



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

WANESSA APARECIDA SANTOS

**ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS DE RIGIDEZ E COR EM MADEIRAS AFRICANAS
DE *Prosopis africana* E *Balanites aegyptiaca***

**Prof^ª Dr^ª ROSILEI A. GARCIA
Orientadora**

**SEROPÉDICA, RJ
Julho-2011**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

WANESSA APARECIDA SANTOS

**ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS DE RIGIDEZ E COR EM MADEIRAS AFRICANAS
DE *Prosopis africana* E *Balanites aegyptiaca***

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheira Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

Prof^a Dr^a ROSILEI A. GARCIA
Orientadora

SEROPÉDICA, RJ
Julho-2011

**ENSAIOS NÃO-DESTRUTIVOS DE RIGIDEZ E COR EM MADEIRAS AFRICANAS
DE *Prosopis africana* E *Balanites aegyptiaca***

Monografia aprovada em 17 de junho de 2011.

Comissão examinadora

Prof^a Dr^a Rosilei A. Garcia
UFRRJ/IF/DPF
Orientadora

Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento
UFRRJ/IF/DPF
Membro

Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho
UFRRJ/IF/DPF
Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus. O que seria de mim sem a fé que eu tenho nele? 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, por me tornar uma Engenheira Florestal e proporcionar tantos momentos de alegria e felicidades, pelos amigos que aqui encontrei.

Ao Programa de Iniciação Científica PROIC (DPPG/UFRRJ) pelo apoio financeiro concedido através da bolsa de iniciação científica.

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

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.

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

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

Aos meus amigos de turma 2006/II, Dallyene Poubel, Carlos Henrique, Letícia Ramos, Lucas Fernandes, Nicelle Mendes, Pollyanna Rodrigues e Jairo Alves, pelos momentos de aprendizagem constante e pela amizade solidificada, que certamente se eternizará. À todos os meus amigos que contribuíram para realização deste trabalho e que me apoiaram em todos os momentos desta importante etapa em minha vida.

Ao técnico e amigo José Carlos, pela sua dedicação e apoio.

RESUMO

Este trabalho é fruto de uma parceria estabelecida entre o Instituto de Florestas (UFRRJ) e o World Agroforestry Centre/ International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF) visando o estudo de duas espécies nativas do Sahel Africano: *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, as quais são muito importantes por proporcionar material para energia, construção e outros produtos essenciais aos países africanos. Essas espécies fazem parte de um grupo de espécies que está desaparecendo devido à intensa exploração e ao processo de desertificação desencadeado na região, tornando necessário estudos sobre o reflorestamento e a qualidade da madeira produzida nesses plantios. Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho foi determinar as propriedades de rigidez e cor das madeiras de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca* através de ensaios não-destrutivos. Foram utilizadas baguetas de madeira de 5 mm de diâmetro, sendo 160 amostras de *Prosopis africana* e 80 amostras de *Balanites aegyptiaca*, provenientes de plantios localizados em Niamey (Níger, África Ocidental), nas quais foram determinadas a densidade, a rigidez e a cor. A densidade foi determinada pelo método de imersão em mercúrio segundo a norma ASTM D 2395-93. A rigidez (módulo de elasticidade dinâmico) foi determinada através do equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7 (Ultra Test GmbH, Dr. Steinkamp & Büssenschütt) nos sentidos longitudinal e transversal. As análises colorimétricas foram realizadas através do sistema CIE-L*a*b* com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM 2600d da Konica Minolta, nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial. As madeiras de ambas as espécies apresentaram módulos de elasticidade dinâmicos inferiores ao esperado, considerando os valores de densidade obtidos. A madeira de *Prosopis africana* apresentou cor mais escura (menor L*) e menos pigmento amarelo (menor b*) na seção transversal, enquanto que na seção radial, a madeira mostrou ser mais escura e menos amarelada que na seção tangencial. Para *Balanites aegyptiaca*, a madeira apresentou uma cor mais escura (menor L*) e mais amarelada (maior b*) na seção transversal. As madeiras mais densas de *Balanites aegyptiaca* apresentaram cor mais escura (menor L*) e mais pigmento vermelho (a*) e amarelo (b*).

Palavras-chave: bagueta de madeira, colorimetria, módulo de elasticidade dinâmico, Sahel africano, sistema CIE-L*a*b*, ultra-som.

ABSTRACT

This work is the result of a partnership between the Institute of Forestry (UFRRJ) and the World Agroforestry Centre/ International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF) for the study of two native species from African Sahel: *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. and *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, which are very important for providing material for energy, construction and other essential products to African countries. These species are part of a group of species that are disappearing due to intense exploitation and desertification process in the region, requiring studies on reforestation and quality of wood produced in these plantations. In this context, the main objective of this work was to determine the stiffness and color of *Prosopis africana* and *Balanites aegyptiaca* woods by undestructive methods. Density, stiffness and color were determined from increment cores with 5 mm of diameter, being 160 samples of *Prosopis africana* and 80 samples of *Balanites aegyptiaca*, obtained from plantations located in Niamey (Niger, West Africa). The density was determined by mercury immersion method according to ASTM D 2395-93 standard. Stiffness (dynamic modulus of elasticity) was determined by using an Ultrasonic Tester, model BP-7 (Ultra Test GmbH, Dr. Steinkamp & Büssenschütt) in longitudinal and transverse directions. Color analysis were performed on the CIE-L*a*b* system by using a CM 2600d spectrophotometer from Konica Minolta in transverse, radial and tangential sections. The wood of both species showed dynamic modulus of elasticity lower than expected, considering the density values obtained. *Prosopis africana* wood was darker (lower L*) and less yellow (lower b*) in transverse section, while in radial section, wood was darker and less yellow than tangential section. *Balanites aegyptiaca* wood presented darker (lower L*) and more yellow (higher b*) color in transverse section. Denser woods of *Balanites aegyptiaca* presented darker color (lower L*) and redder (a*) and more yellow (b*) hues.

Keywords: increment core, colorimetry, dynamic modulus of elasticity, African Sahel, CIE-L*a*b* system, ultrasonic.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----|
| LISTA DE FIGURAS..... | vii |
| LISTA DE TABELAS..... | ix |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2. OBJETIVOS..... | 2 |
| 2.1 Objetivo geral..... | 2 |
| 2.2 Objetivos específicos..... | 2 |
| 3. REVISÃO DE LITERATURA..... | 2 |
| 3.1 Espécies africanas estudadas..... | 2 |
| 3.1.1 <i>Prosopis africana</i> (Guill & Perr) Taub..... | 2 |
| 3.1.2 <i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile..... | 5 |
| 3.2 Caracterização tecnológica da madeira através de ensaios não-destrutivos..... | 6 |
| 3.2.1 Amostragem não-destrutiva..... | 6 |
| 3.2.2 Método não-destrutivo de ultra-som..... | 7 |
| 3.2.3 Método não-destrutivo de colorimetria..... | 8 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS..... | 9 |
| 4.1 Material..... | 9 |
| 4.2 Determinação da rigidez (módulo de elasticidade dinâmico - MOE _d)..... | 10 |
| 4.3 Determinação da cor através do sistema CIE-L*a*b*..... | 11 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 12 |
| 5.1 Módulo de elasticidade dinâmico..... | 12 |
| 5.2 Colorimetria..... | 14 |
| 5.3 Correlações entre densidade, módulo de elasticidade dinâmico e coordenadas de cor..... | 15 |
| 6. CONCLUSÕES..... | 20 |
| 7. RECOMENDAÇÕES..... | 21 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 21 |

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Sahel Africano, região da África situada entre o deserto do Saara e as terras mais férteis ao Sul, formando um corredor ininterrupto do Oceano Atlântico ao Mar Vermelho, passando pelos seguintes países: Senegal, Mauritânia, Mali, Burkina Faso, Níger, parte norte da Nigéria, Chade e Sudão. Outros países como Etiópia, Eritreia, Djibouti, Somália e Quênia também podem ser incluídos na região Saheliana.....3
- Figura 2. Distribuição natural do gênero *Prosopis* (Fonte: BURKAT, 1976).....3
- Figura 3. Aspecto da árvore, das vagens e das sementes de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub. (Fonte: <http://www.westafricanplants.senckenberg.de/root/index.>).....4
- Figura 4. Aspecto da árvore, dos ramos e dos frutos “data do deserto” de *Balanites aegyptiaca* (L) Delile (Fonte: http://www.fruitipedia.com/hankalta_balanites_aegyptiaca.htm).....6
- Figura 5. (A) Espaço de cor tridimensional do sistema CIE-L*a*b*. A coordenada L* representa a luminosidade. As coordenadas a* e b* representam a cromaticidade. As coordenadas C* e h representam a saturação e o ângulo de coloração, respectivamente (Fonte: JOHANSSON, 2005). (B) Diagrama de cromaticidade a* e b* (Fonte: KONICA MINOLTA SENSING Inc., 1998).....8
- Figura 6. Baguetas de madeira de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub. e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, respectivamente.....9
- Figura 7. Discos de madeira de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub.....9
- Figura 8. Equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7 (Ultra Test GmbH, Dr. Steinkamp & Büssenschütt), utilizado para as medições do tempo de propagação da onda ultrassônica em pequenas amostras de madeira (baguetas).....10
- Figura 9. (A) Espectrofotômetro portátil CM 2600d (Konica Minolta Sensing, Inc.). (B) Máscara negra adaptada à abertura padrão de leitura do aparelho de 3 mm para determinação da cor das baguetas de madeira.....11
- Figura 10. Direções estruturais e planos de corte nas amostras de baguetas utilizadas para determinação de cor no sistema CIE-L*a*b*.....11
- Figura 11. Módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) das baguetas das madeiras de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, nos sentidos longitudinal (MOEd^{1//}) e transversal (MOEd^{1⊥}).....13
- Figura 12. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico das baguetas (MOEd^{1//}) e dos discos (MOEd²), no sentido longitudinal, para a madeira de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub.....13

| | |
|---|----|
| Figura 13. Coordenadas de cor no sistema CIE-L*a*b* obtidas nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial. (A) Madeira de <i>Prosopis africana</i> (Guill & Perr) Taub. (B) Madeira de <i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile..... | 15 |
| Figura 14. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico, nos sentidos longitudinal e transversal, e a densidade da madeira de <i>Prosopis africana</i> (Guill & Perr.) Taub..... | 16 |
| Figura 15. Correlações entre as coordenadas de cor (L*, a* e b*), na seção transversal, para a madeira de <i>Prosopis africana</i> (Guill & Perr.) Taub..... | 18 |
| Figura 16. Correlações entre as coordenadas de cor (L*, a* e b*), na seção transversal, e a densidade da madeira de <i>Balanites aegyptiaca</i> (L.) Delile..... | 20 |

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Resultados obtidos para a estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) da densidade aparente e do módulo de elasticidade dinâmico das madeiras de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub. e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile.....12
- Tabela 2. Resultados obtidos para a estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) das coordenadas de cor no sistema CIE-L*a*b* das madeiras de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub. e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile nos planos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial.....14
- Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre a densidade, o módulo de elasticidade dinâmico e as coordenadas de cor (L*, a* e b*) da madeira de *Prosopis africana* (Guill & Perr.) Taub.....17
- Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson entre a densidade, o módulo de elasticidade dinâmico e as coordenadas de cor (L*, a* e b*) da madeira de *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile.....19

1. INTRODUÇÃO

As propriedades elásticas e a densidade são fatores importantes para avaliar a qualidade da madeira, pois são indicadores de sua resistência e conseqüentemente do seu valor econômico (ILLIC, 2003). Geralmente, madeiras mais densas tendem a ser mais resistentes, mais escuras e apresentam maior contração volumétrica que as madeiras de baixa densidade. A densidade da madeira é, portanto, um bom indicador da rigidez, a qual pode ser afetada por vários fatores, tais como, a variabilidade entre árvores da mesma espécie e condições ambientais, as quais comprometem o crescimento da árvore (SOTELO MONTES *et al.*, 2003, 2006, 2007a, 2007b, 2008, 2010; 2011, TSOUMIS, 1991, WEBER *et al.*, 2008, WEBER & SOTELO MONTES, 2009, 2010).

Estudos recentes realizados por SOTELO MONTES & WEBER (2009), WEBER & SOTELO MONTES (2010) e WEBER *et al.* (2008) com testes de procedências/progênie de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca* mostraram uma variação significativa no crescimento das árvores e na densidade da madeira de *Prosopis africana* devido às procedências e famílias dentro de procedências. A densidade da madeira de *Prosopis africana* aumentou das regiões mais úmidas para as regiões mais secas e as árvores maiores de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca* apresentaram madeiras mais densas. Portanto, se a correlação entre o crescimento e a densidade é positiva, supõe-se que seria possível, aumentar o volume, a resistência, a rigidez e a cor da madeira selecionando árvores com maior densidade de madeira e/ou crescimento.

As propriedades mecânicas da madeira são geralmente determinadas através de métodos destrutivos, entretanto, métodos não-destrutivos têm sido desenvolvidos e aplicados com sucesso (BUCUR, 1981; GARCIA *et al.*, 2011; HERZIG, 1991; ILLIC, 2003; SOTELO MONTES *et al.*, 2007). Os ensaios não-destrutivos têm sido utilizados para diferentes categorias de material, por exemplo, árvores em pé, madeira sólida, lâminas e compostos à base de madeira a fim de determinar suas propriedades de maneira simples e rápida (BODIJ, 2000). O método não-destrutivo também foi aplicado com sucesso por YANG & FORTIN (2001) para determinar as propriedades de resistência da madeira utilizando-se pequenas amostras de madeira (baguetas). Uma das vantagens em utilizar baguetas de madeira é que o método de amostragem é o menos destrutivo possível e elas ainda permanecem intactas após os ensaios não-destrutivos, podendo ser utilizadas para estudos posteriores.

Além da caracterização mecânica do material, a cor vem sendo considerada recentemente como um índice de classificação e qualidade da madeira (MORI *et al.*, 2004). Segundo JOHANSSON (2005), a cor da madeira pode ser utilizada como um indicador da sua resistência, apesar de não ser uma variável totalmente controlada para predizer tais propriedades. BEKHTA & NIEMZ (2003) encontraram uma forte relação entre o MOE e a cor da madeira de *Picea* sp tratada termicamente.

Segundo GONÇALEZ (1993), a importância de determinar a cor da madeira pode ser resumida sob três pontos de vista: (1) como ciência florestal (visando uma seleção futura) pois o estudo dos fatores que influenciam a cor, permitem conhecer melhor as espécies, sua silvicultura, sua composição química e sua anatomia; (2) no domínio tecnológico ao qual a cor permite uma classificação e uma triagem objetiva das madeiras serradas e laminadas com ajuda das coordenadas cromáticas; e (3) econômico, visto que algumas madeiras, dependendo de sua cor, tornam-se mais valorizadas que outras.

Um dos sistemas mais utilizados para a determinação quantitativa da cor da madeira é o CIE-L*a*b*, o qual trabalha de acordo com a norma CIE «*Commission International de l'Éclairage*», e é um método rápido, preciso e não-destrutivo, podendo apresentar também potencial como indicador das propriedades da madeira.

As espécies de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile estudadas neste projeto são muito importantes por proporcionar material para energia, construção e outros produtos essenciais aos países africanos. Entretanto, essas espécies fazem parte de um grupo de espécies que estão desaparecendo devido à intensa exploração e ao próprio processo de desertificação desencadeado na região natural de ocorrência (Sahel Africano). Por esta razão, o *World Agroforestry Centre* (ICRAF) têm desenvolvido estudos para o reflorestamento dessas espécies através do estabelecimento de testes de procedências/progênie.

Este projeto é resultado de uma parceria entre o Instituto de Florestas (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. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste estudo foi determinar as propriedades tecnológicas das madeiras de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. (Família Leguminosae-Mimosaceae) e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile (Família Balanitaceae), obtidas de testes de procedência/progênie estabelecidos no Níger (África Ocidental), através de ensaios não-destrutivos.

2.2 Objetivos específicos

- (1) Determinar a densidade aparente e a rigidez da madeira de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca* através do método não-destrutivo de ultra-som;
- (2) Determinar a cor da madeira de ambas as espécies através do sistema CIE-L*a*b*;
- (3) Determinar as correlações existentes entre a densidade, a rigidez e a cor da madeira de ambas as espécies visando avaliar o potencial da colorimetria como uma ferramenta no controle de qualidade da madeira.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Espécies africanas estudadas

As espécies de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub. e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile são nativas do Sahel Africano, região da África situada entre o deserto do Saara e as terras mais férteis ao Sul, formando um corredor ininterrupto do Oceano Atlântico ao Mar Vermelho, passando pelos seguintes países: Senegal, Mauritânia, Mali, Burkina Faso, Níger, Nigéria, Chade e Sudão (Figura 1). Outros países como Etiópia, Eritreia, Djibouti, Somália e Quênia também podem ser incluídos na região Saheliana.

3.1.1 *Prosopis africana* (Guill & Perr.) Taub.

A classificação do gênero *Prosopis* (Família Leguminosae, subfamília Mimosoidae) foi em grande parte esclarecido por BURKART (1976), que listou 44 espécies de árvores e arbustos, predominantemente xerófitos, encontradas principalmente nas regiões áridas e semi-áridas do mundo.



Figura 3. Aspecto da árvore, das vagens e das sementes de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub. (Fonte: <http://www.westafricanplants.senckenberg.de/root/index.php>).

A espécie pode atingir uma altura de 4 à 20 m e suas folhas, ramos e frutos suculentos são amplamente utilizados na região do Sahel Africano por fornecerem valiosa forragem para os animais, especialmente durante a estação seca. As vagens são grossas e duras apresentando uma coloração que varia do marrom avermelhado ao preto. Em muitas áreas, as sementes são fermentadas e utilizadas como condimentos na alimentação humana (TCHOUNDJEU *et al.*, 1997). A Figura 3 apresenta o aspecto da árvore, das vagens e das sementes de *Prosopis africana*.

No Brasil, a espécie *Prosopis juliflora* (Sw.) DC., vulgarmente conhecida como algaroba, foi introduzida na caatinga pernambucana na década de 1940. Devido à sua resistência à seca, rápido desenvolvimento e baixo requerimento nutricional, sua implantação no Nordeste foi efetivada satisfatoriamente para a produção de lenha, carvão e forragem para os animais e continua sendo incentivada pelo governo através do reflorestamento (AGUIAR *et al.*, 2004).

Em estudos realizados por KAUL & JAIN (1967) verificou-se que a madeira de *Prosopis* é dura, muito resistente à cupins, de fácil trabalhabilidade e proporciona boa adesão.

Devido à sua alta densidade, a madeira de *Prosopis* vem sendo utilizada para cabos de ferramentas agrícolas, postes, rodas de carroças, construção de casas, assoalhos, molduras de portas e janelas, móveis, mineração, lenha e carvão vegetal. Sem dúvida estes dois últimos produtos são os mais utilizados, isso ocorre pelo fato de serem empregados como materiais

para produção de energia e também por serem relativamente baratos de se produzir (FELKER, 1979).

Segundo PASIECZNIC *et al.* (2001) esta espécie tem a capacidade de influenciar positivamente os solos, através da fixação de nitrogênio atmosférico levando à uma diminuição da erosão, à melhoria da fertilidade do solo e das condições ambientais tanto para si quanto para outras plantas e espécies de animais. Mesmo sob condições mais pobres, a espécie é capaz de produzir vários frutos.

A *Prosopis africana* tem sido muito importante para a humanidade, pois quase todas as partes da árvore podem ser usadas para fins medicinais (AKAAIMO & RAJI, 2006). Suas folhas, casca, galhos e raízes são usados para tratar ou aliviar bronquites, disenteria e cólicas estomacais, na obtenção de tanino e corante. As cinzas são bastante utilizadas na fabricação de sabão.

Estudos recentes realizados pela FAO demonstraram que os minerais presentes nas sementes de *Prosopis* tais como: fósforo, potássio, cálcio e ferro contribuem parcialmente como fontes de nutrição diária para os países africanos.

Por causa de seus múltiplos usos e produtos, as populações naturais de *Prosopis africana* estão desaparecendo rapidamente devido à sua intensa exploração, sem nenhum método de gestão. Estes ecossistemas fragilizados tornam-se menos propensos a se recuperar, podendo ser intensificado ainda mais pelo próprio processo de desertificação desencadeado na sua região natural.

3.1.2 *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile

Balanites aegyptiaca (L.) Delile (Família Balanitaceae) é uma árvore lenhosa, espinhosa, podendo atingir uma altura de 10 m, nativa do semi-árido das regiões africanas e sub-saariana, podendo ser utilizada como forragem, medicamentos, lenha, carvão, madeira e pesticidas (HALL & WALKER, 1991).

A espécie apresenta tronco curto e muitas vezes ramificações perto da base, enquanto que a casca possui uma coloração de marrom escuro à cinza e profundamente fissurada, seus ramos são armados de espinhos robustos e folhas alternas. O fruto é do tipo drupa bastante longo e as flores são pequenas, hermafroditas e polinizadas por insetos. As sementes são dispersadas por aves e animais (CHOTANI & VAGHASIYA, 2001).

O fruto, chamado de “*data do deserto*”, foi a base de um ativo comércio por muitos séculos. Sua amêndoa é rica em ácidos graxos saturados ao qual é utilizado como óleo de cozinha, na fabricação de sabão, como matéria prima na produção industrial de pílulas anticoncepcionais, corticóides, anabolizantes e outros hormônios sexuais (ONUDI, 1984). A Figura 4 apresenta o aspecto da árvore, dos galhos e dos frutos de *Balanites aegyptiaca*.

Segundo CHOTANI & VAGHASIYA (2001), estudos tem demonstrado que a espécie possui antioxidantes, antimicrobianos, anticancerígenos, diuréticos, cicatrizantes, antivirais, anti-diabéticos, larvicidas de mosquito, analgésicos, vermífugo, e propriedades anticonceptivas. As cascas de frutas, sementes e folhas são amplamente utilizadas na medicina popular.

Balanites aegyptiaca é uma planta que pode ser encontrada em vários tipos de habitat, sendo capaz de tolerar uma grande variedade de tipos de solos, e os mais diferentes níveis de umidades (HALL & WALKER, 1991). Entretanto, o processo de desertificação que ocorre naturalmente na região do Sahel Africano vem reduzindo de forma drástica a sua abundância, podendo levar a espécie ao desaparecimento total (GONZALEZ, 2001).

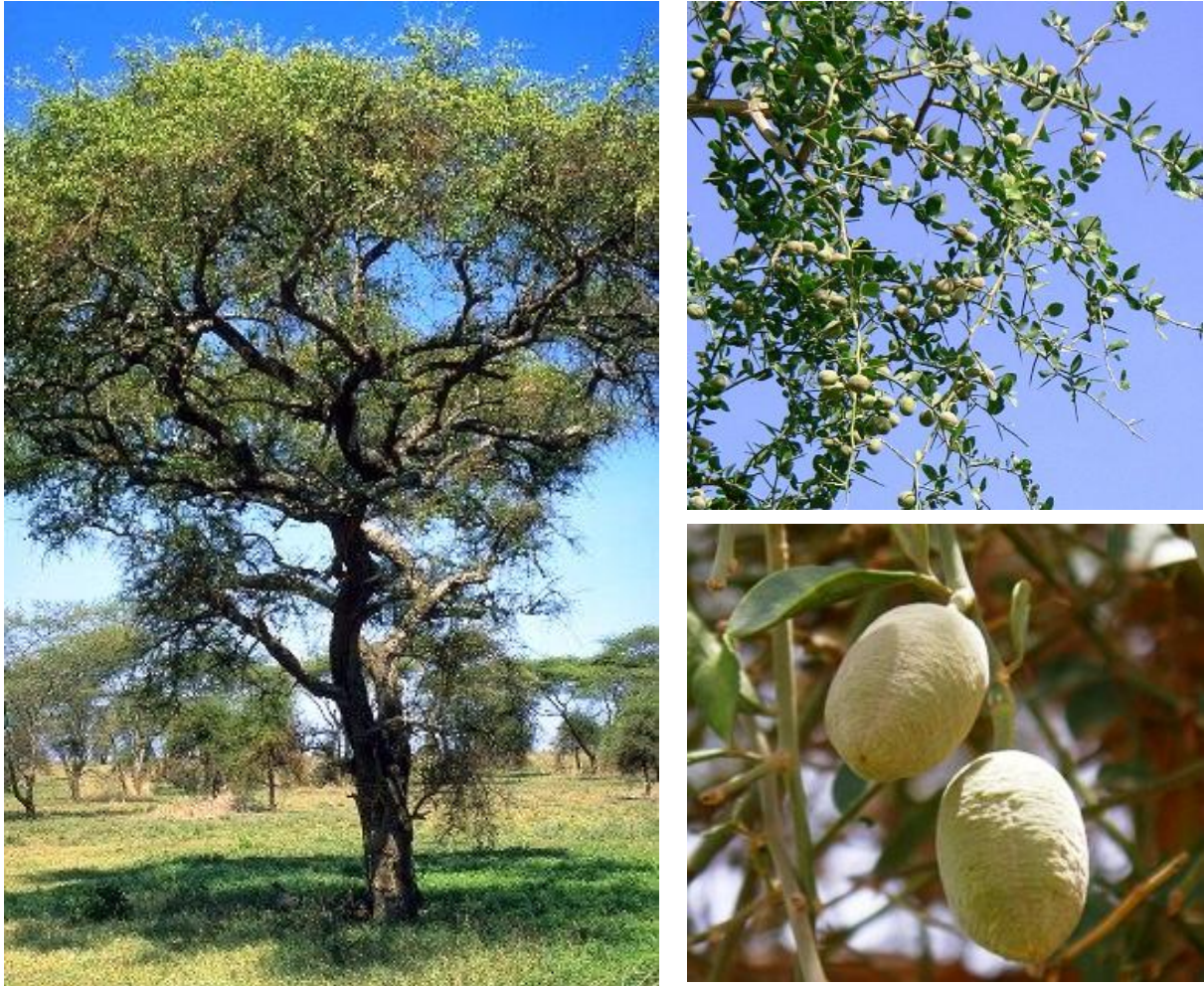


Figura 4. Aspecto da árvore, dos ramos e dos frutos “data do deserto” de *Balanites aegyptiaca* (L) Delile (Fonte: http://www.fruitipedia.com/hankalta_balanites_aegyptiaca.htm)

3.2 Caracterização tecnológica da madeira através de ensaios não-destrutivos

Tradicionalmente, a caracterização tecnológica da madeira está baseada nos estudos anatômicos e nas propriedades físicas e mecânicas (GONÇALEZ *et al.*, 2001a). Características como a densidade, textura, grã e dureza são bastante utilizadas na classificação e avaliação da qualidade da madeira. Entretanto, a cor vem sendo considerada somente recentemente como um índice de classificação e qualidade da madeira (MORI *et al.*, 2004).

Neste trabalho foram utilizados métodos de amostragem não-destrutivos e a adaptação de metodologias para pequenas amostras de madeira (bagaetas), através de ensaios não-destrutivos de rigidez e de cor, os quais serão abordados a seguir.

3.2.1 Amonstragem não-destrutiva

A avaliação não-destrutiva compreende o uso de um ou mais métodos para a quantificação das propriedades físicas e mecânicas de um determinado material, sem que haja qualquer comprometimento de seu uso final (ROSS *et al.*, 1998).

Segundo ROSS & PELLERIN (1994), diversos são os métodos comumente empregados na avaliação não-destrutiva de produtos à base de madeira, sendo um deles o método de remoção de pequenas amostras de madeira em forma de baguetas com diversos

tipos de extratores de corpo de prova. YANG & FORTIN (2001) verificaram que a remoção de pequenas amostras em forma de baguetas em uma árvore em pé, realiza-se de forma simples e barata.

Vários autores (CALIL JÚNIOR & MINÁ, 2003; ROSS *et al.*, 2004; SHIMOYANA, 2005) destacam as vantagens dos métodos não-destrutivos sobre os métodos tradicionais, dentre elas a possibilidade de utilização posterior da peça testada; a rapidez de aplicação do método; a confiabilidade dos valores obtidos; a redução das perdas de material; a classificação de peças em classes de qualidade e resistência; a detecção de defeitos internos antes do beneficiamento, além das vantagens financeiras proporcionadas pelo conjunto das vantagens citadas.

3.2.2 Método não-destrutivo do ultra-som

A avaliação não-destrutiva da madeira com base nos princípios da propagação de ondas mecânicas por meio da técnica de emissão do ultra-som surge atualmente, como um dos métodos mais utilizados e promissores em função da facilidade de operação e do custo relativamente baixo na aquisição e na operacionalização do equipamento (STANGERLIN *et al.*, 2008).

Na área de pesquisa, a técnica do ultra-som, é empregada para a determinação de propriedades físicas e mecânicas de materiais. Para alguns materiais, como os metais e ligas metálicas, essa técnica tem sido bastante usada, uma vez que pode detectar defeitos e descontinuidade nas peças. No caso da madeira, como esses problemas são característicos do material, os ensaios não-destrutivos são usados, quase sempre, para verificar como essas ocorrências afetam as suas características físicas e mecânicas (TARGA *et al.*, 2005).

Segundo GORNIK & MATOS (2000), o método não-destrutivo por meio de ultra-som apresenta diversas finalidades, permitindo desde a determinação da existência de nós, direcionamento das fibras, decomposição, passando pela avaliação de elementos estruturais da madeira, até a estimativa de parâmetros como o módulo de elasticidade (MOE) e o módulo de ruptura (MOR).

De acordo com GONÇALEZ *et al.* (2001b), as ondas acústicas de frequência superior a 20 kHz, são classificadas como ondas ultra-sônicas. Este método ultra-sonoro se baseia na análise da propagação e sua relação entre a resposta ao ultra-som (velocidade de propagação), o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) e a densidade (OLIVEIRA, 2001).

YANG & FORTIN (2001) utilizaram o método do ultrassom em baguetas de madeira de *Pinus radiata* visando correlacionar o MOEd com o MOE e MOR estáticos, e verificaram que o método não-destrutivo apresenta uma correlação altamente significativa com ambas as variáveis na condição estática.

Vários fatores podem influenciar a velocidade de propagação de ondas ultra-sônicas, sendo eles: a estrutura anatômica, as características físicas (densidade, teor de umidade) e morfológicas (tipos de lenhos e ângulo de grã), a presença de defeitos (nós e rachaduras), a geometria das amostras, as condições do meio (temperatura e umidade relativa) e o procedimento utilizado para tomada das medidas (frequência e tipo de transdutor) (MANTILLA CARRASCO & AZEVEDO JÚNIOR, 2003).

Segundo BUCUR (1995), quanto maior o teor de umidade da madeira, menor será a velocidade de propagação de ondas acústicas. JAMES (1961) avaliando os efeitos da umidade da madeira sobre a técnica de propagação de ondas acústicas, também verificou um decréscimo na velocidade das ondas em função do aumento no teor de umidade da madeira.

SHIMOYANA (2005) afirma que madeiras mais densas apresentam uma menor proporção de espaços vazios, propiciando uma maior velocidade de propagação das ondas ultra-sônicas em um menor tempo para um determinado percurso. Estudos realizados por

BUCUR (1988) mostraram uma correlação positiva significativa ($r = 0,69$) entre a densidade da madeira e a velocidade de propagação das ondas.

MCDONALD (1978) constatou que a velocidade de propagação de ondas ultrassônicas é diferente segundo a direção das fibras. O tempo de propagação da onda é aproximadamente três vezes maior na direção longitudinal do que na direção radial e tangencial, isto ocorre, pelo fato das ondas acústicas se propagarem de forma mais rápida pelas paredes celulares, portanto, quanto maior a espessura da parede celular, mais contínuo será o caminho a ser percorrido pela onda e mais rápido se realizará sua propagação. Já nas direções radiais e tangenciais as estruturas anatômicas da madeira tornam-se barreiras para a propagação da onda ultra-sônica, provocando uma redução significativa na velocidade de propagação, neste caso o caminho percorrido pela onda passa a ser descontínuo, propiciando um maior tempo de propagação da onda ultra-sônica e uma velocidade de propagação menor.

3.2.3 Método não-destrutivo de colorimetria

A colorimetria é uma técnica que permite a determinação precisa da cor da madeira através de equipamentos apropriados, sendo eles, o colorímetro e o espectrofotômetro. Esta técnica pode ser aplicada para a identificação de espécies, a classificação e a indicação de usos finais com maior valor econômico (CAMARGOS, 1999; GONÇALEZ *et al.*, 2001a).

Um dos sistemas mais utilizados para medição de cor é o CIE- $L^*a^*b^*$, o qual trabalha de acordo com a norma CIE «*Commission Internationale de l'Éclairage*» (1976) e é caracterizado por três diferentes coordenadas (L^* , a^* e b^*) em um espaço de cor tridimensional tal como apresentado na Figura 5A (JOHANSSON, 2005). A coordenada L^* representa a luminosidade, a qual varia de zero (preto) à 100 (branco), enquanto que a^* e b^* representam as coordenadas cromáticas, variando entre -60 e +60. No sistema CIE- $L^*a^*b^*$, os sinais positivos e negativos significam: $+a^*$ aumento na cor vermelha, $-a^*$ aumento na cor verde, $+b^*$ aumento na amarela e $-b^*$ aumento na cor azul tal como apresentado no diagrama de cromaticidade (Figura 5B) (SILVA *et al.*, 2007).

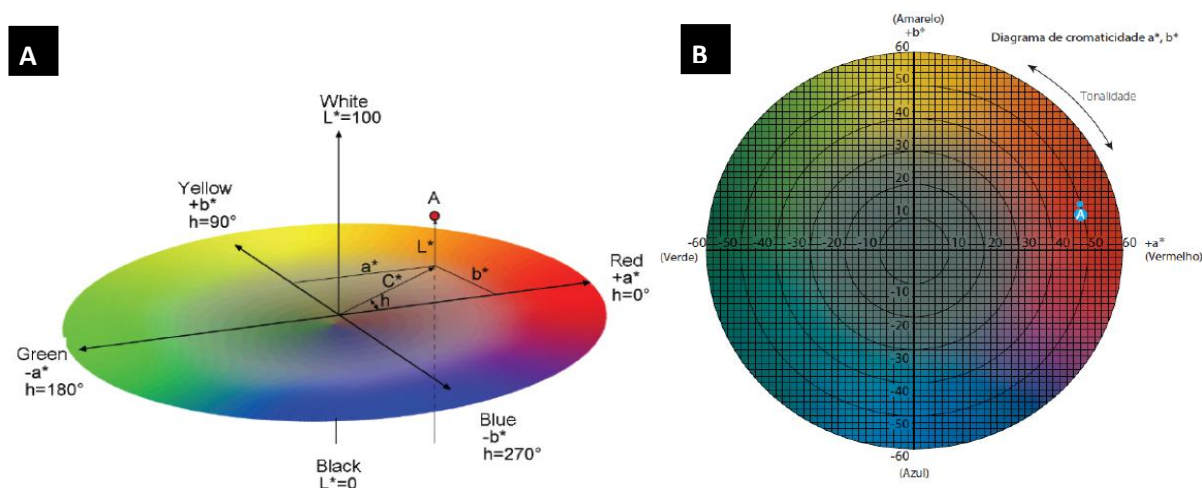


Figura 5. (A) Espaço de cor tridimensional do sistema CIE- $L^*a^*b^*$. A coordenada L^* representa a luminosidade. As coordenadas a^* e b^* representam a cromaticidade. As coordenadas C^* e h representam a saturação e o ângulo de coloração, respectivamente (Fonte: JOHANSSON, 2005). (B) Diagrama de cromaticidade a^* e b^* (Fonte: KONICA MINOLTA SENSING Inc., 1998).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

As amostras de madeira utilizadas neste estudo foram doadas pelo *World Agroforestry Center* (ICRAF), as quais foram obtidas de árvores com 13 anos de idade provenientes de um plantio com espaçamento de 3 x 3 m localizado no «*International Crops Research Institute for Semi-Arid Tropics* (ICRISAT) *Sahelian Center*», situado à 40 km do sudeste de Niamey, capital do Níger (África Ocidental), cujas coordenadas geográficas são de 13°14' N, 2°17' L e 230 m de altitude.

As amostras de madeira, livre nós ou outros defeitos aparentes, foram obtidas à partir do tronco, com o auxílio de um trado, o qual permitiu a obtenção de baguetas de 5 mm de diâmetro, no sentido medula-casca. As baguetas foram obtidas o mais próximo possível do DAP, ou seja, a 1,3 m acima do nível do solo para *Prosopis africana* e 30 cm acima do nível do solo para *Balanites aegyptiaca*. No total foram coletadas baguetas de 160 árvores de *Prosopis africana* e 80 árvores de *Balanites aegyptiaca* (Figura 6). Para *Prosopis africana*, foram coletados discos de madeira com espessura mínima de 2 cm (Figura 7). As amostras de madeira (baguetas + discos) foram então enviadas ao Brasil e encaminhadas ao Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira (LAQM) do Departamento de Produtos Florestais (DPF) do Instituto de Florestas (IF) da UFRRJ para os ensaios de densidade, de rigidez (módulo de elasticidade dinâmico, MOE_d) e de cor no sistema CIE-L*a*b*.

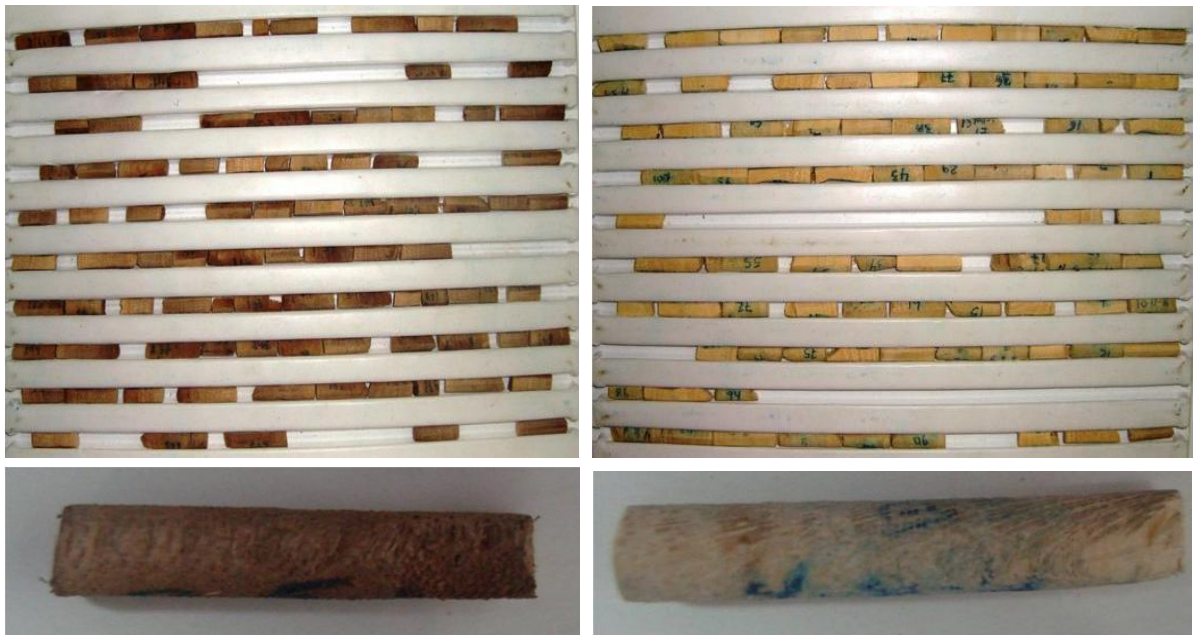


Figura 6. Baguetas de madeira (5 mm de diâmetro) de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub. e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, respectivamente.



Figura 7. Discos de madeira de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub.

A densidade aparente das baguetas foi determinada através do método de imersão em mercúrio de acordo com a norma ASTM D 2395-93 (1997), enquanto que as demais propriedades foram determinadas através de ensaios não-destrutivos, tais como descritos a seguir.

4.2 Determinação da rigidez (módulo de elasticidade dinâmico, MOEd)

O módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) foi determinado através de ensaios não-destrutivos com o auxílio do equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7 (Ultra Test GmbH, Dr. Steinkamp & Büssenschütt) disponível no Laboratório de Secagem da Madeira (DPF, IF), no sentido longitudinal (paralelo às fibras) e transversal (perpendicular às fibras). Este equipamento permitiu obter o tempo de propagação de onda ultra-sônica em microssegundos (μs) para posterior cálculo da velocidade. Para efetuar tais medições, foi necessário o posicionamento de dois transdutores acelerômetros sobre o material a ser avaliado. A onda de ultra-som foi introduzida no material por um dos transdutores e captada pelo outro transdutor, com o tempo de leitura em microssegundos (Figura 8). O MOEd foi então calculado através da seguinte equação:

$$MOEd = \frac{V^2 \times \rho}{g} \quad (1)$$

e

$$V = \frac{C}{t \times 10^{-6}} \quad (2)$$

onde, *MOEd*: módulo de elasticidade dinâmico, gf cm^{-2} ; *V*: velocidade de propagação da onda ultra-sônica, cm s^{-1} ; ρ : densidade aparente da madeira no teor de umidade de equilíbrio, g cm^{-3} ; *g*: aceleração da gravidade, $980,4 \text{ cm s}^{-2}$; *C*: comprimento da amostra, cm ; e *t*: tempo de propagação da onda ultra-sônica, μs . Para verificar a confiabilidade dos dados do MOEd obtidos para as baguetas, estes foram comparados com os resultados obtidos para os discos de *Prosopis africana*. Os discos são amostras maiores, obtidos por um método de amostragem destrutivo, entretanto apresentam maior representatividade do material. Para esta análise foram mensuradas 160 amostras de baguetas e 156 amostras de discos de *Prosopis africana* e 80 amostras de baguetas de *Balanites aegyptiaca*.

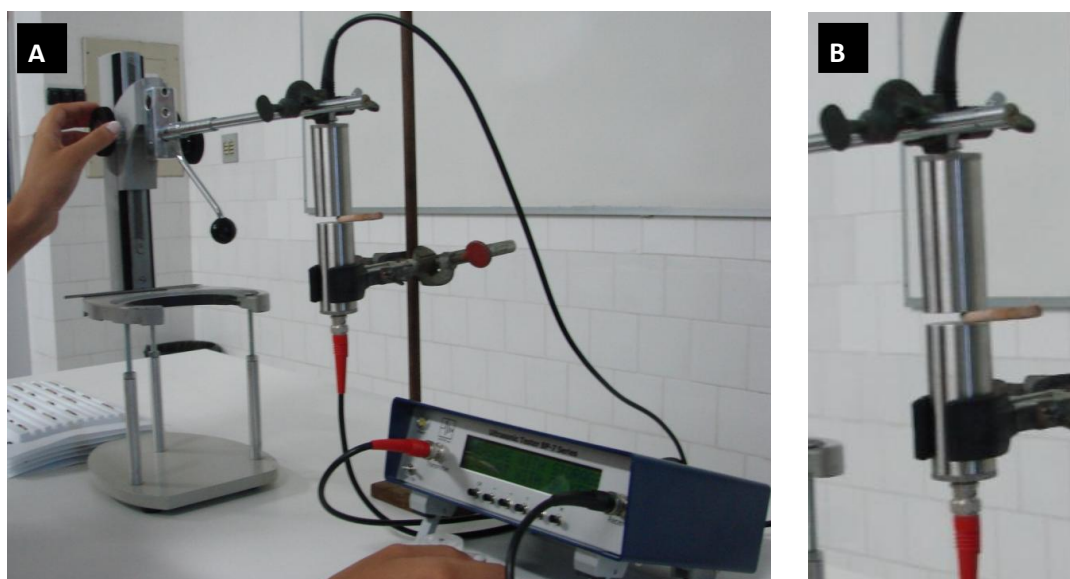


Figura 8. Equipamento Ultrasonic Tester, modelo BP-7 (Ultra Test GmbH, Dr. Steinkamp & Büssenschütt), utilizado para as medições do tempo de propagação da onda ultra-sônica em pequenas amostras de madeira (baguetas).

4.3 Determinação da cor no sistema CIE-L*a*b*

As medições de cor foram realizadas com o auxílio do espectrofotômetro portátil CM 2600d (Konica Minolta Sensing, Inc.) disponível no Departamento de Produtos Florestais (IF, UFRRJ) (Figura 9A). Este equipamento permitiu efetuar medições de cor através do contato direto entre a superfície da amostra em pontos pré-determinados e a abertura do aparelho. Para as baguetas de madeira, foi necessário adaptar uma máscara negra na abertura do sensor do espectrofotômetro devido à pequena dimensão das amostras, a qual era inferior à abertura padrão de leitura do aparelho de 3 mm (Figura 9B). Utilizou-se o iluminante D65 e ângulo de observador de 10°. Antes das medições de cor, as amostras foram lixadas com lixas de granulometria de 120 e 220.

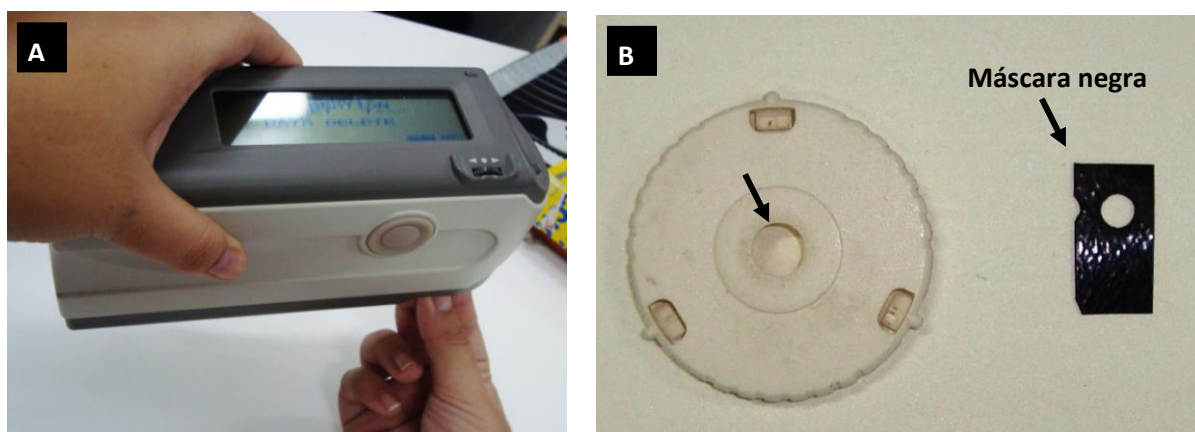


Figura 9. (A) Espectrofotômetro portátil CM 2600d (Konica Minolta Sensing, Inc.). (B) Máscara negra adaptada à abertura padrão de leitura do aparelho de 3 mm para determinação da cor das baguetas de madeira.

As coordenadas de cor L^* , a^* e b^* foram determinadas nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial de 160 amostras de baguetas de *Prosopis africana* e 80 amostras de *Balanites aegyptiaca* (Figura 10). Foram efetuadas 15 medições em cada amostra, sendo 5 medições por plano de corte.

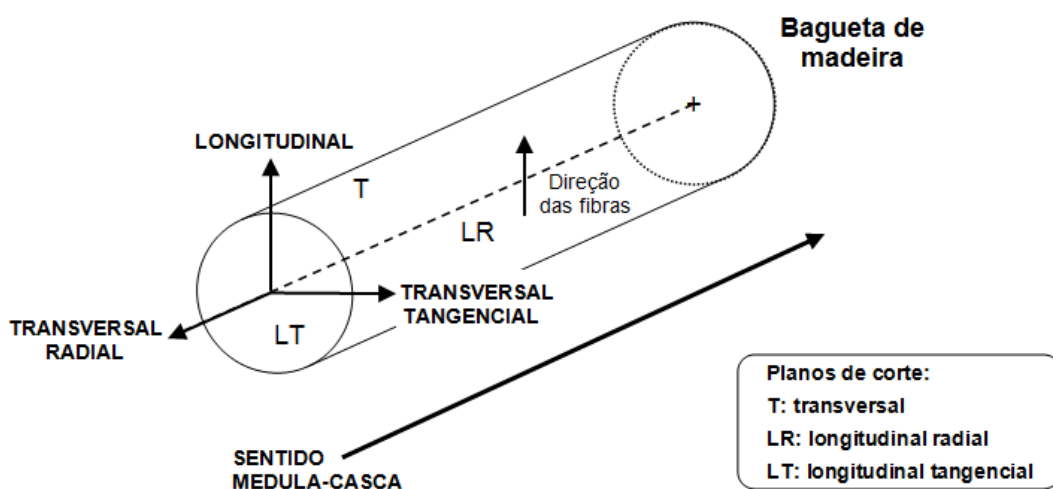


Figura 10. Direções estruturais e planos de corte nas amostras de baguetas utilizadas para determinação de cor no sistema CIE-L*a*b*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Módulo de elasticidade dinâmico

Os resultados obtidos para a densidade aparente e para o módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) das madeiras de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca* são apresentados na Tabela 1. As densidades aparentes das baguetas de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca* foram de 0,667 e 0,762 g cm⁻³, respectivamente.

Para a madeira de *Prosopis africana*, o módulo de elasticidade dinâmico das baguetas no sentido longitudinal (MOEd^{1//}), ou seja, paralelo às fibras, foi maior (8185 MPa) que o módulo de elasticidade dinâmico no sentido transversal (MOEd^{1⊥}), perpendicular às fibras (2391 MPa) (Figura 11). Os resultados obtidos para MOEd^{1//} foram inferiores ao esperado, entretanto, resultados similares foram encontrados por CARRILLO-PARRA (2007) para a madeira de *Prosopis laevigata* com valores de 8504 e 8835 MPa para o MOE estático e MOEd, respectivamente.

Para a madeira de *Balanites aegyptiaca*, os módulos de elasticidade dinâmico das baguetas nos sentidos longitudinal (MOEd^{1//}) e transversal (MOEd^{1⊥}) foram similares, apresentando valores médios de 8505 e 8467 MPa, respectivamente (Figura 11).

MATOS (1997) percebeu que quando a emissão das ondas acústicas ocorre no sentido transversal às fibras, há um espécie de barreira do diâmetro do lume, 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.

Segundo BUCUR (1988), as ondas se propagam através da parede celular. Desta forma, quanto maior o comprimento da fibra, mais contínuo será o caminho a ser percorrido pela parede, propiciando maior velocidade e um menor tempo de propagação. Como a velocidade é proporcional ao MOEd, quanto maior a velocidade, maior o MOEd.

Comparando o MOEd^{1//} e o MOEd^{1⊥} das madeiras de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca*, observou-se diferentes comportamentos entre as espécies, o qual poderia ser explicado através da determinação do comprimento de fibras, entretanto, isso não pode ser afirmado neste estudo, sendo necessários estudos anatômicos complementares.

A Figura 12 apresenta a correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico das baguetas (MOEd^{1//}) e o módulo de elasticidade dinâmico dos discos (MOEd²) no sentido longitudinal para a madeira de *Prosopis africana*. A análise mostrou uma correlação altamente significativa, à 99% de probabilidade, entre as variáveis ($r = 0,2401$), entretanto o coeficiente de Pearson (r) indica uma fraca correlação.

Tabela 1. Resultados obtidos para a estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) da densidade aparente e do módulo de elasticidade dinâmico das madeiras de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub. e *Balanites aegyptiaca* (L) Delile.

| Variáveis | <i>Prosopis africana</i> | | | <i>Balanites aegyptiaca</i> | | |
|----------------------------|--------------------------|---------|---------|-----------------------------|---------|---------|
| | Média | DP | CV | Média | DP | CV |
| DENS (g cm ⁻³) | 0,667 | (0,056) | [8,40] | 0,762 | (0,060) | [7,84] |
| MOEd ^{1//} (MPa) | 8185 | (1567) | [19,14] | 8505 | (1292) | [15,19] |
| MOEd ^{1⊥} (MPa) | 2391 | (295) | [12,33] | 8467 | (1163) | [13,73] |
| MOEd ² (MPa) | 9494 | (1736) | [18,28] | - | - | - |

DENS: densidade aparente à 12% de umidade. MOEd^{1//}: módulo de elasticidade dinâmico das baguetas no sentido longitudinal. MOEd^{1⊥}: módulo de elasticidade dinâmico das baguetas no sentido transversal. MOEd²: módulo de elasticidade dinâmico dos discos no sentido longitudinal. DP: desvio padrão. CV: coeficiente de variação.

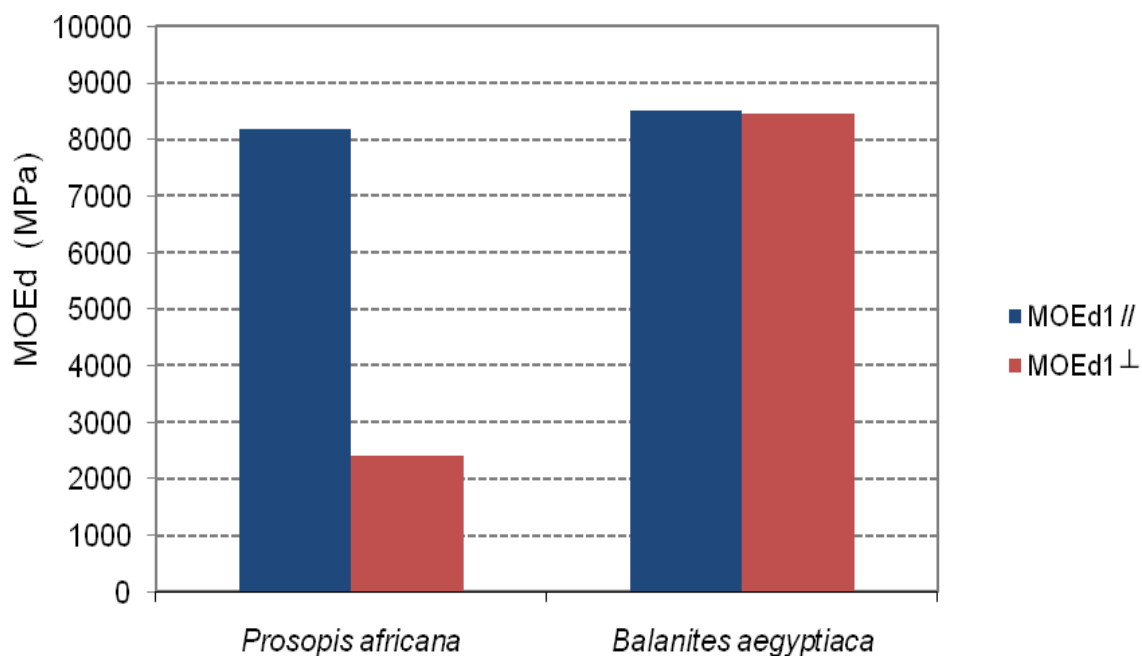


Figura 11. Módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) das baguetas das madeiras de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub e *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile, nos sentidos longitudinal (MOEd^{1//}) e transversal (MOEd^{1⊥}).

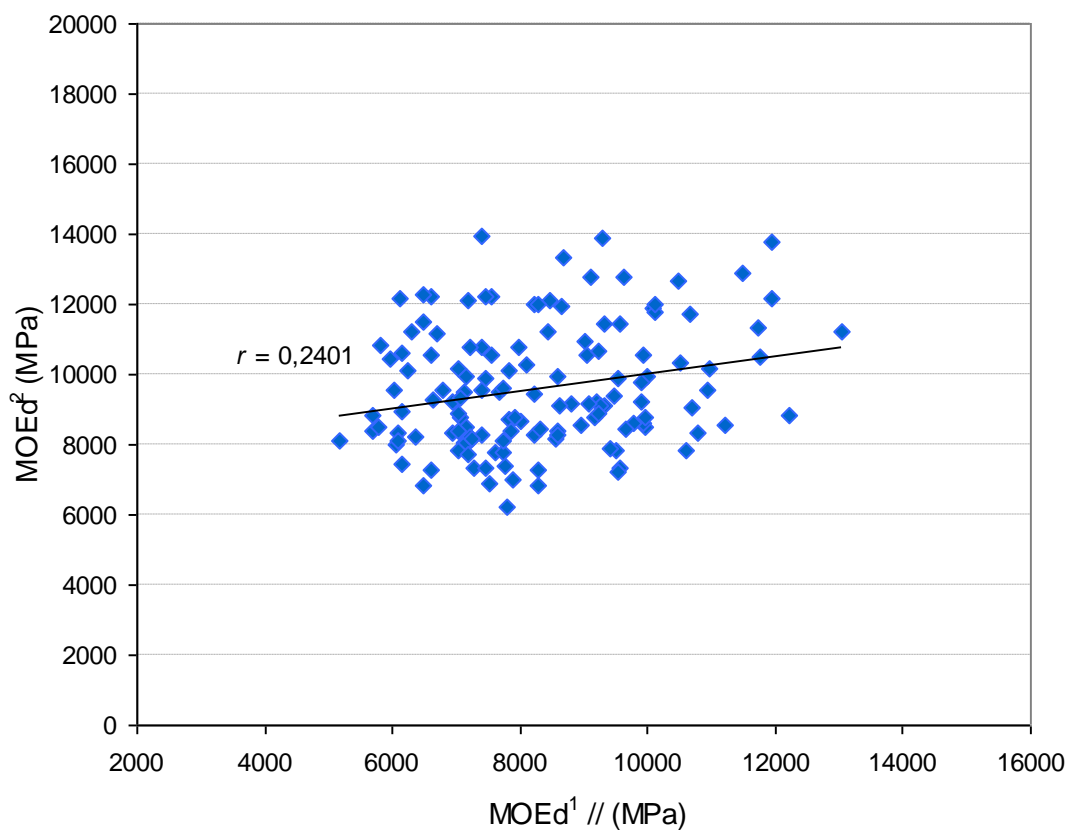


Figura 12. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico das baguetas (MOEd^{1//}) e dos discos (MOEd²), no sentido longitudinal, para a madeira de *Prosopis africana* (Guill. & Perr.) Taub.

5.2 Colorimetria

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as coordenadas de cor (L*, a*, e b*) nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial para as espécies de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca*.

Para as baguetas de *Prosopis africana*, as coordenadas de cor L*, a* e b* na seção transversal apresentaram valores médios de 55,78, 6,48 e 15,82, respectivamente, caracterizando a madeira com uma cor marrom. Para as seções longitudinal radial e longitudinal tangencial, as coordenadas L*, a* e b* apresentaram valores médios de 64,24, 6,71 e 18,29 e 67,25, 6,86 e 20,16, respectivamente (Tabela 2). Na seção transversal, a madeira é mais escura (menor L*) e apresenta menos pigmento amarelo (menor b*) que nas seções longitudinais, enquanto que na seção radial, a madeira é mais escura e menos amarelada que na seção tangencial (Figura 13A). Outros autores também observaram diferenças de cor entre os três planos de corte. BECKWITH (1979) observou que a madeira serrada apresentou uma cor indistinguível nas seções radial e tangencial, enquanto que na seção transversal, a cor da madeira foi significativamente diferente das seções longitudinais. RIBEIRO (2009) também observou diferenças significativas de cor entre as seções radial e tangencial para a madeira de *Eucalyptus grandis*. Segundo MADY (2000), as características anatômicas tais como anéis de crescimento, vasos, raios e tipos de parênquima axial podem afetar a cor da madeira, o que explicaria as diferenças de cor entre os três planos de corte.

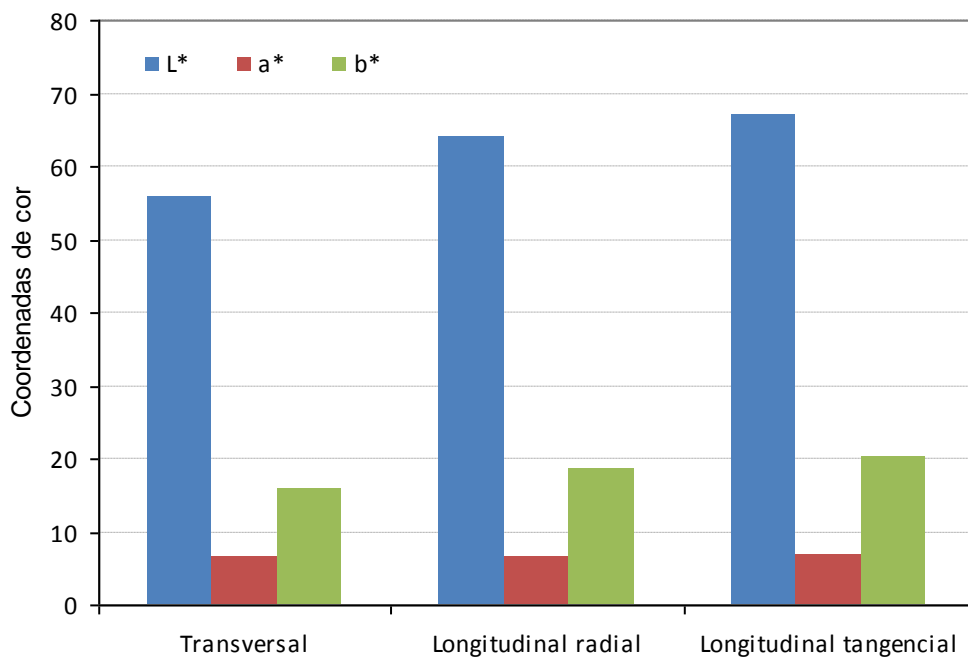
Para as baguetas de *Balanites aegyptiaca*, as coordenadas de cor L*, a* e b* na seção transversal apresentaram valores médios de 76,37, 3,29 e 25,05, respectivamente, caracterizando a madeira com uma cor branca-acinzentada. Nas seções radial e tangencial, foram obtidos valores médios de L*, a* e b* de 80,41, 2,37 e 24,36 e 79,74, 2,87 e 22,01, respectivamente (Figura 13B). Estes resultados indicam que, na seção transversal, a madeira de *Balanites aegyptiaca* é mais escura (menor L*) e amarelada (maior b*).

Tabela 2. Resultados obtidos para a estatística descritiva (média, desvio padrão e coeficiente de variação) das coordenadas de cor no sistema CIE-L*a*b* das madeiras de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub. e *Balanites aegyptiaca* (L) Delile nos planos transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial.

| Espécie | Seção | Coordenadas de cor | | |
|-----------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | | L* | a* | b* |
| <i>Prosopis africana</i> | Transversal | 55,78 (3,50) [6,27] | 6,48 (1,00) [15,43] | 15,82 (1,77) [11,19] |
| | Longitudinal radial | 64,24 (3,05) [4,75] | 6,71 (0,89) [13,26] | 18,69 (1,79) [9,58] |
| | Longitudinal tangencial | 67,25 (4,80) [7,14] | 6,86 (1,21) [17,64] | 20,16 (1,59) [7,89] |
| <i>Balanites aegyptiaca</i> | Transversal | 76,37 (2,83) [3,71] | 3,29 (1,05) [31,91] | 25,05 (2,68) [10,70] |
| | Longitudinal radial | 80,41 (1,88) [2,34] | 2,37 (0,78) [32,91] | 24,36 (2,09) [8,58] |
| | Longitudinal tangencial | 79,74 (2,15) [2,70] | 2,87 (0,81) [28,22] | 22,01 (1,89) [8,59] |

L*: luminosidade variando entre zero (preto) e 100 (branco). a*: variável cromática representando o eixo verde-vermelho. b*: variável cromática representando o eixo amarelo-azul. Os valores entre parênteses referem-se ao desvio padrão e os valores em colchetes ao coeficiente de variação.

A: *Prosopis africana*



B: *Balanites aegyptiaca*

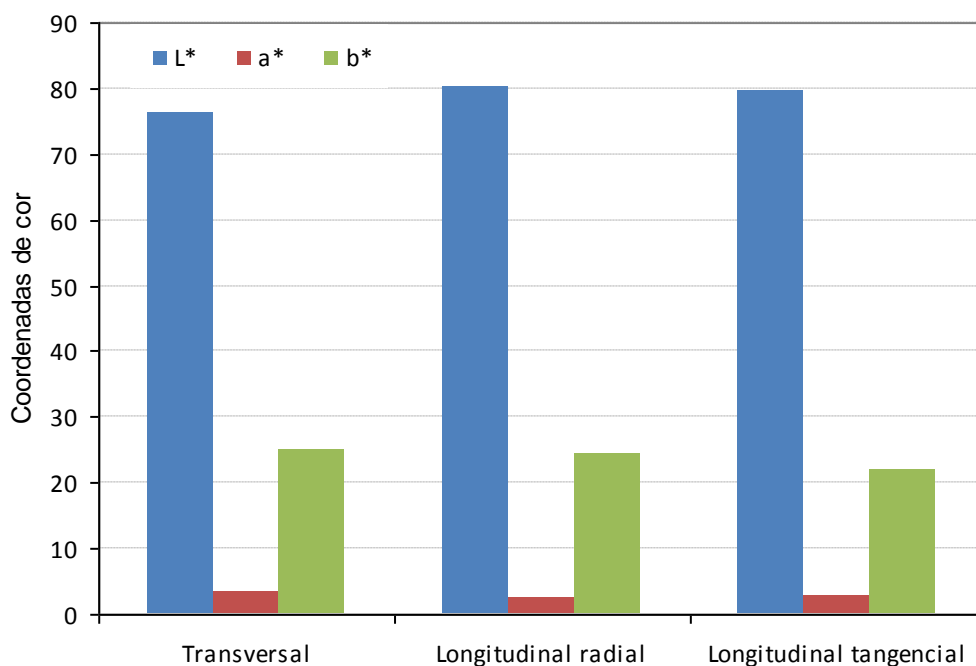


Figura 13. Coordenadas de cor no sistema CIE-L*a*b* obtidas nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial. (A) Madeira de *Prosopis africana* (Guill & Perr) Taub. (B) Madeira de *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile.

5.3 Correlações entre densidade, módulo de elasticidade dinâmico e coordenadas de cor

A Tabela 3 apresenta as correlações de Pearson entre a densidade, os módulos de elasticidade ($MOEd^{1//}$ e $MOEd^{1\perp}$) e as coordenadas de cor (L^* , a^* e b^*) das baguetas de madeira da espécie de *Prosopis africana*.

Para as baguetas da madeira de *Prosopis africana*, as análises indicaram correlações significativas entre: (a) DENS x MOEd^l//: uma correlação positiva significativa ($r = 0,2371$) foi observada entre a densidade e o módulo de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal; (b) DENS x MOEd^l⊥: uma correlação positiva e altamente significativa ($r = 0,3787$) foi observada entre a densidade e o módulo de elasticidade dinâmico no sentido transversal (Figura 14). Não foram observadas correlações significativas entre as propriedades estudadas (densidade e módulo de elasticidade dinâmico) e as coordenadas de cor (L^* , a^* , b^*) (Tabela 3).

Para as coordenadas de cor da madeira de *Prosopis africana*, foram observadas as seguintes correlações na seção transversal: (a) L^* -trans x b^* -trans: uma correlação positiva significativa ($r = 0,3093$) foi observada entre as coordenada L^* (Luminosidade) e b^* (amarelo) na seção transversal, indicando que madeiras mais claras (maior L^*) apresentam mais pigmento amarelo (maior b^*); e (b) a^* -trans x b^* -trans: uma correlação positiva significativa ($r = 0,6209$) também foi observada entre as variáveis cromáticas a^* (vermelho) e b^* (amarelo) na seção transversal (Figura 15).

O mesmo comportamento foi observado na seção radial, ou seja, foram encontradas as seguintes correlações: (a) L^* -radial x b^* -radial (correlação positiva: $r = 0,2911$) e (b) a^* -radial x b^* -radial (correlação positiva: $r = 0,5148$). As correlações entre as coordenadas de cor, nas seções transversal e radial, indicam que as madeiras mais claras (maior L^*) apresentam mais pigmento amarelo (menor b^*) e que o pigmento amarelo aumenta com o pigmento vermelho (maior a^*). Entretanto, na seção tangencial, as análises indicaram um comportamento contraditório, ou seja, as variáveis L^* -tang x a^* -tang apresentaram uma correlação negativa ($r = -0,6033$), enquanto que as variáveis L^* -tang x b^* -tang apresentaram uma correlação positiva ($r = 0,4350$), indicando que as madeiras mais claras (maior L^*) apresentam menos pigmento vermelho (a^*) e mais pigmento amarelo. Por outro lado, as variáveis a^* -tang x b^* -tang apresentaram uma correlação positiva significativa ($r = 0,3146$), indicando que as madeiras com mais pigmento vermelho (a^*) apresentam também mais pigmento amarelo (b^*).

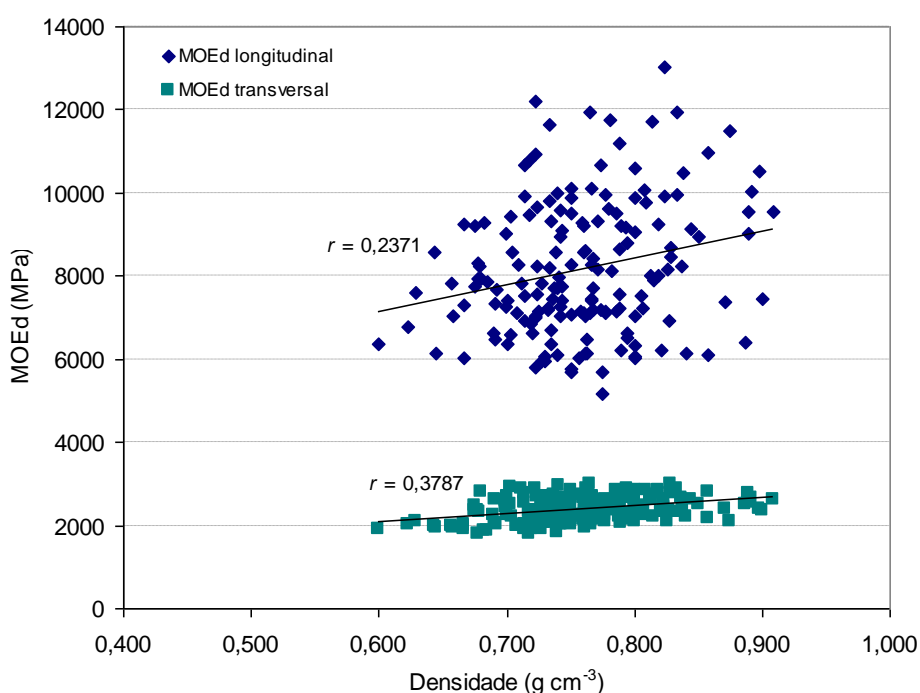


Figura 14. Correlação entre o módulo de elasticidade dinâmico, nos sentidos longitudinal e transversal, e a densidade da madeira de *Prosopis africana* (Guill & Perr.) Taub.

Tabela 3. Coeficientes de correlação de Pearson entre a densidade, o módulo de elasticidade dinâmico e as coordenadas de cor (L*, a* e b*) da madeira de *Prosopis africana* (Guill & Perr.) Taub.

| TRANSVERSAL | | | | | | |
|-------------------------|----------|---------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| | DENS | MOEd ^{1//} | MOEd ^{1⊥} | L*-trans | a*-trans | b*-trans |
| MOEd ^{1//} | 0,2371* | 1 | | | | |
| MOEd ^{1⊥} | 0,3787** | 0,1456 | 1 | | | |
| L*-trans | -0,1263 | -0,0827 | -0,1584 | 1 | | |
| a*-trans | 0,0089 | 0,1491 | 0,2002 | -0,1022 | 1 | |
| b*-trans | -0,0049 | 0,1095 | 0,0013 | 0,3093** | 0,6209** | 1 |
| LONGITUDINAL RADIAL | | | | | | |
| | DENS | MOEd ^{1//} | MOEd ^{1⊥} | L*-radial | a*-radial | b*-radial |
| L*-radial | -0,0348 | 0,0940 | 0,0530 | 1 | | |
| a*-radial | 0,0805 | 0,0733 | 0,1724 | -0,0612 | 1 | |
| b*-radial | 0,0649 | 0,0090 | 0,0633 | 0,2911* | 0,5148** | 1 |
| LONGITUDINAL TANGENCIAL | | | | | | |
| | DENS | MOEd ^{1//} | MOEd ^{1⊥} | L*-tang | a*-tang | b*-tang |
| L*-tang | 0,0697 | 0,0347 | 0,0840 | 1 | | |
| a*-tang | 0,0058 | 0,0252 | -0,0146 | -0,6033** | 1 | |
| b*-tang | 0,0806 | 0,0545 | -0,1400 | 0,4350** | 0,3146** | 1 |

DENS: densidade aparente à 12% de umidade. MOEd^{1//}: módulo de elasticidade dinâmico das baguetas de madeira no sentido longitudinal (paralelo às fibras). MOEd^{1⊥}: módulo de elasticidade dinâmico das baguetas de madeira no sentido transversal (perpendicular às fibras). L*-trans, L*-radial e L*-tang: coordenada L* (luminosidade) nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente. a*-trans, a*-radial e a*-tang: coordenada a* (eixo verde-vermelho) nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente. b*-trans, b*-radial e b*-tang: coordenada b* (eixo amarelo-azul) nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente.

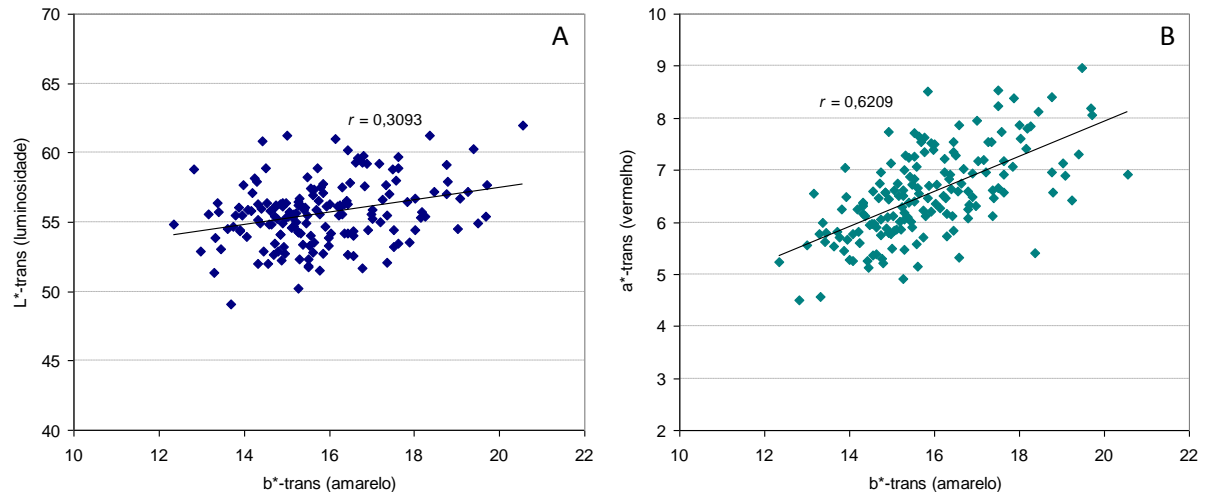


Figura 15. Correlações entre as coordenadas de cor (L^* , a^* e b^*), na seção transversal, para a madeira de *Prosopis africana* (Guill & Perr.) Taub.

A Tabela 4 apresenta as correlações de Pearson entre a densidade, os módulos de elasticidade ($MOEd^{1//}$ e $MOEd^{1\perp}$) e as coordenadas de cor (L^* , a^* e b^*) das baguetas de madeira da espécie de *Balanites aegyptiaca*.

Para as baguetas da madeira de *Balanites aegyptiaca*, as análises indicaram uma correlação positiva significativa ($r = 0,3510$) entre a densidade e o módulo de elasticidade dinâmico no sentido transversal ($MOEd^{1\perp}$).

Na seção transversal, a densidade apresentou correlações significativas com as coordenadas L^* -trans, a^* -trans e b^* -trans. A densidade apresentou uma correlação negativa significativa com L^* -trans ($r = -0,2425$) (Figura 16A), enquanto que para as coordenadas a^* -trans e b^* -trans, as correlações foram positivas ($r = 0,2946$ e $r = 0,3474$, respectivamente) (Figura 16B-C). Isso indica que as madeiras mais densas são mais escuras (menor valor L^*), e apresentam mais pigmento vermelho (a^*) e amarelo (b^*).

Na seção radial, a densidade apresentou uma correlação positiva significativa somente com b^* -radial ($r = 0,2972$). Não foram observadas correlações entre a densidade e as variáveis de cor na seção tangencial.

Para as coordenadas de cor da madeira de *Balanites aegyptiaca*, foram observadas as seguintes correlações na seção transversal: (a) L^* -trans x a^* -trans: uma correlação negativa significativa ($r = -0,5271$) foi observada entre as coordenadas L^* e a^* ; (b) L^* -trans x b^* -trans: uma correlação negativa significativa ($r = -0,2419$) foi observada entre as coordenadas L^* e b^* ; (c) a^* -trans x b^* -trans: uma correlação positiva significativa ($r = 0,6849$) foi observada entre as variáveis cromáticas a^* e b^* .

Na seção radial, foi observado o mesmo comportamento, ou seja, foram encontradas correlações significativas entre: (a) L^* -radial x a^* -radial (correlação negativa: $r = -0,4637$); (b) L^* -radial. x b^* -radial (correlação negativa: $r = -0,4676$); e (c) a^* -radial x b^* -radial (correlação positiva: $r = 0,7656$). Na seção tangencial, as análises indicaram correlações significativas somente entre L^* -tang x a^* -tang (correlação negativa: $r = -0,4081$) e a^* -tang x b^* -tang (correlação positiva: $r = 0,7089$). Estes resultados indicam que a luminosidade (L^*) é inversamente proporcional às variáveis cromáticas (a^* e b^*), ou seja, as madeiras mais escuras (menor L^*) de *Balanites aegyptiaca* apresentam mais pigmento vermelho (a^*) e amarelo (b^*).

Tabela 4. Coeficientes de correlação de Pearson entre a densidade, o módulo de elasticidade dinâmico e as coordenadas de cor (L*, a* e b*) da madeira de *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile.

| TRANSVERSAL | | | | | | |
|-------------------------|----------|---------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| | DENS | MOEd ^{1//} | MOEd ^{1⊥} | L*-trans | a*-trans | b*-trans |
| MOEd ^{1//} | 0,2099 | 1 | | | | |
| MOEd ^{1⊥} | 0,3510** | -0,0227 | 1 | | | |
| L*-trans | -0,2425* | -0,3007* | -0,0319 | 1 | | |
| a*-trans | 0,2946* | 0,2031 | 0,1068 | -0,5271** | 1 | |
| b*-trans | 0,3474** | 0,2186 | 0,0304 | -0,2419* | 0,6849** | 1 |
| LONGITUDINAL RADIAL | | | | | | |
| | DENS | MOEd ^{1//} | MOEd ^{1⊥} | L*-radial | a*-radial | b*-radial |
| L*-radial | -0,2169 | -0,1819 | -0,0032 | 1 | | |
| a*-radial | 0,1561 | -0,0709 | 0,1515 | -0,4637** | 1 | |
| b*-radial | 0,2972* | 0,2209 | 0,0360 | -0,4676** | 0,7656** | 1 |
| LONGITUDINAL TANGENCIAL | | | | | | |
| | DENS | MOEd ^{1//} | MOEd ^{1⊥} | L*-tang | a*-tang | b*-tang |
| L*-tang | 0,0000 | -0,3504** | -0,0629 | 1 | | |
| a*-tang | 0,1373 | 0,3962** | 0,1327 | -0,4081** | 1 | |
| b*-tang | 0,1554 | 0,1447 | 0,17188 | -0,1977 | 0,7089** | 1 |

DENS: densidade aparente à 12% de umidade. MOEd^{1//}: módulo de elasticidade dinâmico das baguetas de madeira no sentido longitudinal (paralelo às fibras). MOEd^{1⊥}: módulo de elasticidade dinâmico das baguetas de madeira no sentido transversal (perpendicular às fibras). L*-trans, L*-radial e L*-tang: coordenada L* (luminosidade) nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente. a*-trans, a*-radial e a*-tang: coordenada a* (eixo verde-vermelho) nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente. b*-trans, b*-radial e b*-tang: coordenada b* (eixo amarelo-azul) nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial, respectivamente.

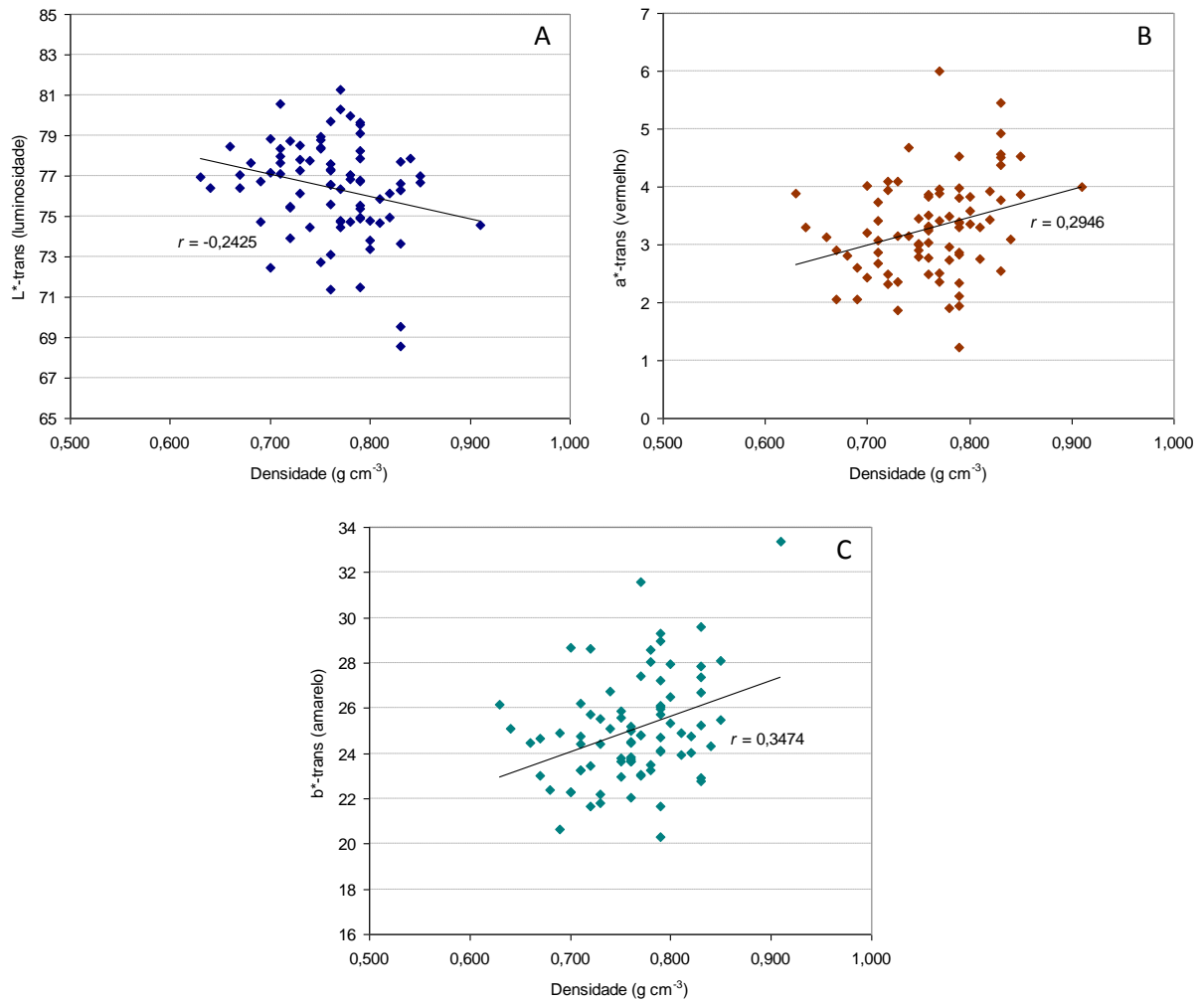


Figura 16. Correlações entre as coordenadas de cor (L*, a* e b*), na seção transversal, e a densidade da madeira de *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile.

6. CONCLUSÕES

Através do estudo da determinação das propriedades tecnológica das madeiras de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca*, através de ensaios não-destrutivos, pôde-se concluir que:

1. A madeira de *Prosopis africana* apresentou módulos de elasticidade dinâmico nos sentidos longitudinal e transversal de 8185 e 2391 MPa, respectivamente, enquanto que, a madeira de *Balanites aegyptiaca* apresentou módulos de elasticidade dinâmico nos sentidos longitudinal e transversal de 8505 e 8467 MPa, respectivamente;

2. Os valores obtidos para os módulos de elasticidade dinâmico no sentido longitudinal foram inferiores aos valores esperados para estas espécies, as quais apresentaram densidades de 0,667 g cm⁻³ (*Prosopis africana*) e 0,762 g cm⁻³ (*Balanites aegyptiaca*);

3. Para *Prosopis africana*, a madeira, de cor marrom, é mais escura (menor L*) e apresenta menos pigmento amarelo (menor b*) na seção transversal, quando comparada às seções radial e tangencial, enquanto que na seção radial, a madeira mostrou ser mais escura e menos amarelada que na seção tangencial;

4. Para *Balanites aegyptiaca*, a madeira, de cor branca-acinzentada, apresentou uma cor mais escura (menor L*) e mais amarelada (maior b*) na seção transversal;

5. Para *Prosopis africana*, as análises de correlação indicaram significância entre o módulo de elasticidade dinâmico (nos sentidos longitudinal e transversal) e a densidade da madeira. Entretanto, não foram observadas correlações significativas entre as propriedades (densidade e módulo de elasticidade dinâmico) e as coordenadas de cor (L^* , a^* , b^*);

6. Para *Balanites aegyptiaca*, as madeiras mais densas apresentaram cor mais escura (menor valor L^*) e mais pigmento vermelho (a^*) e amarelo (b^*).

7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se a realização de estudos anatômicos visando determinar a influência da estrutura da madeira nas propriedades tecnológicas das madeiras de *Prosopis africana* e *Balanites aegyptiaca*, tais como:

- ◆ Efeito da anatomia (anéis de crescimento, proporção de fibras, vasos e parênquima axial) na variação da cor da madeira nas seções transversal, longitudinal radial e longitudinal tangencial;
- ◆ Efeito do comprimento e espessura de parede das fibras na velocidade de propagação de ondas ultrassônicas e conseqüentemente no módulo de elasticidade dinâmico da madeira.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, R. L. F.; MAIA, L. C.; SALCEDO, I. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e fósforo no desenvolvimento da Algaroba [*Prosopis juliflora* (SW) DC]. **R. Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 589-598, 2004.

AKAAIMO, D. I.; RAJI, A. O. Some physical and engineering properties of *Prosopis Africana* seed. **Biosyst. Eng.**, v. 95, n. 2, p. 197-205, 2006.

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

BEKTA, P.; NIEMZ, P. Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood. **Holzforschung**, v. 57, n. 5, p. 539-546, 2003.

BECKWITH, J. R. Theory and practice of hardwood colour measurement. **Wood Sci.**, v. 11, n. 3, p. 169-175, 1979.

BODIG, J. The process of NDE research for wood and wood composites. In: 12th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD. **Proceedings...** Sopron: University of Western Hungary, 2000. Disponível em <http://www.ultrasonic.de/article/v06n03/bodig/bodig.htm> Acessado em 23/03/2010.

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

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. **Acoustic of wood**. Institut National de la Recherche Agronomique, Centre de Recherches Forestières, Nancy, 283 p., 1995.

BURKART, A. A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). **Journal of Arnold Arboretum**, v. 57, p. 219-249, 1976.

CALIL JÚNIOR, C.; MINÁ, A. J. S. Vibração transversal: um método eficiente para classificação de peças estruturais de madeira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 335-338, 2003.

CAMARGOS, J. A. A. **Colorimetria quantitativa aplicada na elaboração de uma tabela de cores para madeiras tropicais**. 1999. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília.

CARRILLO-PARRA, A. **Technological investigation of *Prosopis laevigata* wood from Northeast Mexico**. 2007, 137 p. Tese (Doctor of philosophy) – University of Göttingen, Göttingen.

CHOTHANI, D. L.; VAGHASIYA H. U. A review on *Balanites aegyptiaca* Del (desert date): phytochemical constituents, traditional uses, and pharmacological activity. **Phcog. Rev.**, v. 5, p. 55-62, 2011.

FELKER, P. Mesquite - An all-purpose leguminous arid-land tree. In: RITCHIE, G. A. **New Agricultural Crops Symp**. Colorado: Westview Press. American Association for the Advancement of Science Symposium. v. 38, p. 88-132, 1979.

GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M.; LATORRACA, J. V. F.; MATOS, J. L. M.; SANTOS, W. A.; SILVA, R. F. M. Nondestructive evaluation of heat-treated *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden wood using stress wave method. **Wood Sci. Technol.**, 2011. Doi: 10.1007/s00226-010-0387-6.

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

GONÇALEZ, J. C.; JANIN, G.; SANTORO, A. C. S.; COSTA, A. F.; VALLE, A. T. Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 20, n. 72, p. 47-58, 2001a.

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

GORNIAC, E.; MATOS, J. L. M. Métodos não destrutivos para determinação e avaliação de propriedades da madeira. In: VII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA EM ESTRUTURA DE MADEIRA. **Anais...** São Carlos, 2000.

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

HALL, J. B.; WALKER, D. H. **Balanites aegyptiaca a monograph**. Bangor: School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, 1991.

HERZIG, L. **Évaluation du module d'Young de bois d'épinette par méthode ultrasonore sur carottes de sondage**. 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências da Madeira) – Département des sciences du bois, Université Laval, Québec.

ILLIC, J. Dynamic MOE of 55 species using small wood beams. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 61, p. 167-172, 2003.

JAMES, W. L. Effect of temperature and moisture content on internal friction and speed of sound in Douglas-fir. **Forest Products Journal**, Madison, v. 11, n. 9, p. 383-390, 1961.

JOHANSSON, D. **Heat treatment of solid wood: effects on absorption, strength and colour**. 2005. 142 f. Tese (Division of Wood Physics) – Lulea University of Technology, Sweden.

KAUL, R. N.; JAIN M. B. Growth attributes: their relation to fuel yield in *Prosopis cineraria* Linn. McBride (*P. spicigera* Linn.). **Commonwealth For. Rev.**, v. 46, p. 155-158, 1967.

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

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

MANTILLA CARRASCO, E. V.; AZEVEDO JÚNIOR, A. P. Avaliação não-destrutiva de propriedades mecânicas de madeiras através de ultra-som – fundamentos físicos e resultados experimentais. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 178-191, 2003.

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

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

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

OLIVEIRA, F. G. R. **Estudo de propriedades mecânicas de dicotiledôneas por meio de ensaios não destrutivos utilizando equipamento de ultra-som**. 2001. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

ONUDI. *Balanites aegyptiaca*: possibilidades oferecidas por uma matéria primeira inutilizada na agro-indústria, 1984. 99 p.

PASIECZNIK, N. M.; FELKER P.; HARRIS, P. J. C.; HARSH, L. N.; CRUZ, G.; TEWARI, J. C.; CADORET, K.; MALDONADO, L. J. **The *Prosopis juliflora* and *Prosopis pallida* complex: a monograph**. Coventry: Henry Doubleday Research Association (HDRA), 2001. 172 p.

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.

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

ROSS, R. J.; BRASHAW, B. K.; PELLERIN, R. F. Nondestructive evaluation of wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 48, n. 1, p. 14-19, 1998.

ROSS, R. J.; BRASHAW, B. K.; WANG, X.; WHITE, R. H.; PELLERIN, R. F. **Wood and timber condition assessment manual**. Madison: Forest Products Society, 2004. 74 p.

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

SILVA, J. O.; PASTORE, T. C. M.; PASTORE, Jr. F. Resistência ao intemperismo artificial de cinco madeiras tropicais e de dois produtos de acabamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 17-23, 2007.

SOTELO MONTES, C.; VIDAURRE, H.; WEBER, J. C. Variation in stem-growth and branchwood traits among provenances of *Calycophyllum spruceanum* Benth. from the Peruvian Amazon. **New Forests**, v. 26, p. 1-16, 2003.

SOTELO MONTES, C.; BEAULIEU, J.; HERNÁNDEZ, R. E.; WEBER, J. C. Genetic variation and correlations between growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* Benth. at an early age in the Peruvian Amazon. **Silvae Genetica**, v. 55, p. 217-228, 2006.

SOTELO MONTES, C.; BEAULIEU, J.; HERNÁNDEZ, R. E. Genetic variation in wood mechanical properties of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. **Wood and Fiber Science**, v. 39, p. 578-590, 2007a.

SOTELO MONTES, C.; BEAULIEU, J.; HERNÁNDEZ, R. E. Genetic variation in wood shrinkage, and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 37, p. 966-976, 2007b.

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.; WEBER, J.C. Genetic variation, clines and correlations in tree growth, wood density and survival of *Prosopis africana* from Burkina Faso and Niger. **Annals of Forest Science**, v. 66, p. 713, 2009.

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.

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

TARGA, L. A.; BALLARIN, A. W.; BIAGGIONI, M. A. M. Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não destrutivo de vibração transversal. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 291-299, 2005.

TCHOUNDJEU, Z.; WEBER, J.; GUARINO, L. Germplasm collections of endangered agroforestry tree species: the case of *Prosopis africana* in the semi-arid lowlands of West Africa. **Agroforestry Syst.**, v. 39, p. 91-100, 1997.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. Nova York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

WEBER, J. C.; LARWANOU, M.; ABASSE, T. A.; KALINGANIRE, A. Growth and survival of *Prosopis africana* provenances tested in Niger and related to rainfall gradients in the West African Sahel. **Forest Ecology and Management**, v. 256, p. 585-592, 2008.

WEBER, J. C.; SOTELO MONTES, C. Correlations and clines in tree growth and wood density of *Balanites aegyptiaca* (L.) Delile provenances in Niger. **New Forests**, v. 39, p. 39-49, 2010.

YANG, J.-L.; FORTIN, Y. Evaluating strength properties of *Pinus radiata* from ultrasonic measurements on increment cores. **Holzforschung**, v. 55, n. 6, p. 606-610, 2001.