

PROPRIEDADES FÍSICAS E COLORIMÉTRICAS DA MADEIRA DE ESPÉCIES AMAZÔNICAS

PHYSICAL AND COLORIMETRIC PROPERTIES OF WOOD FROM AMAZON SPECIES TREE)

Clívia Suelem Feitosa de Araújo¹, Gilliane Sara da Silva Moraes², Juliana Ramos de Souza Diniz³,
Thiago de Paula Protásio⁴, Selma Lopes Goulart⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, Pará, Brasil – cliviasuelem.1@gmail.com,
gillianesara@gmail.com, juliana.rdinizz@gmail.com, depaulaprotasio@gmail.com &
lopesgoulart@yahoo.com.br

RESUMO

As espécies arbóreas da floresta tropical amazônica são ainda pouco conhecidas devido à ausência de estudos, o que dificulta a aplicação em determinadas condições de uso. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo determinar as propriedades tecnológicas das madeiras de espécies florestais amazônicas. Foram analisadas 17 espécies, determinando as propriedades físicas e os parâmetros colorimétricos da madeira (L^* , a^* , b^* , C^* e h^*). Os valores de densidade básica apresentaram variações significativas, variando de 0,29 g.cm⁻³ a 0,79 g.cm⁻³. Para o coeficiente anisotrópico, apenas 11,76% das espécies foram classificadas como excelentes. Foram observadas diferenças significativas para a maioria das espécies, indicando efeito de lenho para a contração tangencial total, contração radial total e contração tangencial parcial. Foi possível observar que não há efeito de interação do lenho para os valores de densidade e coeficiente anisotrópico. As análises estatísticas mostraram diferenças significativas para os parâmetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C^* e h^*) da madeira, evidenciando sua eficiência no agrupamento das 17 espécies florestais. A coordenada b^* é a principal responsável pelas variações de cores entre as espécies. A distinção de cores entre espécies analisadas permitiu a organização em seis grupos de cores. As análises de correlação entre a cor, densidade aparente e densidade básica demonstraram que as madeiras mais densas são mais escuras e apresentam mais pigmento vermelho (a^*). As análises estatísticas indicaram que as características avaliadas são eficientes para o agrupamento e identificação do potencial de uso das madeiras. A colorimetria pode ser uma importante análise para auxiliar no controle da qualidade da madeira.

PALAVRAS-CHAVE: Densidade da madeira, Efeito do lenho, Floresta tropical, Parâmetros colorimétricos.

ABSTRACT

The arboreal species of the Amazon rainforest are still poorly known due to the lack of studies, which makes their application in certain conditions of use difficult. In this context, the present work aimed to determine the technological properties of wood from Amazonian forest species. Seventeen species were analyzed, determining the physical properties and colorimetric parameters of the wood (L^* , a^* , b^* , C^* and h^*). Basic density values showed significant variations, ranging from 0.29 g.cm⁻³ to 0.79 g.cm⁻³. For the anisotropic coefficient, only 11.76% of the species were classified as excellent. Significant differences were observed for most species, indicating wood effect for total tangential contraction, total radial contraction and partial tangential contraction. It was possible to observe that there is no wood interaction effect for the values of density and anisotropic coefficient. The statistical analyzes showed significant differences for the colorimetric parameters (L^* , a^* , b^* , C^* and h^*) of the wood, evidencing its efficiency in the grouping of the 17 forest species. The b^* coordinate is primarily responsible for color variations between species. The color distinction between analyzed species allowed the organization into six color groups. Correlation analyzes between color, apparent density and basic density showed that the denser woods are darker and have more red pigment (a^*). Statistical analyzes indicated that the characteristics evaluated are efficient for grouping and identifying the potential for wood use. Colorimetry can be an important analysis to help control wood quality.

KEYWORDS: Wood density, Wood effect, Tropical forest, Colorimetric parameters.

INTRODUÇÃO

A madeira é um material orgânico, heterogêneo, anisotrópico, higroscópico e de grande complexidade, apresentando abundante variedade entre diferentes espécies e entre uma mesma espécie em diferentes idades, sendo composta basicamente de celulose, hemicelulose, lignina e extrativos, conferindo uma enorme variedade de possibilidades de usos e produtos obtidos (LOBÃO et al., 2004).

As espécies arbóreas da floresta tropical amazônica são ainda pouco conhecidas devido à ausência de estudos. Macedo et al. (2012) destacam a Amazônia como área de potencial investimento do setor florestal por apresentar boa demanda de espécies com grande variedade de propriedades e possibilidades de uso. No entanto, a falta de conhecimento acerca das propriedades da maioria das espécies e os seus desempenhos, em específicas condições de uso, são entraves para o mercado.

O mercado madeireiro encontra-se atualmente restrito a poucas espécies, expondo-as ao risco de extinção, gerando a necessidade de aumentar a variedade de espécies com propriedades conhecidas, possibilitando a inserção das mesmas no mercado de forma a diminuir a intensa exploração sobre as que já são utilizadas comercialmente (CARDOSO et al., 2012).

A incorporação da análise colorimétrica da madeira é de fundamental importância na caracterização tecnológica, uma vez que estudos têm demonstrado a viabilidade da mesma na classificação qualitativa, como por exemplo: agrupamento de madeiras com propriedades físico-mecânicas similares (NISHINO et al., 2000; MOYA & MARÍN, 2011).

A Floresta Nacional de Carajás é uma Unidade de Conservação, de aproximadamente 400 mil hectares, localizada no sudeste do estado do Pará. Ela abrange os municípios de Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte. A Floresta Nacional de Carajás está próxima de quatro outras Unidades de Conservação, bem como da terra Indígena Xicrin do Cateté (COSTA & SPERBER, 2009).

O presente trabalho teve como objetivo determinar as propriedades tecnológicas das madeiras de espécies florestais amazônicas.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O material utilizado no estudo foi proveniente de doação realizada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio. Foram doados 17

discos de madeira de diferentes espécies florestais nativas (Tabela 1), resultantes da supressão vegetal realizada na Floresta Nacional de Carajás.

Tabela 1. Lista de espécies florestais nativas.

ID	Nome Vulgar	Nome Científico	Família
CP	Cabrilva parda	<i>Myrcarpus frondosus</i> Allemão	Fabaceae
MV	Matá matá vermelho	<i>Eschweilera atropetiolata</i> S.A. Mori	Lecythidaceae
PD	Pau doce	<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	Euphorbiaceae
MU	Muiracatiara	<i>Astronium gracile</i> Engl	Anacardiaceae
GU	Guariúba	<i>Savia dictyocarpa</i> Müll. Arg.	Phyllanthaceae
TJ	Tatajuba	<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	Moraceae
TP	Tachí preto	<i>Tachigali myrmecophilla</i> Ducke	Fabaceae
PP	Pará pará	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	Bignoniaceae
EP	Espinheiro preto	<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton	Fabaceae
JM	João mole	<i>Neea oppositifolia</i> Ruiz & Pav.	Nyctaginaceae
C	Canafístula	<i>Cassia fastuosa</i> Willd. Ex Benth	Fabaceae
UP	Ucuúba preta	<i>Virola michelii</i> Heckel	Myristicaceae
LT	Louro tamanquaré	<i>Nectranda cuspidata</i> Nees	Lauraceae
IV	Ingá vermelha	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	Fabaceae
CS	Casca seca	<i>Rinorea flavescens</i> (Aubl.) Kuntze	Violaceae
MM	Murici da mata	<i>Byrsonima crispera</i> A Juss.	Malpighiaceae
JP	Jutaí pororoca	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	Fabaceae

ID: identificação da espécie.

Processamento do material

Com vista a analisar as propriedades físicas e a colorimetria da madeira, foi realizado o seccionamento de 1 disco, com aproximadamente 5 cm de espessura, da base de cada árvore das 17 espécies florestais selecionadas para estudo. O material coletado foi transportado para a Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA, onde foi acondicionado até a sua secagem natural, posteriormente foi lixado (lixas nas gramaturas de 120 e 240).

Determinação das propriedades físicas

As propriedades físicas avaliadas foram: densidade básica, densidade aparente, umidade, contrações lineares parciais e totais (tangencial e radial) e o coeficiente de anisotropia no sentido medula-casca.

As densidades da madeira foram determinadas em acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003). Para avaliação da umidade, contrações lineares parciais e totais, utilizou-se a NBR 7190 (ABNT, 1997). O coeficiente anisotrópico foi

calculado pela razão entre as contrações tangencial e radial.

Foram confeccionados um total de 278 corpos de prova, referentes as 17 espécies analisadas. Os corpos de prova foram confeccionados com as dimensões de 2,0 cm x 3,0 cm x 5,0 cm, orientados nas direções tangencial, radial e axial, respectivamente; retirados no sentido medula-casca de cada disco de madeira, com quantidade de amostras que variou em função do tamanho do diâmetro dos discos (Figura 1).

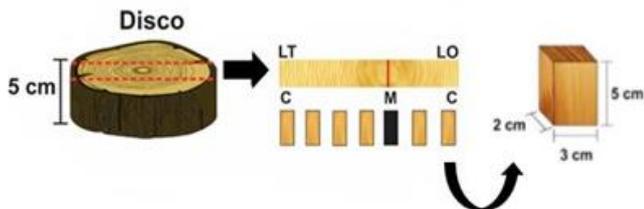


Figura 1. Esquema de retirada de amostras para o estudo das propriedades físicas. LT (lenho de tração); LO (lenho oposto); M (medula) e C (casca).

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2017).

Após a confecção dos corpos de prova, eles foram mantidos em condição ambiente para atingirem umidade de equilíbrio. Em seguida, as amostras foram marcadas em locais previamente estabelecidos, mensuradas com a utilização de um paquímetro digital com precisão de 0,01 mm e pesadas em balança eletrônica com precisão de 0,01 g.

Posteriormente os corpos de prova foram colocados em um recipiente plástico com água, para saturar. Depois foram novamente mensurados e pesados, a fim de se obter o volume da madeira saturada. Em seguida foram levados a uma estufa, onde foram secos a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até alcançarem massa constante para determinação do volume da madeira seca e de sua massa seca.

Com os valores obtidos para volume saturado (V_v) e massa seca (M_s), foi determinada a densidade básica da madeira, pela Fórmula 1:

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_v} \quad (1)$$

Em que: ρ_b – Densidade básica, em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$; M_s – Massa da madeira anidra, em g; V_v – Volume verde ou saturado, em cm^3 .

A densidade aparente é influenciada pelo teor de umidade da madeira, sendo obtida pela Fórmula 2, a seguir:

$$\rho_{15\%} = \frac{M_{15\%}}{V_{15\%}} \quad (2)$$

Em que: $\rho_{15\%}$ - Densidade aparente, em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, a 15% de umidade; $M_{15\%}$ - Massa da madeira a 15% de umidade; $V_{15\%}$ - Volume da madeira a 15% de umidade.

Com base na Massa Úmida e Massa Seca, determinou-se o teor de umidade das amostras, através da Fórmula 3, a seguir:

$$U\% = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (3)$$

Em que: $U\%$ – Teor de umidade em porcentagem; UM – Massa de madeira saturada; MS – Massa de madeira anidra.

Para determinar as contrações tangenciais e radiais totais, utilizou-se a Fórmula 4:

$$\beta_L = \frac{(L_u - L_o)}{L_u} \cdot 100 \quad (4)$$

Em que: β_L – Contração tangencial ou radial da madeira, em %; L_u – Dimensão na condição saturada (acima do PSF), em mm; L_o – Dimensão na condição anidra (seco em estufa), em mm.

Para determinar as contrações tangenciais e radiais parciais, utilizou-se a Fórmula 5, a seguir:

$$\beta_L = \frac{(L_u - L_e)}{L_u} \cdot 100 \quad (5)$$

Em que: β_L – Contração tangencial ou radial da madeira, em %; L_u – Dimensão na condição saturada (acima do PSF), em mm; L_e – Dimensão na umidade de equilíbrio, em mm.

O coeficiente anisotrópico foi determinado pela razão entre as contrações tangencial e radial. Sua análise foi realizada com base na classificação proposta por Logsdon et al. (2008), conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Classificação de qualidade de acordo com o coeficiente anisotrópico da madeira.

Coeficiente Anisotrópico (T/R)	Classe de Qualidade
1,2 – 1,5	Excelente
1,5 – 2,0	Normal
> 2,0	Ruim

Fonte: Logsdon et al. (2008).

Determinação dos parâmetros colorimétricos

Após a confecção dos corpos de prova para realização

das análises das propriedades físicas, as partes restantes dos discos de madeira foram utilizadas para a determinação dos parâmetros colorimétricos. As amostras tiveram suas superfícies lixadas com lixas de gramaturas de 120 e 240.

O sistema utilizado para determinar os parâmetros colorimétricos foi o CIEL*a*b*, composto por três coordenadas: luminosidade (L*), coordenada cromática do eixo verde-vermelho (a*) e coordenada cromática do eixo azul-amarelo (b*). A classificação das cores da madeira de cada uma das espécies foi realizada com base na tabela de cores descrita por Camargos & Gonzalez (2001).

Com a utilização de um colorímetro CR400 (Konica Minolta), com abertura do sensor de 8 mm, calibrado e configurado para o uso de fonte de luz D65, foi realizada a determinação da coloração das madeiras. A análise da colorimetria das madeiras foi feita com base em quatro medições, em pontos distintos, no plano transversal (L*trans., a* trans. e b* trans.).

Os parâmetros colorimétricos analisados foram: luminosidade (L*), coordenada cromática verde-vermelho (a*), coordenada cromática amarelo-azul (b*), saturação da cor (C*) e ângulo de tinta (h*).

Para a obtenção dos valores de saturação da cor e ângulo de tinta foram utilizadas as Fórmulas 6 e 7, respectivamente:

$$C * = \sqrt{(a *)^2 + (b *)^2} \quad (6)$$

Em que: C* – Saturação da cor; a* – Coordenada cromática sobre o eixo verde-vermelho; b* – Coordenada cromática sobre o eixo azul-amarelo.

$$H * = \tan^{-1} \left(\frac{b*}{a*} \right) \quad (7)$$

Em que: h* – Ângulo de tinta; a* – Coordenada cromática sobre o eixo verde-vermelho; b* – Coordenada cromática sobre o eixo azul-amarelo.

Estudos tecnológicos das madeiras

Após obtenção, os dados foram plotados no software Excel. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R, versão 3.6.1. Foram executadas análises de variância (ANOVA) em delineamento inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial duplo, considerando efeitos de espécie e tipo de lenho, com auxílio do pacote Scott-Knott para os testes de comparação das médias dos tratamentos, a fim de determinar as diferenças significativas.

As variáveis analisadas foram: densidade aparente,

densidade básica, contrações totais, contrações parciais e coeficiente de anisotropia. Para classificação dos valores de densidade e coeficiente anisotrópico foi realizado o teste de F, a 5% de significância.

Colorimetria das madeiras e correlações com a densidade

Foram realizadas análises gráficas das variáveis colorimétricas, assim como suas correlações com a densidade, com auxílio do software OriginPro, versão 8.

Para as variáveis densidade aparente e densidade básica em função do parâmetro colorimétrico a*(eixo vermelho-verde) foi utilizado o modelo de regressão polinomial. Já para as correlações entre densidade básica e densidade aparente em função de h* (ângulo de tinta) e L* (luminosidade) foi utilizado o modelo linear simples.

Foi executado delineamento inteiramente casualizado (DIC) para avaliar efeitos de espécie, posteriormente, foi realizado agrupamento por comparação de médias pelo teste Scott-Knott, ao nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propriedades físicas

As espécies foram classificadas em função da densidade básica, sendo agrupadas em três diferentes classes: alta densidade (>0,75 g.cm⁻³), média densidade (0,50 – 0,75 g.cm⁻³) e baixa densidade (<0,50 g.cm⁻³) (CSANÁDY et al., 2015).

Na Figura 2 é possível observar uma discrepância significativa interespecífica para os valores de densidade básica, variando de 0,29 g.cm⁻³ para *Jacaranda copaia* (pará pará) a 0,79 g.cm⁻³ para *Eschweilera atropetiolata* (matá matá vermelho), com média de 0,63 g cm⁻³, assemelhando-se aos valores médios encontrados por Araujo (2007). De acordo com Oliveira & Silva (2003) a estrutura anatômica de cada indivíduo, como a proporção dos vasos e espessuras das paredes celulares das fibras são responsáveis pelas variações da densidade em espécies de florestas tropicais.

Do total de 17 espécies, cinco foram classificadas como de alta densidade: *Eschweilera atropetiolata* (matá matá vermelho), *Dialium guianense* (jutaí pororoca), *Myrcarpus frondosus* Allemão (cabrilva parda), *Rinorea flavescens* (casca seca) e *Savia dictyocarpa* (guariúba). Madeiras de espécies com essa classificação são indicadas para uso no solo, confecção de pisos, postes, estacas, mourões, construção de pontes e construção pesada em geral (GONZAGA, 2006; SILVEIRA et al., 2013).

As espécies *Byrsonima crispera* (Murici da mata), *Cassia*

fastuosa (canafístula), *Senegalia polyphylla* (espinheiro preto), *Astronium gracile* (muiracatiara), *Nectranda cuspidata* (louro tamanquaré), *Glycydendron amazonicum* (pau doce), *Inga alba* (ingá vermelha), *Bagassa guianensis* (tatajuba) e *Tachigali myrmecophilla* (tachí preto), são consideradas de média densidade.

Somente três espécies foram classificadas como baixa densidade: *Neea oppositifolia* (joão mole), *Virola michelii* (ucuúba preta) e *Jacaranda copaia* (pará pará).

A madeira de *Bagassa guianensis* (tatajuba) pode ser utilizada em construções civis pesadas externas (dormentes ferroviários, cruzetas e estacas), pesadas internas (tesouras, vigas e caibros) e leves internas (painéis, lambris e forros) (IPT, 2013).

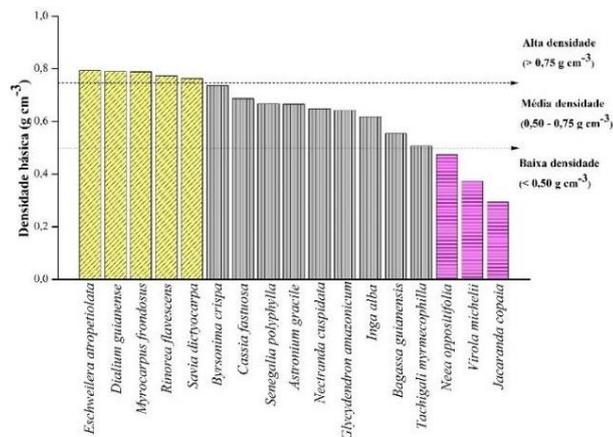


Figura 2. Classificação das espécies de madeira de acordo com a densidade básica.

A retratibilidade da madeira tem relação com a sua qualidade (CARDOSO et al., 2012). Segundo os mesmos autores, trata-se de uma importante variável para a determinação dos usos da madeira, que pode ocasionar defeitos no produto final se não forem tomadas as devidas precauções. Quanto mais próximo de um for o valor do coeficiente anisotrópico, melhor a qualidade da madeira. A espécie com melhor estabilidade dimensional foi *Neea oppositifolia* (joão mole), com 1,452.

Na Figura 3 estão representadas as espécies e suas respectivas classificações anisotrópicas, de acordo com o agrupamento proposto por Logsdon et al. (2008). As espécies *Virola michelii* (ucuúba preta), *Inga alba* (ingá vermelha), *Tachigali myrmecophilla* (tachí preto), *Senegalia polyphylla* (espinheiro preto) e *Glycydendron amazonicum* (pau doce) foram classificadas como ruins. De acordo com Moreschi (2014), madeiras com essa classificação tem sua aplicação limitada à fabricação de móveis, janelas, portas e instrumentos musicais.

A maioria das espécies foram classificadas como normais: *Byrsonima crispera* (murici da mata), *Cassia*

fastuosa (canafístula), *Rinorea flavescens* (casca seca), *Dialium guianense* (jutá pororoca), *Astronium gracile* (muiracatiara), *Jacaranda copaia* (para pará), *Nectranda cuspidata* (louro tamanquaré), *Eschweilera atropetiolata* (matá matá vermelho), *Myrocarpus frondosus* (cabrilva parda) e *Bagassa guianensis* (tatajuba), indicadas para utilização em marcenarias e demais usos que permitam pequenos empenamentos (LOGSDON et al., 2008).

As espécies *Savia dictyocarpa* (guariúba) e *Neea oppositifolia* (joão mole) foram classificadas como excelentes, ampliando suas possibilidades de uso, podendo ser utilizadas normalmente na fabricação de pisos, esquadrias, portas, móveis e demais usos que não permitam empenamentos e torções (MORESCHI, 2014).

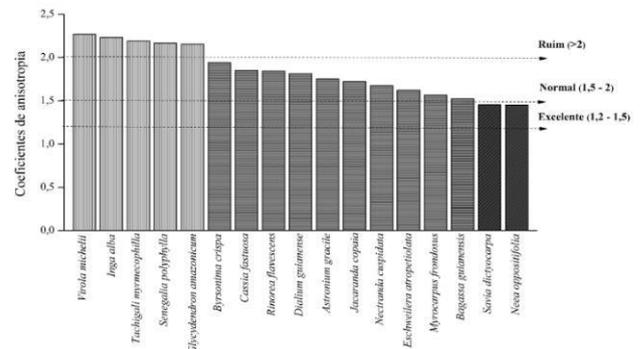


Figura 3. Classificação das espécies de madeira de acordo com o coeficiente anisotrópico.

Na Tabela 3 são observados os valores médios das contrações totais e parciais (tangencial e radial) da madeira, determinadas para as diferentes espécies estudadas.

Na contração tangencial total as análises estatísticas pelo teste de Scott-Knott indicaram diferenças significativas para a maioria das espécies em relação ao tipo de lenho. 58,82% apresentaram maiores valores de contração tangencial para o lenho de tração em relação ao lenho normal, corroborando com observações realizadas por Marra (1992) e Bendtsen (1978), de que a madeira de tração apresenta anéis largos e superfície tangencial áspera, elevada instabilidade dimensional e baixa resistência à compressão e flexão, resultando em dificuldades para trabalhabilidade e colagem. Essas observações são confirmadas por Vidaurre et al. (2013) ao afirmar que o aspecto áspero de tábuas serradas de madeiras de folhosas recém-derrubadas está relacionado com a presença do lenho de tração, dificultando as atividades de desdobro, secagem, acabamento e aumentando a propensão a rachaduras e empenamentos.

Apenas as espécies *Rinorea flavescens* (casca seca) e *Byrsonima crispera* (murici da mata) não apresentaram diferença significativa, mostrando não apresentar efeito de

lenho.

Para a contração radial total, oito das 17 espécies não apresentaram efeito de lenho, sendo elas: *Myrcarpus frondosus* (cabrilva parda), *Senegalia polyphylla* (espinheiro preto), *Savia dictyocarpa* (guariúba), *Inga alba* (ingá vermelha), *Neea oppositifolia* (joão mole), *Eschweilera atropetiolata* (matá matá vermelho), *Byrsonima crispera* (murici da mata) e *Virola michelii* (ucuúba preta).

A contração tangencial parcial não apresentou diferença significativa entre os lenhos para cinco das 17 espécies: *Rinorea flavescens* (casca seca), *Byrsonima crispera* (murici da mata), *Jacaranda copaia* (pará pará), *Bagassa guianensis* (tatajuba) e *Tachigali myrmecophilla* (tachí preto). Já para a contração radial parcial apenas quatro espécies apresentaram efeito de lenho, entre elas: *Cassia fastuosa* (canafístula), *Astronium gracile* (muiracatiara), *Jacaranda copaia* (pará pará) e *Glycydendron amazonicum* (pau doce).

Na Tabela 3 também podem ser observados que os valores referentes às contrações radiais totais e parciais são menores do que os valores das contrações tangenciais, conforme afirmação de Oliveira & Silva (2003), de que em razão da anisotropia da madeira, as variações dimensionais são diferentes ao longo das três direções estruturais, sendo a contração na direção tangencial aproximadamente duas vezes maior do que na direção radial (relação T/R, comumente chamada de fator de anisotropia). Oliveira et al. (2010), afirma que na madeira de folhosas, as maiores diferenças entre a retratibilidade tangencial em relação à radial ocorrem devido às características anatômicas; principalmente o volume de raio, em que quanto maior o número de células que constituem sua largura e altura, maior a contribuição na restrição da variação dimensional na direção radial.

Tabela 3. Caracterização das contrações totais e parciais da madeira das 17 espécies florestais em relação ao tipo de lenho.

Espécie	Tipo de lenho							
	Normal				Tração			
	βtg	βrd	βtg_p	βrd_p	βtg	βrd	βtg_p	βrd_p
<i>Myrcarpus frondosus</i> Allemão	5,61 d	3,84 c	3,27 d	2,29 b	6,51 b	4,00 c	2,98 c	2,00 b
<i>Cassia fastuosa</i> Willd. Ex Benth	4,60 d	2,98 c	2,57 d	1,27 c	5,25 b	2,59 d	1,95 c	0,87 b
<i>Rinorea flavescens</i> (Aubl.) Kuntze	10,71 a	7,10 a	7,50 a	4,21 a	9,75 a	4,98 b	5,82 a	2,61 a
<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton	8,46 b	4,45 c	5,64 b	3,03 a	8,89 a	3,78 c	5,73 a	2,79 a
<i>Savia dictyocarpa</i> Mull. Arg.	5,72 d	3,98 c	3,07 d	2,13 b	5,20 b	3,68 c	2,97 c	2,26 b
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	6,59 c	3,98 c	4,08 c	2,25 b	8,12 a	3,55 c	3,32 a	2,83 b
<i>Neea oppositifolia</i> Ruiz & Pav.	9,02 b	6,89 a	5,35 b	3,50 a	9,40 a	6,44 a	5,55 a	3,50 a
<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	7,33 c	4,03 c	4,41 c	2,28 b	9,31 a	5,28 b	4,63 a	2,42 b
<i>Nectandra cuspidata</i> Nees	6,38 c	4,76 c	4,28 c	3,41 a	8,76 a	5,07 b	5,33 a	2,73 a
<i>Eschweilera atropetiolata</i> S.A. Mori	8,71 b	5,29 b	5,93 b	3,70 a	8,54 a	5,33 b	5,09 a	2,88 a
<i>Astronium gracile</i> Engl	5,96 d	3,63 c	2,99 d	1,42 c	6,10 b	3,33 d	3,55 b	1,91 b
<i>Byrsonima crispera</i> A. Juss.	10,87 a	5,58 b	7,06 a	3,88 a	10,10 a	5,34 b	6,17 a	3,24 a
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	5,02 d	3,63 c	5,01 b	3,63 a	5,68 b	2,93 d	4,37 b	2,16 b
<i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke	7,47 c	3,78 c	3,64 d	0,80 c	6,82 b	3,17 d	3,67 b	7,72 b
<i>Bagassa guianensis</i> Aubl.	7,21 c	4,45 c	4,68 c	2,12 b	5,85 b	4,38 b	3,26 c	2,18 b
<i>Tachigali myrmecophilla</i> Ducke	7,20 c	4,83 c	5,31 b	2,97 b	5,38 b	5,6 d	4,09 b	1,86 b
<i>Virola michelii</i> Heckel	8,34 b	3,85 c	3,46 b	2,28 b	9,44 a	4,25 c	6,29 a	2,17 b

βtg: contração tangencial total (%); βrd: contração radial total (%); βtg_p: contração tangencial parcial (%); βrd_p: contração radial parcial (%); As letras minúsculas comparam as médias dentro da mesma espécie, sendo que as médias com letras iguais não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Scott-Knott, com significância 5% (p<0,05).

De acordo com a Figura 4, é possível observar que não há efeito de interação do lenho para os valores de densidade, as quais são estatisticamente iguais de acordo com o teste F. Os valores médios de densidade aparente são 0,778 g cm⁻³ para o lenho normal e 0,772 g cm⁻³ para o lenho de tração; já para a densidade básica são 0,645 g cm⁻³ para o lenho normal e 0,642 g cm⁻³ para o lenho de tração. Resultados semelhantes foram encontrados por Vidaurre et al. (2013) e Monteiro et al. (2010).

O coeficiente anisotrópico apresenta médias de 1,83 para lenho normal e 1,85 para lenho de tração, mostrando que também não apresentam diferenças significativas, ou seja, de acordo com o teste F não há efeito de lenho na variável em questão, conforme apresentado na Figura 5.

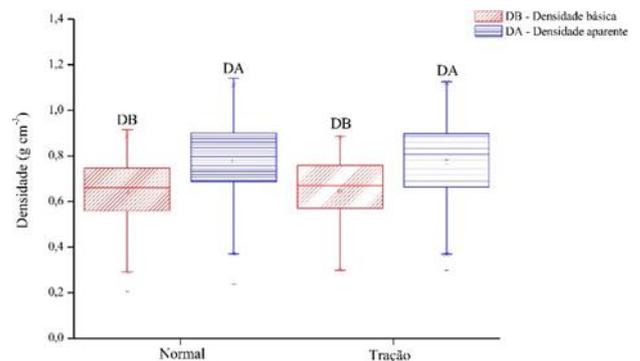


Figura 4. Densidades básica e aparente em relação aos lenhos normal e tração.

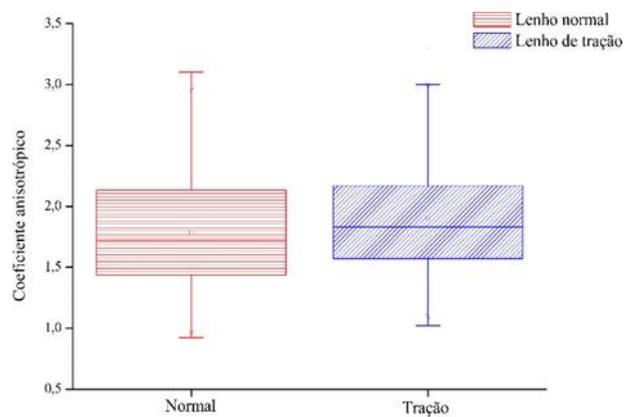


Figura 5. Coeficiente anisotrópico em função dos lenhos normal e tração.

Colorimetria da madeira

Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios dos parâmetros colorimétricos L* (Luminosidade), a* (matiz vermelho-verde), b* (matiz amarelo-azul), C* (saturação de cor) e h* (ângulo de tinta). Os valores de Luminosidade apresentaram variação de 35,21 para *Dialium guianense* (jutaí pororoca), significando maior proximidade com a cor preta (correspondente a zero) a 65,19 para *Jacaranda*

copaia (pará pará), representando a espécie de maior proximidade com a cor branca (correspondente a 100).

O parâmetro a^* variou de 3,66 para *Virola michelii* (ucuúba preta) a 12,18 para *Cassia fastuosa* (canafístula). O menor valor do parâmetro b^* foi de 8,58 para *Myrocarpus frondosus* (cabrilva parda) e o maior de 22,08 para *Bagassa guianensis* (tatajuba). O parâmetro C^* apresentou o menor valor de 12,35 para *Dialium guianense* (jutaí pororoca) e o maior de 23,87 para *Glycydendron amazonicum* (pau doce). O menor valor para o parâmetro h^* foi de 36,81 para a espécie *Myrocarpus frondosus* (cabrilva parda) e o maior valor foi 76,50 para *Virola michelii* (ucuúba preta).

As análises estatísticas mostraram diferenças significativas para os parâmetros colorimétricos (L^* , a^* , b^* , C^* e h^*) da madeira, evidenciando sua eficiência no agrupamento das 17 espécies florestais. O Teste Scott-Knott aplicado para verificar a existência de diferenças significativas entre as espécies, para as médias dos parâmetros colorimétricos indicou que: para a luminosidade L^* as espécies foram agrupadas em 6 classes; para a^* foram agrupadas em 4 classes; b^* em 5 classes; para C^* e h^* em 3 e 5 classes, respectivamente. Nota-se, portanto, que a coordenada b^* apresentou maiores variações em relação à coordenada a^* , sendo a principal responsável pelas variações de cores entre as espécies, diferindo dos resultados apresentados por Garcia et al. (2014).

Tabela 4. Valores médios obtidos para as variáveis de cor no sistema CIEL*a*b* no sentido transversal das espécies em estudo.

ID	Nome Vulgar	Espécie	L^* a*	b^*	C^*	h^* CP	
Cabrilva parda	Myrocarpus frondosus Allemão	37,04 f	11,40 a	8,58 e	14,28 c	36,82 e	
MV	Matá matá vermelho	Eschweilera atropetiolata S.A. Mori	42,07 d	8,54 b	12,48 d	15,14 c	55,71 c
PD	Pau doce	Glycydendron amazonicum Ducke	50,51 c	11,43 a	20,95 a	23,88 a	61,42 c
MU	Muiracatiara	Astronium gracile Engl.	39,86 e	8,22 b	12,17 d	14,69 c	55,85 c
GU	Guariúba	Savia dictyocarpa Müll. Arg.	43,15 d	12,13 a	12,19 d	17,57 b	45,99 d
TJ	Tatajuba	Bagassa guianensis Aubl.	51,37 c	7,84 b	22,08 a	23,50 a	70,02 a
TP	Tachi preto	Tachigali myrmecophilla Ducke	44,49 d	9,37 b	15,29 c	17,93 b	58,49 c
PP	Pará pará	Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don	65,19 a	4,10 d	14,84 c	15,40 c	74,51 a
EP	Espinheiro preto	Senegalia polyphylla (DC.) Britton	57,49 b	6,20 c	20,57 a	21,49 a	73,47 a
JM	João mole	Neea oppositifolia Ruiz & Pav.	52,18 c	5,70 c	17,94 b	18,83 b	72,39 a
C	Canafístula	Cassia fastuosa Willd. Ex Benth.	52,61 c	12,18 a	18,74 b	22,36 a	57,01 c
UP	Ucuúba preta	Virola michelii Heckel	54,73 b	3,66 d	15,33 c	15,76 c	76,50 a
LT	Louro tamanquaré	Nectandra cuspidata Nees	44,82 d	10,68 a	12,63 d	16,55 b	49,79 d
IV	Ingá vermelha	Inga alba (Sw.) Willd.	48,41 c	9,08 b	14,91 c	17,47 b	58,68 c
CS	Casca seca	Rinorea flavescens (Aubl.) Kuntze	43,75 d	6,17 c	12,68 d	14,10 c	64,23 b
MM	Murici da mata	Byrsonima crassa A. Juss.	46,68 d	8,55 b	12,23 d	14,95 c	55,15 c
JP	Jutaí pororoca	Dialium guianense (Aubl.) Sandwith	35,21 f	7,97 b	9,40 e	12,35 c	49,30 d

L^* : luminosidade ($\Delta 0 - 100$); a^* : coordenada cromática sobre o eixo verde-vermelho; b^* : coordenada cromática sobre o eixo azul-amarelo; C^* : saturação da cor; h^* : ângulo de tinta. As letras minúsculas comparam as médias entre espécies, para a mesma variável, sendo que as médias com letras iguais não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste de Scott-Knott, com significância 5% ($p < 0,05$).

A Figura 6 representa a luminosidade das espécies variando de 0 a 100 em função da cromaticidade com eixos que variam de 0 a 60. Espécies plotadas próximas à zero em relação à luminosidade e cromaticidade são classificadas como muito escuras; da mesma oposta, espécies plotadas próximas a 100 em relação à

luminosidade e 60 em relação à cromaticidade, são classificadas como de coloração suave. É possível então, estabelecer relação com a classificação de Camargos & Gonzalez (2001), pela qual as espécies *Jacaranda copaia* (pará pará) e *Senegalia polyphylla* (espinheiro preto) são classificadas como Acinzentadas-opacas. Os autores supracitados classificam as espécies de acordo com a luminosidade, na qual $L^* > 56$ significa madeira clara e $L^* \leq 56$, madeira escura. De acordo com essa classificação, 88,24% das espécies avaliadas neste estudo são consideradas como madeiras escuras, a espécie *Dialium guianense* (jutaí pororoca) destaca-se como a mais escura. Apenas 11,76% são madeiras claras, sendo as espécies *Jacaranda copaia* (pará pará) (65,19) e *Senegalia polyphylla* (espinheiro preto) (57,49).

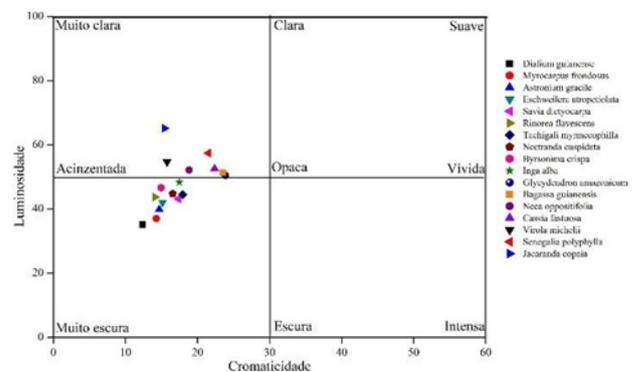


Figura 6. Luminosidade das espécies em função da cromaticidade.

Os extrativos das madeiras tropicais brasileiras são muito diversificados, tanto em quantidade quanto na natureza química, resultando em madeiras com uma grande variabilidade de cores (BARRETO & PASTORE, 2009).

De acordo com o agrupamento para nomenclatura de cores estabelecido por Camargos & Gonzalez (2001), foram obtidos seis grupos de cores para as 17 espécies florestais estudadas. Sendo que 3 destas não se enquadraram totalmente em nenhum grupo. Por aproximação de valores, as espécies poderiam ser enquadradas da seguinte forma: *Savia dictyocarpa* (guariúba) como marrom escura, *Virola michelii* (ucuúba preta) como cinza-rosado e *Neea oppositifolia* (joão mole) como oliva-amarelado.

As amostras de todas as espécies estão classificadas no primeiro quadrante do sistema CIEL*a*b*, pois 100% apresentam valores positivos para as coordenadas a^* e b^* . Na Figura 7 estão representadas as espécies em seus respectivos grupos, de acordo com a tabela de Cores de Madeira. As espécies *Nectandra cuspidata* (louro tamanquaré), *Inga alba* (ingá vermelha), *Byrsonima crassa* (murici da mata), *Astronium gracile* (muiracatiara) e

Tachigali myrmecophilla (tachí preto) compõem o grupo 3 (marrom escuro), o grupo com a maior quantidade de espécies. A coordenada b* (pigmentação amarela) apresenta grande influência na formação da cor das espécies deste grupo, devido seus valores serem superiores aos de a*.

No grupo 8 (marrom arroxeadado) estão *Dialium guianense* (jutai pororoca) e *Myrocarpus frondosus* (cabrilva parda). A coloração da madeira dessas espécies é influenciada principalmente pela coordenada b* e pelos menores valores de L*. Entretanto, o pigmento vermelho (coordenada a*) também é influente na composição da coloração.

Nos grupos 9 (oliva) e 16 (cinza rosado) está presente apenas uma espécie, cada. *Rinorea flavescens* (casca seca) e *Jacaranda copaia* (parapará), respectivamente. Apresentando influência marcante dos parâmetros b* e dos elevados valores de L* e h* na formação da cor dessas espécies.

No grupo 18 (oliva amarelado) estão as espécies *Senegalia polyphylla* (espinheiro preto) e *Bagassa guianensis* (tatajuba). A coordenada b* é a principal responsável pela formação da cor da madeira dessas espécies, em conjunto com os elevados valores de L* e ângulo de tinta (h*), além dos baixos valores de a*. O grupo 21 (marrom claro) é composto pela *Cassia fastuosa* (canafístula) e *Glycydendron amazonicum* (pau doce). Neste, os parâmetros que tiveram maior influência na formação da cor foram a coordenada b*, L* e h*.

Agrupamento das espécies florestais amazônicas pelas propriedades físicas e colorimétricas da madeira

Foram ajustados modelos de regressão linear simples para agrupar as variáveis: densidade aparente x luminosidade, densidade básica x luminosidade, densidade aparente x ângulo de tinta e densidade básica x ângulo de tinta. Conforme representado nas Figuras 8, 9, 12 e 13, respectivamente. Para o agrupamento das variáveis densidade aparente x coordenada cromática a* (Figura 12) e densidade básica x coordenada cromática a* (Figura 13), foram ajustados modelos de regressão polinomial.

Nas Figuras 12 e 13 nota-se uma tendência de clareamento das espécies de acordo com a diminuição da densidade aparente e da densidade básica. Há correlação positiva com a coordenada do parâmetro a*, corroborando com resultados encontrados por Garcia et al. (2014), indicando que quanto maior a densidade aparente e densidade básica, maior a presença do pigmento vermelho.

CLASSIFICAÇÃO DE CORES	
GRUPO 3 - Marrom escuro 1. <i>Nectandra cuspidata</i> Nees (Louro tamanquaré); 2. <i>Inga alba</i> (SW) Willd. (Ingá vermelha); 3. <i>Byrsonima crista</i> A. Juss. (Murici da mata); 4. <i>Astronium gracile</i> Engl (Muiracatiara); 5. <i>Tachigali myrmecophilla</i> Ducke (Tachi preto).	
GRUPO 8 - Marrom arroxeadado 1. <i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith (Jutai pororoca); 2. <i>Myrocarpus frondosus</i> Allemão (Cabrilva parda).	
GRUPO 9 - Oliva 1. <i>Rinorea flavescens</i> (Aubl.) Kuntze (Casca seca).	
GRUPO 16 - Cinza rosado 1. <i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don (Pará pará).	
GRUPO 18 - Oliva amarelado 1. <i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton (Espinheiro preto); 2. <i>Bagassa guianensis</i> Aubl. (Tatajuba).	
GRUPO 21 - Marrom claro 1. <i>Cassia fastuosa</i> Willd. Ex Benth (Canafístula); 2. <i>Glycydendron amazonicum</i> Ducke (Pau doce).	
NÃO SE ENQUADRARAM 1. <i>Savia dictyocarpa</i> Mill. Arg. (Guariúba); 2. <i>Virola micheli</i> Heckel (Ucuiuba preta); 3. <i>Neea oppositifolia</i> Ruiz & Pav. (João mole).	

Figura 7. Classificação da cor de acordo com Tabela de Cores de Madeira proposta por Camargos & Gonzalez (2001).

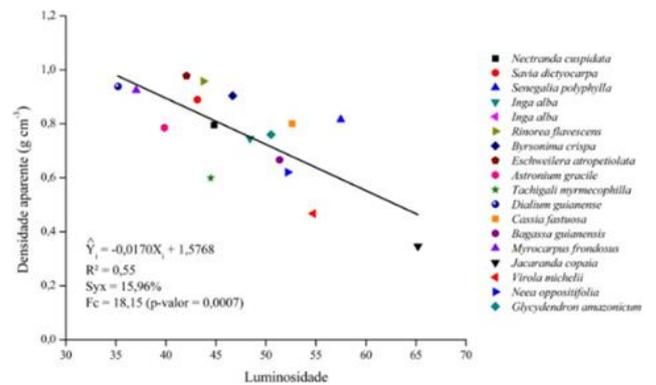


Figura 8. Densidade aparente das espécies em função da luminosidade.

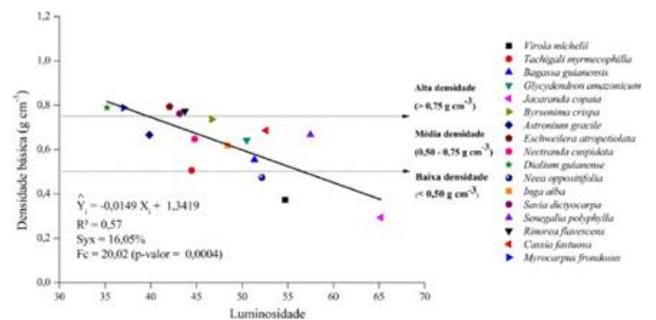


Figura 9. Densidade básica das espécies em função da luminosidade.

A espécie *Virola michelii* (ucuúba preta) foi a que apresentou menor valor de a^* , com 3,66, seguida do *Jacaranda copaia* (pará pará), com 4,1, demonstrando serem as mais amarelas entre as espécies analisadas, sendo também as espécies de menores densidades aparente e básica (Figuras 16 e 17). Por outro lado, *Cassia fastuosa* (canafístula) e *Savia dictyocarpa* (guariúba) apresentaram os maiores valores para o parâmetro a^* , sendo as mais vermelhas, com respectivos valores de 12, 18 e 12, 13; as duas foram classificadas como madeiras de alta densidade. Diferente do que ocorre com o parâmetro a^* , as análises de densidade aparente e básica demonstraram correlação negativa com o ângulo de tinta.

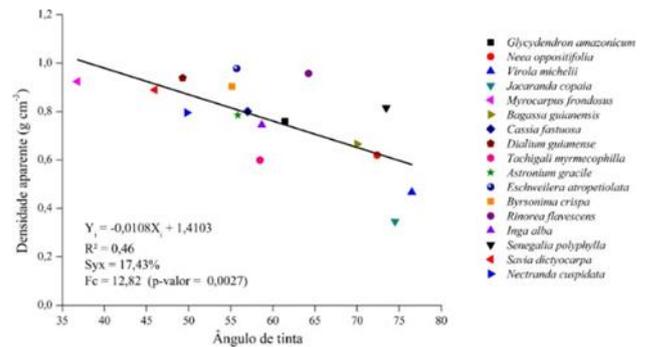


Figura 12. Densidade aparente das espécies em função do ângulo de tinta.

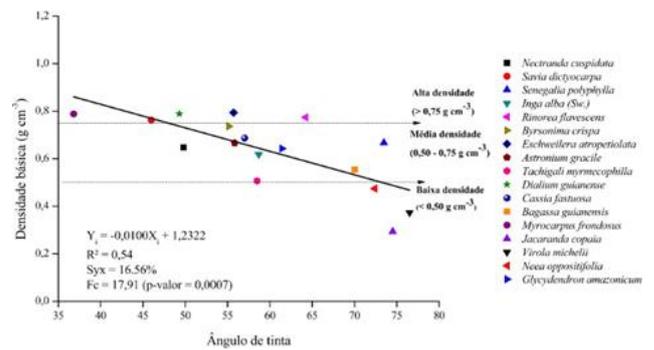


Figura 13. Densidade básica das espécies em função do ângulo de tinta.

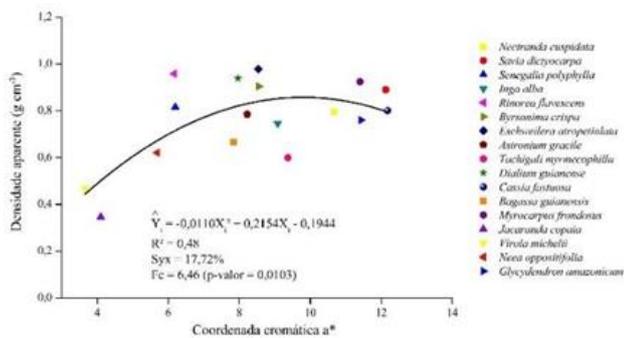


Figura 10. Densidade aparente das espécies em função da coordenada cromática a^* .

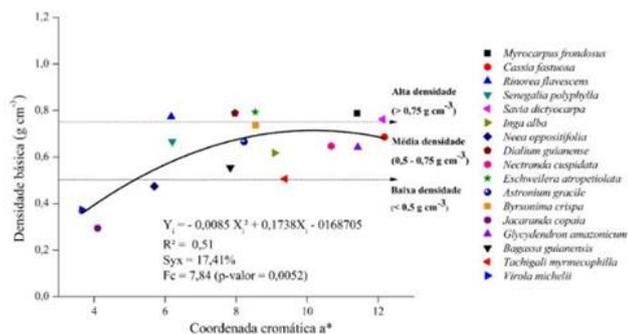


Figura 11. Densidade básica das espécies em função da coordenada cromática a^* .

Os gráficos 14 e 15 representam os valores de densidades aparente e básica, respectivamente, em relação ao ângulo de tinta. É possível verificar uma maior proximidade ao eixo vermelho.

Ressalta-se que não foram encontradas correlações significativas entre a densidade e o parâmetro colorimétrico b^* (eixo amarelo-azul). Entretanto, cada espécie de madeira terá correlações específicas com as variáveis L^* , a^* e b^* , em decorrência da cor característica de cada uma (GARCIA et al., 2014).

CONCLUSÕES

As espécies estudadas apresentaram densidades da madeira significativamente diferentes, pertencentes aos três grupos de classificação de acordo com a densidade.

A colorimetria pode ser usada como uma ferramenta de auxílio ao controle de qualidade da madeira, visto que possui correlação com a densidade, a qual é um importante indicador de qualidade.

Ao correlacionar os valores de densidade básica e aparente com luminosidade, infere-se que as madeiras mais densas são mais escuras, além de possuírem mais coloração avermelhada.

As análises estatísticas indicaram que as características analisadas são eficientes para o agrupamento e identificação do potencial de uso das madeiras.

Para maiores conhecimentos acerca dos parâmetros de agrupamento das espécies analisadas, recomenda-se que sejam realizados estudos que incluam também parâmetros relacionados à composição química e estrutura anatômica.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190: Projetos de estruturas de madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR**

11941: Densidade básica da madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. ARAUJO, H.J.B. Relações funcionais entre propriedades físicas e mecânicas de madeiras tropicais brasileiras. **Floresta**, v.37, n.3, p.339-416, 2007.

BARRETO, C.C.K.; PASTORE, T.C.M. Resistência ao intemperismo artificial de quatro madeiras tropicais: o efeito dos extrativos. **Ciência Florestal**, v.19, n.1, p.23-30, 2009.

BENDTSEN, B.A. Properties of wood from improved and intensively managed trees. **Forest Products Journal**, v.28, n.10, p.61-71, 1978.

CAMARGOS, J.A.A.; GONÇALEZ, J.C. A colorimetria aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira. **Brasil Florestal**, n.71, p.30-41, 2001.

CARDOSO, C.C. et al. Caracterização físico-mecânica de madeiras amazônicas com aptidão tecnológica para comercialização. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.55, n.3, p.176-183, 2012.

COSTA, F.G.; SPERBER, C.F. Atropelamento de vertebrados na Floresta Nacional de Carajás, Pará, Brasil. **Acta Amazônica**, v.39, n.2, p.459-466, 2009.

CSANÁDY, E. et al. **Quality of machined wood surfaces.** New York: Springer International Publishing, 2015.

GARCIA, R.A. et al. Colorimetria de madeiras dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* e sua correlação com a densidade. **Cerne**, v.20, n.4, p.509-517, 2014.

GONZAGA, A.L. **Madeira: uso e conservação.** Brasília: IPHAN/MONUMENTA, 2006.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Catálogo de Madeiras brasileiras para a construção civil.** São Paulo: IPT, 2013.

LOBÃO, M.S. et al. Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. **Árvore**, v.28, n.6, p.889-894, 2004.

LOGSDON, N.B. et al. Caracterização físico- mecânica da madeira de Cedro-marinho, *Guarea trichilioides* L. (Meliaceae). **Scientia Forestalis**, v.36, n.77, p.43-51, 2008.

MACEDO, L.B. et al. **Caracterização de algumas propriedades físicas da madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum* herb).** 12° CONEMI – Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial, p.1-9, 2012.

MARRA, A.A. **Technology of wood bonding.** Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

MONTEIRO, T.C. et al. Influência do lenho de tração nas propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* sp. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.1, n.1, p.6-11, 2010.

MORESCHI, J.C. **Propriedades tecnológicas da madeira.** Curitiba: UFPR, 2014.

MOYA, R.; MARIN, J.D. Grouping of *Tectona grandis* (L.f.) clones

using wood color and stiffness. **New Forests**, v.42, p.329-345, 2011.

NISHINO, Y. et al. Relations between the colorimetric values and densities of sapwood. **Journal of Wood Science**, v.46, p.267-272, 2000.

OLIVEIRA, J.T.S. et al. Avaliação da retratibilidade da madeira de sete espécies de *Eucalyptus*. **Árvore**, v.34, n.5, p.929-936, 2010.

OLIVEIRA, J.T.S.; SILVA, J.C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Árvore**, v.27, n.3, p.381-385, 2003.

Recebido em 20-04-2022 Aceito em 01-07-2022