de elasticidade dinâmico no sentido paralelo às fibras, o local de crescimento afetou apenas a madeira de *Combretum micranthum*.

A densidade aparente da madeira é a variável que mais afetou o módulo de elasticidade dinâmico perpendicular às fibras enquanto que o módulo de elasticidade dinâmico paralelo às fibras foi mais afetado pela velocidade de propagação da onda ultrassônica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEROGBA, M. A.; OKOH, E. K.; OKEKE, I. N.; OLAJIDE, A. O.; OGUNDAINI, A. O. Antimicrobial and anti-inflammatory effects of *Piliostigma reticulatum* leaf extract. **Int. J. Pharmacol.**, v. 2, n. 1, p. 70-74, 2006.

AMARAL, A. I. F. do. **Estudo de cores**. Viçosa: UFV, 120p. 1975.

ARAÚJO, H. J. B. **Agrupamentos das espécies madeireiras ocorrentes em pequenas áreas sobre manejo florestal do Projeto de Colonização Pedro Peixoto (AC) por similaridade das propriedades físicas e mecânicas**. 2002. 168 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS. Disponível em: <http://www.abende.org.br/analise_vibracoes.html> Acesso em: 15 maio. 2013

ASTM. Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials. ASTM D2395-93. In: **Annual Book of ASTM Standards 4.10**. American Society for Testing and Material, Philadelphia, p. 348-355, 1997.

ASUZU, I. U.; ONU, U. O. Anthelmintic activity of the ethanolic extract of *Piliostigma thonningii* bark in *Ascaridia galli* infected chickens. **Fitoterapia**, v. 65, p. 4, p. 291-297, 1994.

BAAR, J.; TIPPNER, J.; GRYC, V. The influence of wood density on longitudinal wave velocity determined by the ultrasound method in comparison to the resonance longitudinal method. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.70, n. 5, p. 767-769, 2012.

BABAJIDE, J. O.; BABAJIDE, O. O.; DARAMOLA, A. O.; MABUSELA, W. T. Flavonols and an oxychromonol from *P. reticulatum*. **Phytochemistry**, v. 69, p. 2245-2250, 2008.

BABA-MOUSSA, F.; AKPAGANA. K.; BOUCHET, P. Antifungal activities of seven West African Combretaceae used in traditional medicine. **J. Ethnopharmacol.**, v. 66, p. 335-338, 1999.

BARTHOLOMEU, A. **Classificação de peças estruturais de madeira através do ultrassom**. Campinas: UNICAMP, 2001. 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Campinas, 2001.

BARTHOLOMEU, A; GONÇALVES, R.; BUCUR, V. Dispersion of ultrasonic waves in *Eucalyptus* lumber as function of the geometry of boards. **Scientia Forestalis**, n.63, p. 235-240, 2003.

BATTESTIN, V.; MATSUDA, L. K.; MACEDO, G. A. Fontes e aplicações de taninos e tanases em alimentos. **Alim. Nutr.** Araraquara, v.15, n.1, p.63-72, 2004.

BAUMER, M. **Notes on trees and shrubs in arid and semi-arid regions**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 270 p. 1983.

BOMBARDELLI, E.; LOLLA, A.; PACE, R.; WILLMANN, R.; PIRETTI, M. V. Proanthocyanidins from *Piliostigma thonningii*: chemical and pharmacological properties. **Planta Medica**, v. 58, p. 590, 1992.

BUCUR, V. Détermination du module d'Young du bois par une méthode dynamique sur carottes de sondage. **Annals of Forest Science**, v. 38, n. 2, p. 283-298, 1981

BUCUR, V. **Ondes ultrasonores dans le bois. Caractérisation mécanique et qualité de certaines essences de bois.** 1984. 188 p. These de Docteur Ingenieur – Institut Supérieur des Matériaux et de la Construction Mécanique, Saint-Ouen, France, 1984.

BUCUR, V. Wood structure anisotropy estimated by acoustic invariants. **IAWA Bulletin**, Leiden, v. 9, n. 1, p. 67-74, 1988.

BUCUR, V.; SAREM, M. An experimental study of ultrasonic waves propagation in dry and water saturated solid wood. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 4. São Carlos. **Anais...** São Carlos, v. 2, p.127-138,1992.

BUCUR, V.; BÖHNKE, I. Factors affecting ultrasonic measurements in solid wood. **Ultrasonics**, v. 32, n. 5, p. 385–390, 1994.

BURGER, M. B.; RITCHER, H. G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel, 154 p. 1991.

BURKILL, H. M. **The useful plants of West Tropical Africa. Vol. 1. Families A-D.** Kew, U.K.: Royal Botanic Gardens, 960 p. 1985.

CALEGARI, L. **Uso da onda ultra-sônica como meio de controle do processo de secagem da madeira.** Santa Maria: UFSM, 2006. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, 2006.

CALEGARI, L.; STANGERLIN, D. M.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; CARMO, P. I. O.; SILVA FILHO, L. C. P. Avaliação de alguns fatores influentes na velocidade ultrassônica na madeira. **Floresta**, v. 38, n. 4, p. 607-615, 2008.

CAMARGOS, J. A. A.; GONÇALEZ, J. C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Floresta**, n. 71, 2001.

CANNAS, A. TANNINS: Fascinating but Sometimes Dangerous Molecules. Disponível em <http://www.ansci.cornell.edu/plants/toxicagents/tannin.html>. Acessado em 04/07/2012.

CARRASCO, E. V. M.; AZEVEDO JÚNIOR, A. P. Avaliação não-destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som – fundamentos físicos e resultados experimentais. **Engenharia Civil**, Guimarães, Portugal, v. 1, n. 16, p. 27-37, 2003.

CATARINO, L.; MARTINS, E. S.; DINIZ, M. A. O gênero *Combretum* na flora da Guiné-Bissau. **Portugaliae Acta Biologica**, v. 19, p. 397-408, 2000.

COSTA, A. **Coletâneas de Anatomia da Madeira.** Joinville, 42 p. 2001.

DALZIEL, J. M. **The useful plants of West Tropical Africa**. Crown agents for the colonies, London, 612 p. 1937.

DEL MENEZZI, C. H. S.; TOMASELLI, I.; SOUZA, M. R. Avaliação não-destrutiva de painéis OSB modificados termicamente. Parte 1: efeito do tratamento térmico sobre a velocidade de propagação de ondas de tensão. **Scientia Forestalis**, v. 76, p. 67-75, 2007.

DESCH, H. E.; DINWOODIE, J. M. **Timber-its structure, properties and utilization**. 6 Ed. London: McMillan, 410 p. 1993.

ENE-OJOATOWODI S.; ONAOLAPO G. S. Comparative *in vitro* antioxidant potential of different parts of *Ipomoea asarifolia* Roemer & Schultes, *Guiera senegalensis* J. F. Gmel and *Anisopus mannii* N. E. Brown. **Braz. J. Pharm. Sci.**, v. 46, p. 245-250, 2010.

FERRAND, J. C. Étude des contraintes de croissance. Première partie: Méthode de mesure sur carottes de sondage. **Ann. Sci. For.**, v. 39, p. 109–141, 1982.

FLOT, J. L. **La couler du chêne de tranchage française. Méthodologie de la mesure, variabilité géographique, classement industriel et incidences économiques**. 1988. 89p. Mémoire de 3ème année – INRA\ENITEF, Nancy, France, 1988.

FONTODJI, K. J.; TAGBA, M. S.; AKPONIKPE, I. P. B.; ADJONOU, K.; AKOSSOU, A. Y. J.; AKOUEHOU, G.; KOKUTSE, A. D.; NUTO, Y.; KOKOU, K. Diagnostic analysis of the techniques of carbonization in Togo (West Africa). **Scientific Journal of Environmental Sciences**, v. 2, n. 6, p. 106-117, 2013.

GALVEZ, J. M. G.; RIEDL, B.; CONNER, A. H. Analytical studies on tara tannins. **Holzforsch**, v. 51, n. 3, p. 235-243, 1997.

GIERLINGER, N.; JACQUES, D.; GRADNER, M.; WIMMER, R.; SCHWANNINGER, M.; ROZENBERG, P.; PÂQUES, L. E. Colour of larch heartwood and relationships to extractives and brown-rot decay resistance. **Trees**, v. 18, p. 102-108, 2004.

GLÆASERUD, S.; GRØNHAUG, T. E.; MICHAELSEN, T. E.; INNGJERDINGEN, M.; BARSETT, H.; DIALLO, D.; PAULSEN B. S. Immunomodulating polysaccharides from leaves of the Malian medicinal tree *Combretum glutinosum*; structural differences between small and large leaves can substantiate the preference for small leaves by some healers. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 5, n. 13, p. 2781-2790, 2011.

GONÇALEZ, J. C. **Caractérisation technologique de quatre espèces peu connues de la Forest Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques**. 1993. 445 p. Tese (Doutorado) – École Nationale de Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Université de Nancy I, Nancy, 1993.

GONÇALEZ, J. C.; VALLE, A. T.; COSTA, A. F. Estimativas das constantes elásticas da madeira por meio de ondas ultra-sonoras (ultra-som). **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 81-92, 2001.

GONÇALVES, C.A.; LELIS, R. C. C. Teores de taninos da casca e da madeira de cinco leguminosas arbóreas. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 167-173, 2001.

GONÇALVES, R.; COSTA, O. A. L. Acompanhamento da secagem da madeira de pinus, eucalipto e embuia utilizando ultra-som. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, p. 1-10, 2002.

GONÇALVES, R.; PUCCINI, C. T. Utilização do ultra-som na avaliação de aspectos de qualidade da madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 7, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: IBRAMEM, 2000.

GONZALEZ, P. Desertification and a shift of forest species in the West African Sahel. **Climate Research**, v. 17, p. 217-228, 2001.

GORNIK, E.; DE MATOS, J. L. M. **Métodos não destrutivos para determinação e avaliação de propriedades da madeira**. VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA EM ESTRUTURA DE MADEIRA. Anais do VII Encontro Brasileiro em Estrutura de Madeira, São Carlos, 2000.

GOUVEIA, F. N. **Aplicação de tratamentos térmicos para estabilização colorimétrica de madeiras tropicais**. 2008. 133 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

GUSTAD, G.; DHILLON, S. S.; SIDIBE, D. Local uses and cultural and economic value of products from trees in the parklands of the municipality of Cinzana, Mali. **Economic Botany**, v. 58, p. 578-587, 2004.

HAGERMAN, A.; BUTLER, L.G. The specificity of proanthocyanidin-protein interactions. **J. Biol. Chem.**, v. 256, p. 4494-4497, 1981.

HARTISH, C.; KOLODZIEJ, H. Galloylhamameloses and from proanthocyanidins from **Hamamelis virginiana**. **Phytochemistry**, v. 42, n. 1, p. 191-198, 1997.

HASLAM E. **Chemistry of vegetable tannins**. London: Academic; 1966.

HASLAM, E. **Plant polyphenols vegetable tannins revisited**. Cambridge: University Press, 1989.

HASLAM, E. Natural polyphenols (vegetable tannins) as drugs and medicines: possible modes of action. **Journal of Natural Products**, v. 59, p. 205-215, 1996.

HERNÁNDEZ, R.; KOUBAA, A.; BEAUDOIN, M.; FORTIN, Y. Selected mechanical properties of fast-growing poplar hybrid clones. **Wood and Fiber Science**, v. 30, n. 2, 1998.

HERZIG, L. **Evaluation du module d'Young de bois d'épinette par méthode ultrasonore sur carottes de sondage**. 1992. 290 p. M.Sc. Thesis (Génie Forestière) - Faculté de Foresterie et de Géomatique, Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec, Canada, 1992.

HILLIS, W. E. **Wood extractives and their significance to the pulp and paper industry**. New York: Academic Press, p. 513, 1962.

HITTLER, C. R.; FREESE, F.; SMITH, D. M. Relationships in black walnut heartwood between color and other physical and anatomical characteristics. **Wood and Fiber Science**, v. 4, n. 1, p. 38-42, 1972.

HOINACKI, E. **Peles e couros: origens, defeitos e industrialização**. 2.ed.rev. Porto Alegre: Henrique d'Ávila Bertaso, 319 p. 1989.

IRVINE, F. R. **Woody plants of Ghana**. London: Oxford University Press, 868 p. 1961.

JANIN, G.; MAZET, J. F.; FLOT, J. L. HOFMANN, P. Couleur et qualité du bois de chêne de tranchage: chêne sessile, chêne pédonculé e chêne rouge. **Revue Forestière Française**, v. 2, n. 42, p. 134-139, 1990.

JANSEN, P. C. M.; CARDON, D. (Eds.) **Plant resources of tropical Africa 3. Dyes and tannins**. Wageningen, Netherlands: PROTA Foundation/Backhuys Publishers/CTA, 216 p. 2005.

JAYNE, B. A. Vibrational properties of wood. As indices of quality. **Forest Products Journal**, v. 9, n. 11, p. 413-416, 1959.

JOHANSSON, D. **Strength and colour response of solid wood to heat treatment**. 2005. 85 f. Tese (Doutor in Wood Technology) – Luleå University of Technology, Skellefteå, Sweden, 2005.

JORGE, F. C.; BRITO, P.; PEPINO, L.; PORTUGAL, A., Gil, H., Costa, R.P., Aplicações para as Cascas de Árvores e para os Extractos Taninosos: Uma Revisão. **Silva Lusitana**, v. 9, p. 225-236, 2001.

JOSSANG, A.; POUSET, J.-L.; BODO, B. Combreglutinin, a hydrolyzable tannin from *Combretum glutinosum*. **Journal of Natural Products**, v. 57, n. 6, p. 732-737, 1994.

JUNG, J. **Stress-wave grading techniques on veneer sheets**. USDA Forest Service, PFL GTR n. 27, 10 p. Madison, 1979.

KERHARO, J.; ADAM, J. G. **La pharmacopée sénégalaise traditionnelle. Plantes médicinales et toxiques**. Paris: Vigot Frères, 101 p. 1974.

KHAN, A. A.; ZAMAN, M. B. Studies on babul tannins. **The Pakistan Journal of Forestry**, v.11, n.1, p. 354-356, 1961.

KOLA, K. A.; BENJAMIN, A. E.; DANLADI, N. B. Comparative antimicrobial activities of the leaves of *Combretum micranthum* and *C. racemosum*. **Global Journal of Medical Sciences**, v. 1, n. 1, p. 13-17, 2002.

KONICA MINOLTA SENSING Inc. **Comunicação precisa da cor: Controle de qualidade da percepção à instrumentação**. 59 p. 1998.

KOUBAA, A; HERNÁNDEZ, R; BEAUDOIN, M.; FORTIN, Y.; POLIQUIN J. Nondestructive evaluation of physical, mechanical and anatomical properties of fast growing poplar Acuña et al hybrid clones. **Proceedings** CTIA/IUFRO International wood quality workshop "Timber management toward wood quality and end-product value". Québec, p.47-53, 1997.

KUMPLERS, J.; JANIN, G.; BECKER, M. The influences of age, extractive content and soil water on wood color in oak: the possible genetic determination of wood color. **Annales des Sciences Forestières**, v. 50, n. 1, p. 403- 409, 1993.

LAHMAR, R.; BATIONO, B. A.; DAN LAMSO, N., GUÉRO, Y., TITTONELL, P. Tailoring conservation agriculture technologies to West Africa semi-arid zones: building on traditional local practices for soil restoration. **Field Crops Research**, v. 132, p. 158-167, 2012.

LE HOUÉROU, H. N. *Piliostigma reticulatum* (DC.) Hochst. Disponível em <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Gbase/DATA/PF000377.HTM> Acessado em 21/06/2012.

LEWIS, N. G.; YAMAMOTO, E. Tannins: their place in plant metabolism. In RW Hemingway, JJ Karchesy, eds, **Chemistry and Significance of Condensed Tannins**. Plenum Press, New York, p 23–47, 1989.

LIU, S.; LOUP, C.; GRIL, J.; DUMONCEAUD, O.; THIBAUT, A.; THIBAUT, B. Studies on European beech (*Fagus sylvatica* L.). Part 1: Variations of wood color parameters. **Annals Forest Science**, v. 62, p. 625-632, 2005.

LOPES, J. O. **Colorimetria da Madeira Termorretrificada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. 19 f. Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

LYKKE, A. M.; KRISTENSEN, M. K.; GANABA, S. Valuation of local use and dynamics of 56 woody species in the Sahel based on 100 ethnobotanical interviews. **Biodiversity and Conservation**, v. 13, p. 1961-1990, 2004.

MADY, F. T. M. **Conhecendo a madeira: informações sobre 90 espécies comerciais**. Manaus: SEBRAE/AM/Programa de Desenvolvimento Empresarial e Tecnológico, 212 p. 2000.

MAKKAR, H. P. S.; BECKER, K. Do tannins in leaves of trees and shrubs from African and Himalayan regions differ in level and activity? **Agrofor. Sys**, v. 40, p. 59-68, 1998.

MATOS, J. L. M. **Estudos sobre a produção de painéis estruturais de lâminas paralelas de *Pinus taeda* L.** 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1997.

MCDONALD, K. A. Lumber defect detection by ultrasonics. **USDA Forest Service Research Paper FPL**, Madison, n. 311, 1978.

MICHOT, S. **Classification subjective des parquets de chêne: rapport de stage.** Epinal: Université de Nancy I, 48 p. 1994.

MISHIRO A. Effect of density on ultrasound velocity in wood. **Mokuzai Gakkaishi**, v. 42, p. 887–894, 1996.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de Eucalyptus spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa Kraft.** 2004. 153 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade de Viçosa, Viçosa, 2004.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira do Pinus oocarpa. Parte I - Estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 1-7, 2005.

MOREIRA, W. S. **Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira.** 1999. 107f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MORI, C. L. S. O.; MORI, F. A.; PIMENTA, A. S.; MELO, V. M. Influência da temperatura, tipos e concentrações de sais inorgânicos no rendimento em taninos das cascas de *Eucalipytus*. In: **Anais do VI Congresso e Exposição Internacional Sobre Florestas**; p. 408, 2000.

MORI, C. L. S. DE O.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F.; OLIVEIRA, A. C. Influência das características da cor da madeira de eucaliptos. **Ciência Florestal**, v. 14, n. 2, p. 123-132, 2004.

MOSEDALE, J. R.; CHARRIER, B.; JANIN, G. Genetic control of wood colour, density and heartwood ellagitannin concentration in European oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*). **Forestry**, v. 69, n. 2, p. 111-124, 1996.

NEUMANN, K.; KAHLHEBER, S.; UEBEL, D. Remains of woody plants from Saouga, a medieval West African village. **Vegetation History and Archaeobotany**, v. 7, p. 57-77, 1998.

NICHOLSON, S. E.; TUCKER, C. J. Desertification, drought, and surface vegetation: An example from the West African Sahel. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.79, p. 815–829, 1998.

NOZELLA, E. F. **Determinação de tanino em plantas com potencial forrageiro para ruminantes.** 2001. 58f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

NYGARD, R.; ELFVING, B. Stem basic density and bark proportion of 45 woody species in young savanna coppice forests in Burkina Faso. **Ann. For. Sci.**, v. 57, p. 143–153, 2000.

OGAN, A. U. The alkaloids in the leaves of *Combretum micranthum*. **Planta Medica**, v. 21, n. 2, p. 210-217, 1972.

OLIVEIRA, F. G. R.; FRANCIELI, M. C.; LUCCHETE, F.; CALIL JR., C.; SALES, A. Avaliação de propriedades mecânicas de madeira por meio de ultra-som. In: III PAN-AMERICAN CONFERENCE FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, **Anais...** Rio de Janeiro, Brasil. 2003.

OLIVEIRA, F. G. R, SALES, A. Efeito da densidade e do teor de umidade na velocidade ultra-sônica da madeira. **Minerva**, v. 2, n. 1, p. 25-31, 2005.

OLIVEIRA, J. T. S.; SOUZA, L. C.; DELLA LUCIA, R. M.; SOUZA JÚNIOR, W. P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 819-826, 2005.

OLIVEIRA, F. G. R, SALES, A. Relationship between density and ultrasound velocity in Brazilian tropical Woods. **Bioresour Technol**, v. 94, p. 2443-2446, 2006.

ONAOAPO, A. A.; KAJOLA, S. O. Capital Structure and Firm Performance: Evidence from Nigeria. **European Journal of Economics, Finance and Administrative Sciences**, v. 25, p. 70-82, 2010.

PERREY, F.; STAUB, P.; GOETZ, P. Kinkeliba, *Combretum micranthum* G. Don ou *Combretum raimbauldii* (Combrétacées). **Phytothérapie**, v. 3, p. 82-84, 2004.

PHILIPP, P.; ALMEIDA, M. L. **Celulose e papel. Volume 1. Tecnologia de fabricação da pasta celulósica.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - Centro Técnico em Celulose e Papel, 1988.

PICARD, N.; OUATTARA, S.; DIARISSO, D.; BALLO, M.; GAUTIER, D. Defining units for savanna management in Sudano-sahelian areas. **Forest Ecology and Management**, n. 236, v. 2, p. 403-411, 2006.

PIZZI, A. **Tannins: Major Sources, Properties and Applications.** In *Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources*, Elsevier, Cap. 8, p. 179-199, 2008.

POSER, G. L. VON.; GOSMANN, G. Acácia-Negra. **Ciência Hoje**, v. 11, n. 63, p. 68-70, 1990.

POUSSET, J. L. **Plantes médicinales africaines, utilisation pratique.** Paris: Ellipses Agence de Coopération Culturelle et Technique, p. 84-86, 1989.

QUEIROZ, C. R. A. A.; MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A. Caracterização dos taninos da aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*). **Revista Árvore**, v. 26, p. 485-492, 2002.

RAPPOLD, P. M.; SMITH, W. B. An investigation of the relationship between harvest season, log age, and drying schedule on the coloration of hard maple lumber. **Forest Products Journal**, v. 54, n. 12, p. 178-184, 2004.

REYNOLDS, Y. E. F. (Ed.) **Martindale: the extra pharmacopoeia.** London: The Pharmaceutical Press, 1057 p. 1989.

RIBEIRO, P. G. **Utilização de técnicas não destrutivas para caracterização de madeiras de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e de *Eucalyptus grandis***. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

RIBÉREAU-GAYON, P. **Plant Phenolics**. Edinburgh: Oliver & Boyd, cap. 7, p. 169-197, 1972.

RINK, G.; PHELPS, J. E. Variation in heartwood and sapwood properties among 10-year-old black walnut trees. **Wood Fiber Sci.**, v. 21, p. 177-182, 1989.

RIVES, F.; PELTIER, R.; MONTAGNE, P. Fifteen years of forest community management in Niger: from a technician's dream to social to social reality. In: **INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMALLHOLDER AND COMMUNITY FOREST MANAGEMENT**, Montpellier, France, 15 p. 2010.

ROSS, R. J.; PELLERIN, R. F. **Nondestructive testing for assessing wood members in structures**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 40 p. (General Technical Report FPL-GTR 70), 1994.

ROSS, R. J. Using sound to evaluate standing timber. **Forest Products Journal**, p. 43-44, 1999.

ROWELL, R. M. Chemical modification of wood: it's application to composite products. **FRI Bulletin**, n. 153, p. 57-67, 1990.

ROWELL, R. M.; PETERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. **Cell Wall Chemistry**. In: *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Editado por Roger M. Rowell. Editora Taylor & Francis Group. New York, 2005.

SANTANA, G. M.; LIMA, C. R.; PAES, J. B.; MORAIS, R. M.; SILVA D. L. Taninos condensados provenientes de cascas de *Anacardium occidentale* Linn. In: 5º CONGRESSO FLORESTAL DE CUBA, 2011. **Anais... 5º CONGRESSO FLORESTAL DE CUBA** Abril/2011.

SANTOS, W. A; **Ensaio não destrutivo de rigidez e cor em madeiras africanas de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca***. 35f. Monografia – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011.

SAVADOGO, P.; ZIDA, D.; SAWADOGO, L.; TIVEAU, D.; TIGABU, M.; ODÉN, P. C. Fuel and fire characteristics in savanna-woodland of West Africa in relation to grazing and dominant grass type. **International Journal of Wildland Fire**, v. 5, n. 16, p. 531-539, 2007.

SCALBERT, A.; MONTIES, B.; JANIN, G. Comparison de methodes de dosage des tannins: application à des bois de diferentes especies. In: Colloque « *Sciences et Industries du bois* », Nancy, v. 22-24, tome II ; p. 261-268, 1987.

SEGHIERI J.; SIMIER S. Variations in phenology of a residual invasive shrub species in Sahelian fallow savannas, south-west Niger. **Journal of Tropical Ecology**, v. 18, p. 897-912, 2002.

SHIMOYAMA, V. R. de S. **Estimativas de propriedades da madeira de *Pinus taeda* através do método não-destrutivo de emissão de ondas de tensão, visando à geração de produtos de alto valor agregado.** 2005. 151 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

SILVA, O. M. D. **Estudo etnofarmacológico de espécies da flora da Guiné-Bissau com atividade antimicrobiana.** 2004. 340 p. Tese (Doutorado) – Universidade de Lisboa, Lisboa, 2004.

SILVA O.; SERRANO R.; DINIZ, M. A.; GOMES E. T. *Guiera senegalensis* – a medicina dos mouros – botânica, usos tradicionais e atividade farmacológica. In: WORKSHOP PLANTAS MEDICINAIS E FITOTERAPÊUTICAS NOS TRÓPICOS. **Proceedings...** Portugal: ICT/CCCM, 10 p. 2008a.

SILVA O.; SERRANO R.; GOMES E. T. Botanical characterization of *Guiera senegalensis* leaves. **Microsc. Microanal.**, v. 14, p. 398-404, 2008b.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R. **Farmacognosia: da planta ao medicamento.** Porto Alegre: Editora UFRS/UFSC, 1999.

SIVAKUMAR, M. V. K. Interactions between climate and desertification. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 142, p. 143-155, 2007.

SOMBORO A. A.; PATEL K.; DIALLO D.; SIDIBE L.; CHALCHAT J. C.; FIGUEREDO G.; DUCKI S.; TROIN Y.; CHALARD P. An ethnobotanical and phytochemical study of the African medicinal plant *Guiera senegalensis* J. F. Gmel. **Journal of Medicinal Plants Research**, v. 5, n. 9, p. 1639-1651, 2011.

SOTELO MONTES, C.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAULIEU, J.; WEBER, J. C. Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. **New Forests**, v. 35, p. 57-73, 2008.

SOTELO MONTES, C.; GARCIA R. A.; SILVA D. A.; MUNIZ G. I. B.; WEBER J. C. Variation and correlations in traits of *Prosopis africana* and *Balanites aegyptiaca* in the West African Sahel: implications for tree domestication programs. **Forests Trees and Livelihoods**, v. 19, p. 289-298, 2010.

SOTELO MONTES, C.; SILVA D. A.; GARCIA R. A.; MUNIZ G. I. B.; WEBER J. C. Calorific value of *Prosopis africana* and *Balanites aegyptiaca* wood: relationships with tree growth, wood density and rainfall gradients in the West African Sahel. **Biomass & Bioenergy**, v. 35, p. 346-353, 2011.

SOTELO MONTES, C.; WEBER, J. C.; SILVA, D. A.; ANDRADE, C.; MUÑIZ, G. I. B.; GARCIA, R. A.; KALINGANIRE, A. Effects of region, soil, land use, and terrain type on fuelwood properties of five tree/shrub species in the Sahelian and Sudanian ecozones of Mali. **Annals of Forest Science**, v. 69, p. 747-756, 2012.

STANAZIOLA, R. **Colorimetry and the calculation of color difference**. São Paulo: Superlab, 27 p. 1986.

STANGERLIN, D. M.; CALEGARI, L.; SANTINI, E. J.; DOMINGUES, J. M. X.; GATTO, D. A.; MELO R. R. Determinação do módulo de elasticidade em madeiras por meio de métodos destrutivo e não-destrutivo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 145-150, 2008.

STANGERLIN, D. M.; GATTO, D. A.; MELO, R. R.; CALEGARI, L.; VIVIAN, M.A.; CASTELO, P. A. R.; BELTRAME, R. Uso do ultrassom para estimativa das propriedades mecânicas da madeira de *Peltophorum dubium*. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 1, n. 2, p. 44-53, 2010.

STENUDD. S. Color response in silver birch during kiln-drying. **Forest Products Journal**, v. 54, n. 6, p. 31-36, 2004.

TRUGILHO, P.F.; CAIXETA, R. P.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Avaliação do conteúdo em taninos condensados de algumas espécies típicas do cerrado mineiro. **Cerne**, v.3, n. 1, p. 1-13, 1997.

VAN VLIET, G. J. C. M. Wood anatomy of the Combretaceae. **Blumea**, v. 25, p. 141-223, 1979.

VIERA, M. C. **Colagem de painéis OSB com adesivos à base de taninos da casca de *Pinus oocarpa* Schiede ex Shltdl**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

VON MAYDELL, H.-J. **Arbres et arbustes du Sahel: leurs caractéristiques et leurs utilisations**. Weikersheim, Allemagne: Verlag Joseph Margraf, 531 p. 1992.

WEST AFRICAN PLANTS. Disponível em <http://www.westafricanplants.senckenberg.de> Acessado em 27/06/2012.

WISSING, A. The utilization of bark II: Investigation of the stiasny-reaction for the precipitation of polyphenols in Pine bark extractives. **Svensk Papperstidning**, v. 58, n. 20, p. 745-750, 1955.

WORLD WEATHER ONLINE. Disponível em <http://www.worldweatheronline.com> Acessado em 27/06/2012.

YANG, J.-L.; FORTIN, Y. Evaluating strength properties of *Pinus radiata* from ultrasonic measurements on increment cores. **Holzforschung**, v. 55, p. 606-610, 2001.

YELEMOU, B.; BATIONO, B. A.; YAMEOGO, G.; MILLOGO-RASOLODIMBY, J. Gestion traditionnelle et usage de *Piliostigma reticulatum* sur le plateau central du Burkina Faso. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 291, p. 55-56, 2007.