



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS

DANIELA MININI

**DENSIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA DO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO, BRASIL**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

DANIELA MININI

**DENSIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA DO ESTADO
DO RIO DE JANEIRO, BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.
Orientadora: Graziela Baptista Vidaurre
Coorientadores: João Gabriel Missia da Silva;
Ranieri Ribeiro Paula

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

2020

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

M665d Minini, Daniela, 1993-
Densidade da madeira de espécies da Mata Atlântica do
estado do Rio de Janeiro, Brasil / Daniela Minini. - 2020.
53 f. : il.

Orientadora: Graziela Baptista Vidaurre.

Coorientadores: João Gabriel Missia da Silva, Ranieri
Ribeiro Paula.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias.

1. Densidade da madeira de espécies nativas. 2. Mata
Atlântica. 3. Variabilidade da madeira. 4. Fitofisionomias. 5.
Gradiente climático. I. Baptista Vidaurre, Graziela. II. Missia
da Silva, João Gabriel. III. Ribeiro Paula, Ranieri. IV.
Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências
Agrárias e Engenharias. V. Título.

CDU: 630

**DENSIDADE DA MADEIRA DE ESPÉCIES DA MATA ATLÂNTICA DO
ESTADO DO RIO DE JANEIRO, BRASIL**

Daniela Minini

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais na Área de Concentração Ciências Florestais.

Aprovada em 19 de fevereiro de 2020.



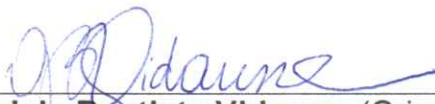
Dr. Ranieri Ribeiro Paula (Examinador externo)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. João Gabriel Missia da Silva (Examinador externo)
Universidade Federal do Espírito Santo



Prof. Dr. Henrique Machado Dias (Examinador interno)
Universidade Federal do Espírito Santo



Profª. Drª. Graziela Baptista Vidaurre (Orientadora)
Universidade Federal do Espírito Santo

[...] Guapuruvú levou em seu coração o aprendizado que teve em cada estação que viveu. Haverá momentos felizes, de grande desfrute e crescimento. Momentos de tristeza e de renascimento. Momentos de dúvidas e descobertas. Cada fase foi necessária para ser moldado e se tornar um ser de bom caráter e de relevância na floresta. Não precisamos ser iguais aos demais que nos circundam, nem tentar substituir alguém. Cada um possui sua essência e importância. E o que realmente importa é sermos o melhor que podemos, demonstrando nossa melhor versão, sempre!

Minini, D.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Adelmo Luiz Minini e Ione
Fiorini Minini e ao meu irmão Charles
Minini

Carinhosamente dedico!

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me ensinar a ser uma nova pessoa e me erguer todas as vezes que eu achava que não tinha forças para continuar, por me dar alegria e um sorriso no rosto apesar dos dias ruins, por renovar a minha esperança, ser minha luz, me dar vitórias e por sempre colocar pessoas boas em meu caminho.

Aos meus pais Adelmo Luiz Minini e Ione Fiorini Minini, e meu irmão Charles Minini pelo amor, pela educação, conselhos e por serem meu alicerce e minha inspiração para continuar e nunca desistir dos meus objetivos.

À professora Graziela Baptista Vidaurre, minha orientadora, que tanto tenho carinho e admiração, obrigada por todo apoio, ensinamentos, amizade, e por acreditar sempre em mim, depositando sua confiança.

Ao João Gabriel Missia da Silva, pela orientação e ensinamentos, pelas conversas e risadas, por ser um amigo com quem eu posso contar.

Ao Ranieri Ribeiro Paula pela orientação e ensinamentos.

À Sofia Maria G. Rocha, uma pessoa maravilhosa, de grande coração e espírito forte, obrigada pela ajuda sempre.

Aos meus amigos de laboratório pelas risadas e ajuda: Ana Paula Câmara, Jean Carlos Lopes e a Maria Naruna Felix. Ao Elecy Palácio e ao José Geraldo Oliveira pelas longas conversas nos laboratórios, marcenaria e por aquele cafezinho que tomamos juntos muitas vezes, pessoas como vocês são raras de se encontrar, vou sentir muita saudade.

As minhas amigas, que levarei por toda a vida, foram pessoas que eu sempre pude contar, me ajudaram a evoluir e a ser uma pessoa melhor: Ana Carla Bezerra de Lima, Joyce de Almeida Pinto e Karla Pinto Pancieri. Às minhas vizinhas queridas da república “Amarelinha” obrigada pela boa convivência, ajuda, risadas e carinho.

Ao Lucas, Célia, Sérgio e familiares, obrigada pelos momentos agradáveis vividos em Jerônimo Monteiro, lembrarei com carinho de todos vocês.

A Universidade Federal do Espírito Santo, pela estrutura de trabalho oferecida e por minha formação acadêmica e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. A CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos os envolvidos no Projeto Clima Rio, por disponibilizar o material para as análises e possibilitar a utilização do banco de dados de densidade da madeira das espécies do Rio de Janeiro.

RESUMO

MININI, Daniela. Densidade da madeira de espécies da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, Brasil. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES. Orientador: Dr^a Graziela Baptista Vidaurre. Coorientador: Dr João Gabriel Missia da Silva; Dr Ranieri Ribeiro Paula.

A Mata Atlântica é um dos mais importantes biomas brasileiros, o qual compreende uma diversidade recorde de espécies da flora em uma pequena área. Entretanto, o conhecimento sobre diversos aspectos de sua biodiversidade e atributos morfológicos e funcionais são escassos, e estudos sobre a densidade da madeira auxiliam na compreensão sobre a dinâmica das populações nos gradientes fitossociológicos frente a cenários de mudanças climáticas. O objetivo foi avaliar a variabilidade da densidade da madeira entre espécies e populações nas três principais fitofisionomias da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro. Foram amostrados 576 indivíduos arbóreos de 84 espécies em 31 pontos distribuídos nas três principais fitofisionomias do bioma Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro: Floresta Ombrófila Densa (FOD), Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Restinga (RES). A amostragem da madeira foi realizada pelo método não destrutivo (Sonda de Pressler) com a retirada de amostras nas regiões do diâmetro a altura do peito (DAP) e meio do fuste (MF) e em 20% dos indivíduos foram retirados discos dos galhos com diâmetro maior que 5 cm. A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com norma técnica vigente. A densidade da madeira relacionou-se com as variáveis ambientais, de modo que, florestas sujeitas a maior temperatura e menor precipitação, a FES e RES, influem nas características funcionais das espécies e ocasionam a formação de lenhos mais densos. A densidade da madeira não foi alterada em espécies características de lugares áridos e pioneiras, independente da fitofisionomia. Constatou-se que é possível estimar a densidade da madeira do fuste por meio dos galhos das árvores.

Palavras – chave: Fitofisionomia; Variabilidade da madeira; Gradiente climático.

ABSTRACT

MININI, Daniela. Wood density of Atlantic Forest species in the state of Rio de Janeiro, Brazil. 2020. Dissertation (Master's in Forest Sciences) – Espírito Santo Federal University, Jerônimo Monteiro, ES. Advisor: D.Sc. Graziela Baptista Vidaurre. Coadvisor: D.Sc. João Gabriel Missia da Silva; D.Sc. Ranieri Ribeiro Paula.

The Atlantic Forest is one of the most important Brazilian biomes, comprising a record diversity of flora species in a small area. However, knowledge about different aspects of its biodiversity and morphological and functional attributes is scarce, and studies on wood density help to understand the dynamics of populations in phytosociological gradients in the face of climate change scenarios. The objective was to evaluate the variability of wood density between species and populations in the three main phytophysiognomies of the Atlantic Forest in the state of Rio de Janeiro. 576 tree species of 84 species were sampled at 31 points distributed in the three main phytophysiognomies of the Atlantic Forest biome in the state of Rio de Janeiro: Dense Ombrophylous Forest (FOD), Semideciduous Seasonal Forest (FES) and Restinga (RES). The sampling of the wood was performed by the non-destructive method (Pressler's probe), with removal of the samples in the regions of the diameter at the height of the chest (DBH) and in the middle of the axis (MF) and in 20% of the individuals' discs were removed from the branches with a diameter greater than 5 cm. The basic density of the wood was determined according to the current technical standard. The density of the wood was related to environmental variables, so that forests subject to higher temperatures and less precipitation, the FES and RES, influence the functional characteristics of the species and cause the formation of denser wood. The wood density was not altered in the species characteristic of arid and pioneer places, regardless of the phytophysiognomy. It was found that it is possible to estimate the density of the stem wood through the tree branches.

Keywords: Phytophysiognomy; Wood variability; Climatic gradient

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	09
1.1	Objetivos	11
1.1.1	Objetivo geral.....	11
1.1.2	Objetivos específicos.....	11
1.3	Hipóteses.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1	Mata Atlântica.....	12
2.2	Densidade da madeira e as variáveis ambientais.....	14
3	METODOLOGIA	19
3.1	Área de estudo	19
3.2	Caracterização climática das áreas de coleta.....	20
3.3	Seleção das espécies e dos indivíduos.....	20
3.4	Amostragem e determinação da densidade da madeira.....	22
3.5	Análise dos dados.....	23
4	RESULTADOS.....	25
4.1	Densidade da madeira das árvores das fitofisionomias.....	25
4.2	Grupos de densidade da madeira.....	27
4.3	Variabilidade ao longo do fuste e estimativa da densidade da madeira..	29
5	DISCUSSÃO.....	32
5.1	Densidade da madeira das árvores das fitofisionomias.....	32
5.2	Grupos de densidade da madeira.....	33
5.3	Variabilidade ao longo do fuste e estimativa da densidade da madeira..	35
6	CONCLUSÃO	38
	REFERÊNCIAS.....	39
	ANEXOS.....	45
	APÊNDICES.....	46

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica, considerada Patrimônio Nacional pela Constituição Federal Brasileira (BRASIL, 2000), é um dos *hotspots* de biodiversidade do planeta (Myers et al., 2000), com alta taxa de endemismo e números recordes de angiospermas lenhosas. Esta flora diversa que o bioma possui é decorrente da interação de diversas feições geológicas, pedológicas, relevo, altitude, latitude e continentalidade que proporcionam variações na estrutura das comunidades e resultam em fitofisionomias florestais distintas (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009; VARJABEDIAN, 2010; IBGE, 2012).

O Rio de Janeiro é o estado brasileiro que detêm uma das maiores porcentagens de vegetação do Bioma Mata Atlântica preservada. A cobertura florestal é de aproximadamente 1,3 milhões de hectares, o que equivale a 31% do estado abrangendo 5 tipologias florestais distintas: Floresta Estacional Decidua, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Densa, Manguezal e Restingas (INEA, 2017).

O conhecimento sobre as propriedades da madeira em populações arbóreas naturais dentro e entre as fitofisionomias da Mata Atlântica é escasso. Essas informações são essenciais para compreensão dos fatores determinantes da distribuição de espécies e da resiliência da comunidade vegetal. Diversos estudos recentes têm relacionado propriedades da madeira com funcionamento de árvores individuais e ecossistemas no nível global (CHAVE et al., 2006; CHAVE et al., 2009; OLIVEIRA, 2014; IBANEZ, et al., 2017; NABAIS et al., 2018; POORTER et al., 2019). Esses estudos têm destacado a densidade da madeira como a propriedade chave para as respostas eco fisiológicas das plantas.

A densidade da madeira é uma variável importante do ponto de vista econômico e relacionada com a resistência mecânica da madeira e usada na determinação do estoque de carbono em árvores e florestas (HENRY et al., 2010; OLIVEIRA, 2014; AZEVEDO et al., 2018; MARTIN; DORAISAMI; THOMAS, 2018). Diversos fatores influenciam na variação da densidade dos tecidos lenhosos das espécies e populações, como a carga genética herdada, a posição sociológica dentro de uma floresta, relacionada a quantidade de radiação solar, a altitude e exposição ao vento (CHAVE et al., 2006; 2009; POORTER et al., 2019). Na escala de indivíduo, a densidade da madeira está relacionada aos limites e velocidades de crescimento em

altura e diâmetro das árvores (OLIVEIRA, 2014; SWENSON; ZAMBRANO, 2017). A densidade da madeira é uma propriedade chave para entender o crescimento e a acumulação de carbono pelas espécies e populações. A capacidade de crescimento rápido ou lento pode ser relacionado com a densidade da madeira baixa e alta, assim como a capacidade de sobrevivência das árvores aos eventos climáticos extremos (REICH, 2014).

A determinação da densidade, na maioria das situações, é realizada de forma destrutiva, com o corte da árvore e retirada de discos, o que eleva os custos da amostragem e pode ser limitada em áreas protegidas por lei. Uma alternativa para a amostragem em florestas naturais é a retirada de amostras por ferramentas como a Sonda de Pressler. Na ausência dos equipamentos não destrutivos para amostragem das árvores ou quando os indivíduos em campo apresentam parte do tronco ou medula deteriorada e espécies de pequeno porte, a amostragem de parte dos galhos pode ser uma alternativa para a avaliação da densidade da madeira. Contudo, não são encontrados trabalhos que avaliem o potencial de galhos para a amostragem da densidade da madeira em espécies da Mata Atlântica. Para espécies do Cerrado, a estimativa da densidade do meio do fuste a partir de galhos médios das árvores resultou em ajustes significativos com $r^2 = 0,89$ (SILVA; VALE; MIGUEL, 2015), o que sugere o potencial do uso de galhos para estimar as propriedades da madeira do lenho.

Variações climáticas e edáficas condicionam a produtividade primária e o sequestro de carbono nas diferentes fitofisionomias da Mata Atlântica. A disponibilidade de recursos poderia causar alterações na densidade da madeira das espécies e populações. O confronto de informações das variáveis ambientais com a densidade da madeira de espécies com diferentes estratégias de crescimento pode auxiliar na identificação de padrões de distribuição das populações em função dessa propriedade da madeira. Essas populações podem ser importantes para a variabilidade genética necessária para promover a sobrevivência das espécies frente as diferenças climáticas locais. Além disso, as informações sobre a densidade da madeira de diferentes espécies e tipologias são extremamente úteis para a melhor confiabilidade das estimativas de estoque de carbono. Identificar as relações entre espécies e estratégias de crescimento e mecanismos de sobrevivência é fundamental para a capacidade de projetar a distribuição e dinâmica da vegetação no atual cenário de mudanças climáticas (SWENSON; ZAMBRANO, 2017).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a variabilidade da densidade da madeira entre espécies e populações nas três principais fitofisionomias da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro.

1.1.2 Objetivos específicos

- Relacionar a densidade da madeira com as diferentes fitofisionomias.
- Descrever o comportamento da densidade da madeira das espécies *Pseudopiptadenia contorta* e *Astronium graveolens* para três fitofisionomias.
- Avaliar a existência de fatores ambientais e dendrométricos comuns dentro dos grupos de diferentes intervalos de densidade básica da madeira.
- Verificar a ocorrência de variabilidade da densidade básica da madeira ao longo da árvore e estimar a densidade em função dos galhos

1.2 Hipóteses

A adaptação fenotípica das espécies arbóreas da Mata Atlântica altera a densidade da madeira.

O uso de amostras dos galhos das árvores possibilita estimar a densidade da madeira do fuste.

2 REVISÃO DE LITERATURA

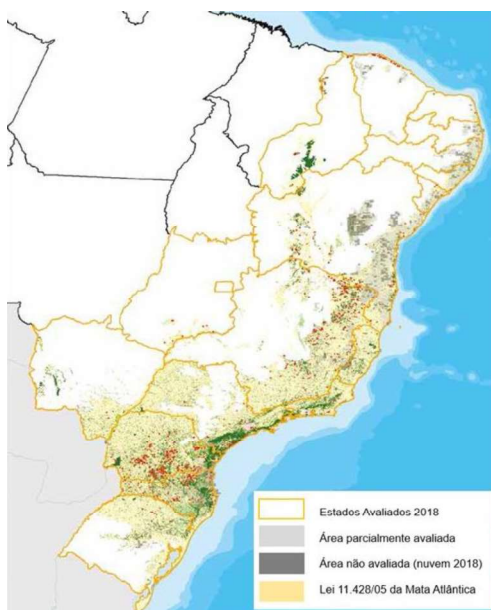
2.1 Mata Atlântica

O Bioma Mata Atlântica se estendia continuamente por todo o litoral brasileiro, desde a região Nordeste (Ceará) até o estado de Santa Catarina. Ocupou uma área de 1.315.460 km², o que equivale a 15% das terras brasileiras (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019). Devido ao processo de colonização e ocupação do território brasileiro, as áreas costeiras de vegetação passaram por extrema devastação. A conversão das florestas para outros usos, como a agricultura, pecuária e urbanização, aliados ao aumento do uso convencional de madeira, foram e são fatores significativos no processo de desmatamento (RODRIGUES; BRANCALION; ISERNHAGEN, 2009; VARJABEDIAN, 2010).

Resultou desse processo, fragmentos disjuntos de florestas, especialmente em locais de topografia muito acidentada (LEITÃO FILHO, 1987). A Mata Atlântica possui atualmente cerca de 12-17% de florestas (Figura 1), considerando fragmentos com área maior que 100 ha e em bom estado de conservação; 24-26% de cobertura florestal, tendo por base qualquer tipo de floresta com área maior que 3 ha; e 27-29% de vegetação nativa, incluindo qualquer tipo de vegetação, sem filtro por tamanho de fragmento e formações não- florestais (SOS MATA ATLÂNTICA, 2019).

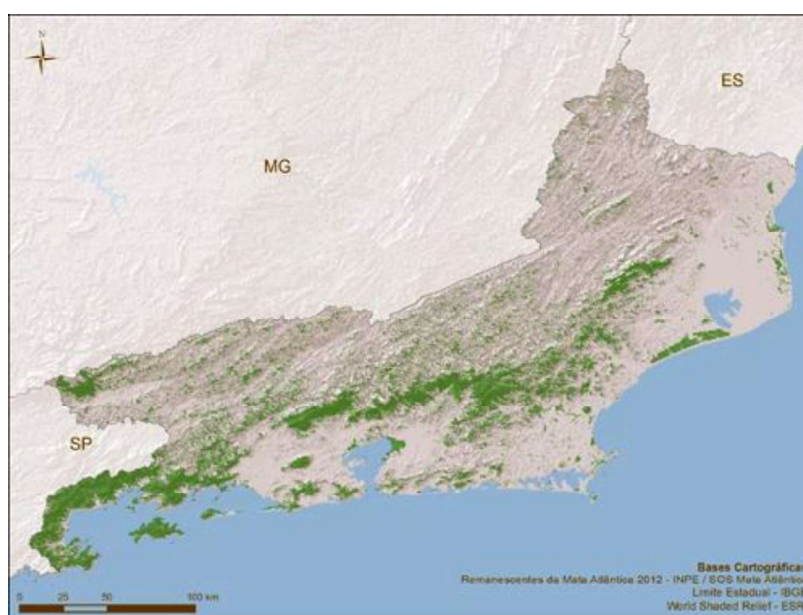
O Rio de Janeiro é o estado brasileiro que detêm uma das maiores porcentagens de vegetação do Bioma Mata Atlântica preservada. A cobertura florestal (Figura 2) é de aproximadamente 1,3 milhões de hectares, o que equivale a 31% do território. Ela possui diversidade de ambientes geomorfológicos e de condições climáticas que resultaram em uma composição biológica vegetal bem diversa, com 5 tipologias florestais distintas: Floresta Estacional Decidual (1%); Floresta Estacional Semidecidual (27%); Floresta Ombrófila Densa (69%); Manguezais (1%) e Restingas (2%) (INEA, 2012).

Figura 1 – Área florestal do Bioma Mata Atlântica no Brasil, ano de 2018



Fonte: Adaptado de SOS MATA ATLÂNTICA (2018).

Figura 2 – Cobertura florestal nativa remanescente do estado do Rio de Janeiro, ano de 2012



Fonte: INEA, 2012.

A Floresta Ombrófila Densa possui uma extensão considerável no estado, com formações remanescentes em boas condições de preservação. A ocorrência desse tipo de vegetação vai desde o litoral até áreas montanhosas da costa. Ocupa as áreas de climas tropicais e de precipitação em grandes volumes bem distribuídos durante o ano (0 a 60 dias secos), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem períodos secos prolongados. Este tipo de vegetação é caracterizado por fanerófitas perenifoliadas de vida macro e mesofanerófitos, além de lianas lenhosas e epífitas em

abundância. No Rio de Janeiro essa tipologia florestal está representada por 4 formações: Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas (até 50 m de altitude); Floresta Ombrófila Densa Submontana (50 a 500 m); Floresta Ombrófila Densa Montana (500 a 1500 m); Floresta Ombrófila Densa Alto-Montana (acima de 1500 m) (RIZZINI, 1963; VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991; IBGE, 1992).

Na composição da Mata Atlântica do estado, em segundo percentual, está a Floresta Estacional Semidecidual (27%). O conceito ecológico dessa fitofisionomia está ligado a semidecidualidade da folhagem da cobertura florestal, ocasionado pela ocorrência de clima estacional. A região de ocorrência desta formação florestal é marcada por seca no período do inverno e chuvas intensas no verão. Nesta fitofisionomia ocorre uma porcentagem de árvores caducifólias, que perdem sua folhagem na estação seca, ordinariamente, entre 20 e 50%. Três tipos de formações ocorrem nesta região: Floresta Estacional Semidecidual das Terras Baixas (até 50 m de altitude); Floresta Estacional Semidecidual Submontana (50 a 500 m); Floresta Estacional Semidecidual Montana (500 a 1500 m) (RIZZINI, 1963; VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991; IBGE, 1992).

Em terceiro lugar, as Restingas (2%), são formações pioneiras que recebem influência do mar e são genericamente classificadas pelo tipo arbóreo, arbustivo e herbáceo de vegetação. Contemplam as principais variações fisionômicas observadas desde as praias até os pontos mais interiores da planície costeira, associadas aos solos de areia quartzosa litorânea. Em sua extensão, existe um grande número de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção (RIZZINI, 1963; VELOSO; RANGEL FILHO; LIMA, 1991; IBGE, 1992).

2.2 Densidade da madeira e as variáveis ambientais

A madeira é um material heterogêneo composto principalmente por três tipos de células: os vasos, responsáveis pelo transporte de água; as fibras que proporcionam resistência mecânica aos tecidos; e o parênquima que transporta nutrientes e armazena substâncias de reserva. Estas células, com características, proporções e estruturas diferenciadas influenciam diretamente no valor da densidade da madeira. O lúmen dos elementos de vasos possui densidade zero, e suas dimensões e frequência são extremamente importantes na determinação da densidade. O aumento da espessura da parede das fibras e do percentual de

parênquima proporcionam acréscimos de densidade da madeira (DALLA-SALDA et al., 2009; ZIEMINSKA et al., 2013; GONÇALEZ et al., 2014).

O crescimento das árvores é influenciado por diversos fatores, como disponibilidade de água, pluviosidade, radiação, tipos e condições de solo, dispersão e densidade populacional. Estes fatores são determinados, por altitude, inclinação, latitude, tipo de solo e composição da floresta. Estas variáveis estão diretamente relacionadas com a formação dos tecidos e células, que respondem diretamente na determinação da densidade da madeira (READ; STOKES, 2006; GONÇALEZ et al., 2014). No trabalho de Oliveira et al., (2012) foi amostrado um conjunto de espécies em cinco locais com clima contrastantes, e relataram uma relação teórica coerente da densidade da madeira com as características ambientais (Tabela 1).

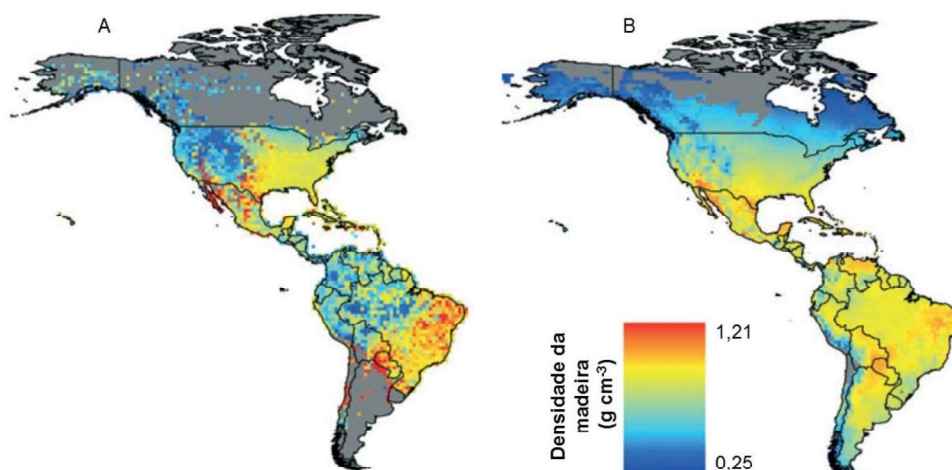
Tabela 1 – Descrição da densidade básica da madeira por fitofisionomia no Estado de Minas Gerais

Fitofisionomia	Densidade da madeira (g cm ⁻³)
Floresta Ombrófila Densa	0,502 a
Floresta Estacional Semidecidual	0,561 b
Cerradão	0,585 c
Cerrado típico	0,612 d
Floresta Estacional Decidual	0,675 e

Médias de densidade básica seguidas da mesma letra não se diferem a 5% de significância
Fonte: Adaptado de Oliveira et al., (2012).

Chave et al., (2009) construíram 2 gráficos representando a distribuição da média de densidade da madeira das espécies que ocorrem na América do Norte e Sul, com dados de espécies de herbários georreferenciados disponíveis na literatura (Figura 3 – A). Através de análise de regressão múltipla dos dados de densidade da madeira (variável dependente) e temperatura média anual e a sua sazonalidade, precipitação média anual e sua sazonalidade (variáveis independentes), construíram um mapa de distribuição da densidade da madeira (Figura 3 – B). O modelo de predição encontrado explica aproximadamente 50% ($r^2=0,49$) a variação da densidade pelas variáveis interpoladas. Através deste estudo é possível prever a distribuição aproximada da média de densidade da madeira em regiões do continente americano.

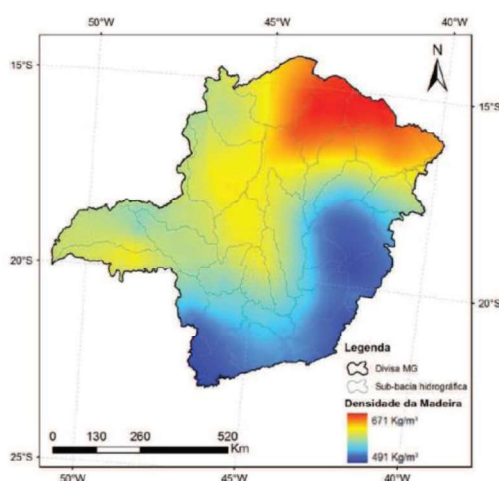
Figura 3 – Distribuição geográfica da densidade da madeira da América do Norte e do Sul



Fonte: Adaptado de Chave et al., (2009).

Oliveira (2014) construiu um mapa de distribuição da densidade para o estado de Minas Gerais através da relação da densidade da madeira e os fatores ambientais (médias anuais de precipitação, temperatura e evapotranspiração) desta região, por meio de uma matriz de dispersão, correlação linear e regressão (Figura 4). Os resultados demonstraram que o padrão de distribuição da densidade descreve um gradiente de densidade e que esta relaciona-se fortemente com as variáveis climáticas estudadas.

Figura 4 – Distribuição espacial da densidade da madeira média no estado de Minas Gerais



Fonte: Oliveira (2014, p.113).

Cada espécie possui características únicas que proporcionam às árvores diferenças na sensibilidade às variáveis ambientais a que elas estão expostas

(SHMULSKY; JONES, 2011). Para a sobrevivência das plantas é fundamental desenvolver características funcionais relacionadas a estruturação mecânico-fisiológica, por meio da plasticidade fenotípica, que é influenciada diretamente pelo ambiente que estão inseridas, e isto as diferenciam em grupos sucessionais diferentes (REICH et al., 2003).

As espécies de árvores classificadas como pioneiras são em geral exigentes em luz, mas capazes de crescer em solos com menor disponibilidade de nutrientes e água. As espécies secundárias possuem algumas restrições de crescimento em ambientes com limitações de recursos, como água e luz (FERRETTI et al., 1995). As espécies tolerantes à sombra, têm madeira de densidade menor e crescem rapidamente para o dossel, escapando de danos mecânicos a longo prazo. Pioneiras de ciclo curto dominam as fases iniciais da sucessão, nas quais o crescimento pode ser rápido e a competição pela luz é forte, mas pioneiras de ciclo longo requerem madeira mais densa para persistir no dossel (READ; STOKES, 2006).

É importante conhecer as variações das características funcionais que ocorrem nas árvores, especialmente em locais onde existe a limitação de recursos, como a água (ACKERLY, 2004). Essas investigações fornecem informações importantes das diferenças interespecíficas que existem nas comunidades, que podem ocorrer devido a alterações nas condições ambientais, conferindo vantagens competitivas a determinadas espécies. Estudar estas características funcionais anatômicas, químicas, físicas e mecânicas das árvores, juntamente com as séries históricas das variáveis ambientais (pluviosidade, radiação solar e temperatura), podem determinar as respostas das plantas às condições secas no espaço e no tempo (READ; STOKES, 2006).

O conhecimento dos mecanismos de sucessão pode facilitar a concepção de estratégias eficazes de restauração florestal adaptadas às condições do sítio. A densidade da madeira pode ser usada como um critério ecológico adicional para a seleção das espécies. Em regiões secas, espécies densas e tolerantes à seca devem ser selecionadas, pois podem tolerar as condições iniciais severas do ambiente. Já nas regiões úmidas, espécies aquisitivas de crescimento rápido devem ser selecionadas, pois podem rapidamente restaurar a cobertura vegetal do local e facilitar a sua sucessão e em conjunto com espécies densas e tolerantes à sombra (POORTER et al., 2019).

Três fatores ambientais são particularmente importantes para o desenvolvimento do xilema e das propriedades da madeira como a densidade: a

precipitação, que é essencial para o crescimento e diferenciação de células do xilema; a radiação solar, para manter as taxas de fotossíntese e fixação de carbono; e temperaturas adequadas (avaliação fisiológica da atividade na árvore) (DREW; DOWNES; EVANS, 2011).

A modificação fenotípica das propriedades hidráulicas da madeira, envolvidas na resistência à seca, pode afetar a sobrevivência e a capacidade dentro de uma população de árvores. Durante a sucessão de florestas tropicais secas, há uma mudança de espécies sucessionais precoces, com características conservadoras para lidar com o ambiente severo, seco e quente, em direção a espécies sucessionais tardias com características aquisitivas que se beneficiam da maior disponibilidade de água e o ambiente mais frio. Se as características envolvidas na resistência à seca são geneticamente variáveis e hereditárias, fenótipos adequados podem ser selecionados e transmitidos para a próxima geração (DALLA-SALDA et al., 2011; LOHBECK et al., 2013).

Nesse caso, indivíduos com maior densidade da madeira podem ser favorecidos em habitats propensos à seca e, portanto, a população local pode evoluir para a formação de lenhos mais densos. Assim, a relação densidade-clima seria mais provavelmente detectada em espécies tolerantes à seca, do que espécies que não sobrevivem com a falta de água (NABAIS et al., 2018). Se a alta densidade da madeira é uma característica adaptativa em áreas propensas à seca, ela deve aumentar com aumento da temperatura e diminuição da precipitação, isto é, com aridez crescente. Isso sugere que a presença de espécies de baixa densidade, em um ambiente mais seco, reflete em estratégias alternativas que potencializam a água e o armazenamento sobre segurança condutora (IBANEZ et al., 2017).

3 METODOLOGIA

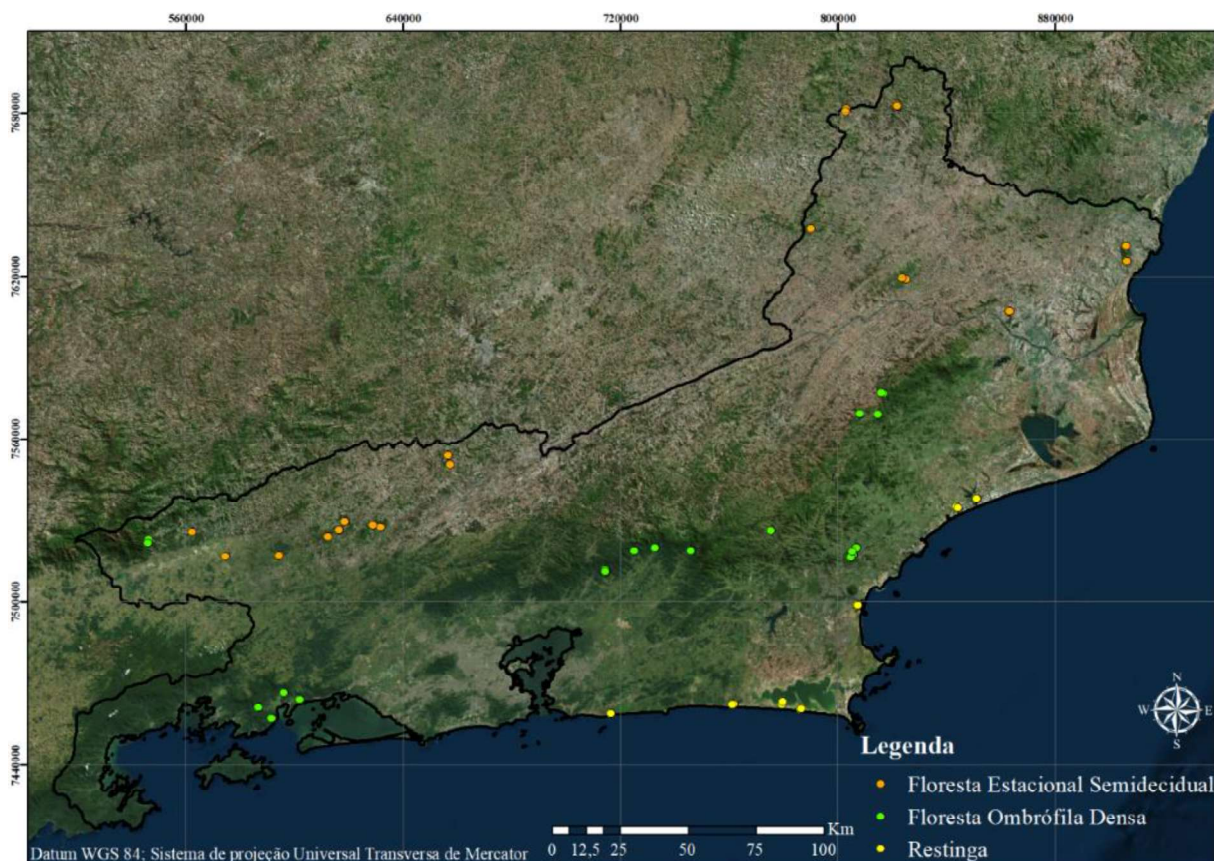
3.1 Área de estudo

O trabalho foi realizado no estado do Rio de Janeiro, situado na região sudeste do Brasil, entre as coordenadas 22°55'S e 43°11'O. Apesar de ser o terceiro menor estado brasileiro apresenta a maior área relativa de remanescentes de Mata Atlântica e a maior densidade demográfica do Brasil (IBGE, 2010). Este estado possui uma composição biológica vegetal bem diversa, com 5 tipologias florestais distintas e dentre estas, as três com maiores porcentagens de vegetação, o que totalizam juntas 98% das florestas, são de Floresta Ombrófila Densa (FOD), Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Restingas (RES), e onde foram selecionadas para o desenvolvimento da pesquisa.

As informações dendrométricas, geográfica e a identificação das espécies arbóreas utilizadas neste estudo foram cedidas pela Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS). Para coleta dos dados no campo utilizou-se como referência as unidades amostrais (UA) adotadas no Inventário Florestal Nacional do Rio de Janeiro (IFN/RJ) realizado em 2018. As unidades amostrais do IFN/RJ foram distribuídas em *grid* sistemático de distâncias que variaram de 2.000 x 2.000 m à 625 x 625 m, cobrindo todas as fitofisionomias florestais do estado (Serviço Florestal Brasileiro, 2018).

A espacialização das árvores amostradas ao longo das formações vegetais do estado se deu em 31 pontos de coleta (Figura 5), incluindo 18 Unidades de Conservação, sendo três nacionais, nove estaduais, três municipais e três Reservas Particulares do Patrimônio Nacional (RPPN), além de áreas de Reserva Legal [RL – área localizada em uma propriedade rural voltada a assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais (BRASIL, 2012)] e de áreas particulares. A composição florística, classificação fitofisionômica, estado de conservação bem como o acesso e a facilidade logística, foram considerados na seleção dos fragmentos e na amostragem das árvores para coleta não destrutiva da madeira.

Figura 5 – Localização dos pontos de amostragem ao longo da cobertura florestal da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, Brasil



Fonte: Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS) (2018).

3.2 Caracterização climática das áreas de coleta

A obtenção dos dados de precipitação média anual (mm ano^{-1}) e temperatura média anual ($^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) no período de 1981 e 2017 para o estudo, seguiu a metodologia utilizada por Rocha (2018). Foram utilizados os dados interpolados por Xavier, King e Scanlon (2015) com precisão de 25 km em escala diária. Existindo falhas de aquisição dos dados meteorológicos, foram utilizados os dados da plataforma NASA POWER descrito por Funk et al., (2015).

3.3 Seleção das espécies e dos indivíduos

Foram catalogadas 1.525 espécies e 13.622 indivíduos nas UA do IFN-RJ/2018. Dessas, foram selecionadas e amostradas para a densidade da madeira, 51 espécies e 260 indivíduos para a FOD, 46 espécies e 206 indivíduos para FES e 25 espécies e 110 indivíduos para RES. Globalmente, 27 espécies ocorreram em pelo

menos 2 formações vegetais, e 50 espécies estavam distribuídas individualmente entre FOD, FES e RES, totalizando 84 espécies e 576 indivíduos (Anexo A).

Os critérios de seleção das espécies foram o de valor comercial da madeira e a sua abundância, com base na análise prévia da estrutura horizontal das formações vegetais no IFN-RJ [abrange os parâmetros, densidade populacional ou abundância, que é o número de indivíduos de cada espécie na composição da floresta (SIMÕES, 2017)]. Foram selecionadas seis espécies de maior valor comercial, e ocorrentes nas três fitofisionomias selecionadas para este estudo: *Pseudopiptadenia contorta* (DC.) G.P. Lewis & M.P. Lima (54 indivíduos amostrados), *Astronium graveolens* Jacq. (53), *Apuleia leiocarpa* (Vogel) J.F. Macbr. (51), *Miconia cinnamomifolia* (DC.) Naudin (50), *Dalbergia nigra* (Vell.) Benth. (28) e *Nectandra membranacea* (Sw.) Griseb. (25). Para as demais espécies selecionadas foram amostrados no mínimo 3 indivíduos.

O segundo critério de escolha das árvores baseou-se na distribuição diamétrica, observada para cada formação florestal. A distribuição diamétrica das espécies nas formações seguiu o padrão “J” invertido, com maior número de indivíduos pertencente às menores classes de diâmetro (SCOLFORO et al., 2008). A amostragem contemplou os distintos diâmetros, sendo o diâmetro mínimo amostrado de 5 cm e o máximo de 160 cm.

De cada árvore selecionada para a avaliação da densidade da madeira, foram também coletadas amostras botânicas férteis (com presença de flor ou fruto) ou estéreis, para a identificação das espécies e tombamento no herbário RBR, do Departamento de Botânica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. As plantas foram identificadas por comparação à exemplares botânicos da coleção presentes no herbário, além de consulta à especialista. As espécies foram classificadas de acordo com o sistema “*Angiosperm Phylogeny Group* - APG” (APG III, 2009) e a nomenclatura atualizada foi conferida no banco de dados do Jardim Botânico do Rio de Janeiro (1990, Lista de Espécies da Flora do Brasil, disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>).

Foram amostrados, pelo método destrutivo, os galhos das copas de 20% dos indivíduos selecionados por fitofisionomia. Estes indivíduos foram escolhidos aleatoriamente, visando abranger árvores com diferentes arquiteturas de copa e classes diamétricas. Foram amostrados galhos grossos (diâmetro > 5 cm) das copas, logo acima da primeira bifurcação das árvores.

De todos os indivíduos amostrados, foram coletados a posição geográfica (coordenadas geográficas), a altitude do ambiente, o diâmetro à altura do peito (DAP),

a altura total da árvore (Ht) e a altura do fuste (Hf) e classificados como pioneiras e não pioneiras de acordo com os trabalhos de Gandolfi, Leitão Filho e Bezerra (1995) e Barbosa et al., (2015).

3.4 Amostragem e determinação da densidade da madeira

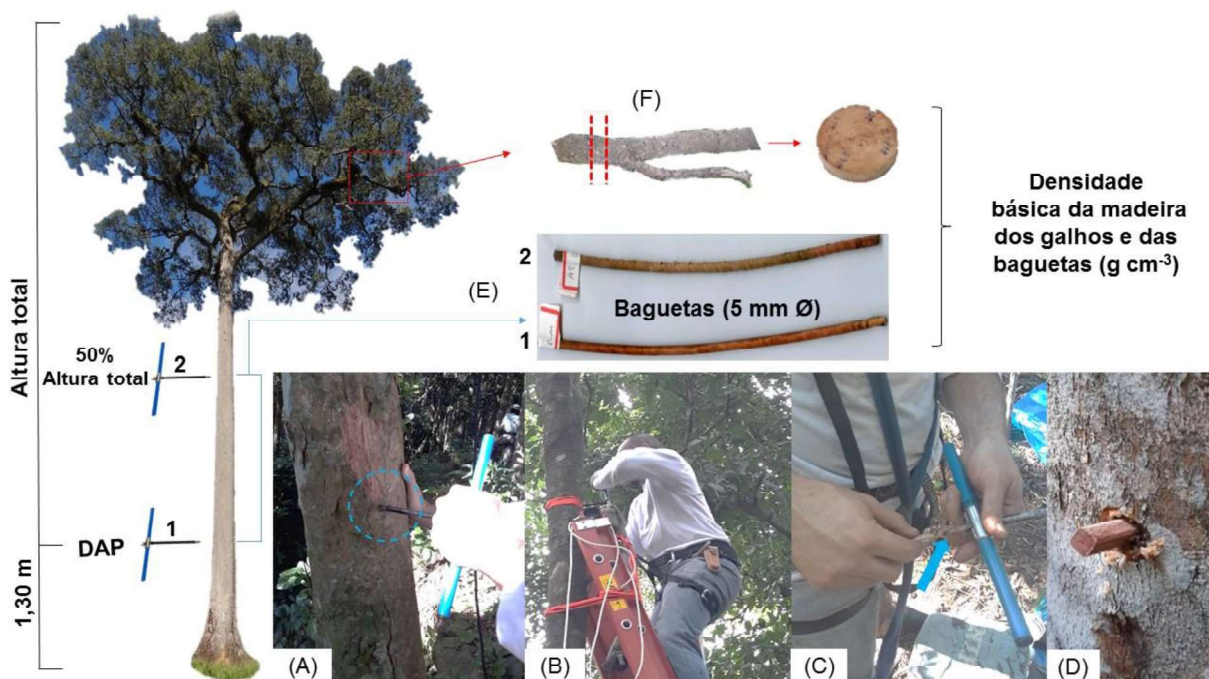
A amostragem da madeira para a determinação da densidade básica foi realizada pelo método não destrutivo, por Sonda de Pressler (*Haglöf Sweden*, modelo AB –Figura 6 A). Foi retirada amostras do lenho de 5 mm de diâmetro na direção Norte/Sul, na profundidade desde a casca até a medula das árvores, calculada pelo raio médio do tronco, em regiões a 1,30 metros do solo (DAP) e meio do fuste (MF). As amostras foram coletadas na posição MF com uso de técnicas de escalada (Figura 6 B).

Em campo, as amostras foram acondicionadas em canudos plásticos para a manutenção do teor de umidade natural e integridade durante o transporte. Para as árvores que tiveram a cubagem de copa, também foi coletada uma amostra de madeira de galho grosso (Figura 6 F), com no mínimo 5 cm de diâmetro para determinação da densidade.

Para o controle das injúrias causadas pela perfuração do tronco pela Sonda de Pressler, foi aplicada uma mistura de Bordeaux ou calda bordalesa (fungicida agrícola composto de sulfato de cobre, cal hidratada ou cal virgem e água) e o orifício foi selado com uso de cavilhas de madeira e cera de abelha (Figura 6 D).

A densidade básica da madeira foi determinada de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003). O volume deslocado determinado pela imersão das amostras de madeira em água, sendo a sua massa seca obtida após 3 dias de secagem em estufa a 103 °C em balança de precisão. A densidade básica da madeira de cada espécie foi determinada pela média aritmética das densidades amostradas na posição DAP e MF (Figura 6).

Figura 6 – Esquema de amostragem e avaliação da densidade da madeira: (A), (B), (C): amostragem da madeira pelo método não destrutivo com a retirada das amostras de madeira; (D): cavilhas de madeira e cera de abelha para selar os orifícios; (E): baguetas identificadas; (F): amostragem e avaliação da densidade da madeira dos galhos



Fonte: a autora.

3.5 Análise dos dados

Os valores de densidade da madeira foram analisados para indicar sua variabilidade entre as fitofisionomias FOD, FES e RES, bem como entre as espécies *Pseudopiptadenia contorta* e *Astronium graveolens* amostradas nas três fitofisionomias. Os valores médios da densidade da madeira por fitofisionomia foram obtidos usando todos os indivíduos amostrados.

As análises estatísticas utilizadas foram realizadas com delineamento inteiramente casualizados (DIC), utilizando o nível de significância de 5%. Aplicou-se a análise de variância (ANOVA), e quando ela foi significativa utilizou-se o teste de Scott-Knott. Como pressuposições da ANOVA e da regressão linear avaliou-se a normalidade dos dados e a homogeneidade de variâncias pelos testes de Shapiro-Wilk e Cochran, respectivamente.

O agrupamento das espécies nativas da Mata Atlântica que ocorreu nas três principais fitofisionomias do estado do Rio de Janeiro (FOD, FES e RES), foi realizado no *software* R (R CORE TEAM, 2014), empregando o método de agrupamento

hierárquico aglomerativo da Mínima Variância, proposto por Ward (1963) e utilizado por Rocha (2018).

A estimação da densidade básica do fuste (variável dependente) foi realizada por análise de regressão, utilizando os dados de densidade básica da madeira de três posições na árvore (Diâmetro a altura do peito – DAP; Meio do fuste – MF e Galho) de todos os indivíduos, como variáveis independentes. Foi utilizado o pacote *Leaps* no software R (R CORE TEAM, 2014) e o método *Exhaustive Search* (ROCHA, 2018).

4 RESULTADOS

4.1 Densidade da madeira das árvores das fitofisionomias

A densidade média da madeira do conjunto de espécies avaliadas provavelmente foi influenciada pelas variáveis ambientais que caracterizam as três fitofisionomias avaliadas (Tabela 2; Apêndice A). As árvores amostradas na FOD apresentaram valor médio de densidade inferior ao das demais fitofisionomias e foram registrados os maiores valores precipitação anual e os menores de temperatura média do ar. A FES e a RES apresentaram valores médios de densidade semelhantes, e não diferiram estatisticamente, sendo registrados valores de precipitação inferior e temperatura superior a FOD.

Tabela 2 – Precipitação e temperatura média anual (1989 – 2017) e densidade básica da madeira de 84 espécies florestais de três fitofisionomias da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

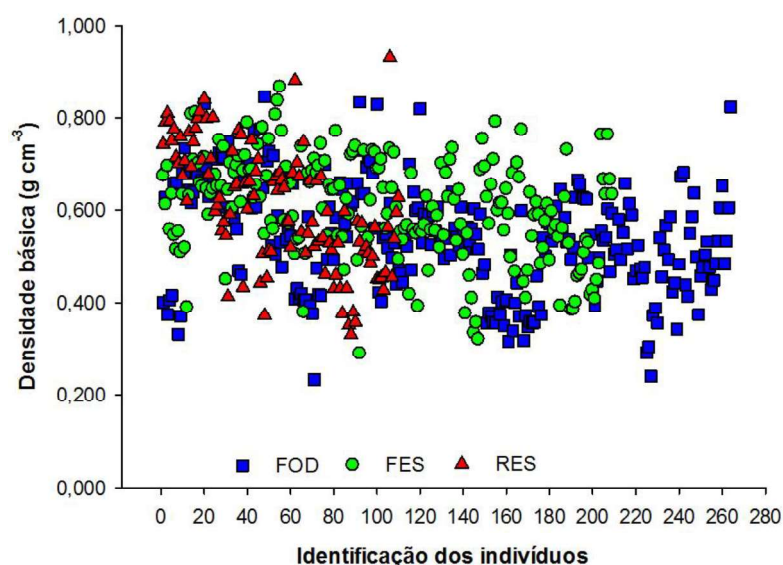
Fitofisionomia	PPT mm ano ⁻¹	CV (%)	T (°C)	CV (%)	Densidade básica da madeira (g cm ⁻³)			
					Mínimo	Média	Máximo	CV (%)
FOD	1780,31	16,25	22,38	7,03	0,234	0,542 b	0,845	21,75
FES	1377,50	16,68	22,71	6,15	0,290	0,603 a	0,867	18,31
RES	1525,64	20,83	23,97	2,81	0,331	0,605 a	0,930	21,51

* Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. CV: coeficiente de variação; T: temperatura; PPT: precipitação; FOD: Floresta Ombrófila Densa; FES: Floresta Estacional Semidecidual e RES: Restinga.

A maior concentração de indivíduos amostrados na FOD possui densidade da madeira entre 0,40 a 0,70 g cm⁻³ (Figura 7) e também apresentou o maior coeficiente de variação, proporcionado pela maior amplitude de densidade entre as espécies. A FES possui maior número de indivíduos com densidades entre 0,60 e 0,70 g cm⁻³. A RES possui maior repetição nas classes de 0,50 e 0,80 g cm⁻³, com indivíduos na classe de 0,90 g cm⁻³.

Para analisar o comportamento individual da densidade da madeira das espécies em cada fitofisionomia, foram selecionadas a *Pseudopiptadenia contorta* (54 indivíduos: 25 FOD; 21 FES; 8 RES) e o *Astronium graveolens* (53 indivíduos: 17 FOD; 17 FES; 18 RES), pois, eram as espécies que possuíam o maior número de indivíduos distribuídos nas três fitofisionomias.

Figura 7 – Distribuição da densidade da madeira das espécies por fitofisionomias, Floresta Ombrófila Densa (FOD), Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Restinga (RES) da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, Brasil



Nas três fitofisionomias, a densidade média da madeira das espécies *Pseudopiptadenia contorta* e *Astronium graveolens* não apresentou diferenças significativas (Tabela 3; Apêndices B e C). Porém, há uma tendência crescente nos valores absolutos de Db da madeira dessas duas espécies de árvores da FOD para a FES e RES, principalmente para a espécie *Astronium graveolens*, com acréscimo de 0,077 g cm⁻³, e com menor coeficiente de variação entre os indivíduos.

Tabela 3 – Valores médios de densidade básica da madeira das espécies *Pseudopiptadenia contorta* e *Astronium graveolens* e médias de altitude, precipitação e temperatura das fitofisionomias do Bioma Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, Brasil

Fito	<i>Astronium graveolens</i>				<i>Pseudopiptadenia contorta</i>			
	Db (g cm ⁻³)	PPT (mm ano ⁻¹)	T (°C)	Alt (m)	Db (g cm ⁻³)	PPT (mm ano ⁻¹)	T (°C)	Alt (m)
FOD	0,663 a	2002,34	22,57	169,1	0,538 a	1998,18	22,74	231,68
FES	0,692 a	1197,63	23,93	266,4	0,551 a	1324,28	-22,3	358,67
RES	0,739 a	1707,52	24,13	15,44	0,565 a	1750,16	23,96	13,36
CV (%)	12,84	24,89	3,61	84,17	13,73	20,45	3,74	86,79

* Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância. Fito: Fitofisionomia; FOD: Floresta Ombrófila Densa; FES: Floresta Estacional Semidecidual; RES: Restinga; Db: densidade básica; PPT: precipitação; T: temperatura; Alt: Altitude; CV: coeficiente de variação

4.2 Grupos de densidade da madeira

De acordo com a densidade média de cada espécie foram gerados três grupos (Figura 8). O dendrograma de agrupamento foi interceptado em 60% de similaridade e 40% de dissimilaridade, e o índice de correlação cofenético foi 0,81. Os grupos foram organizados em ordem crescente, das espécies de menor para as de maior valor de densidade.

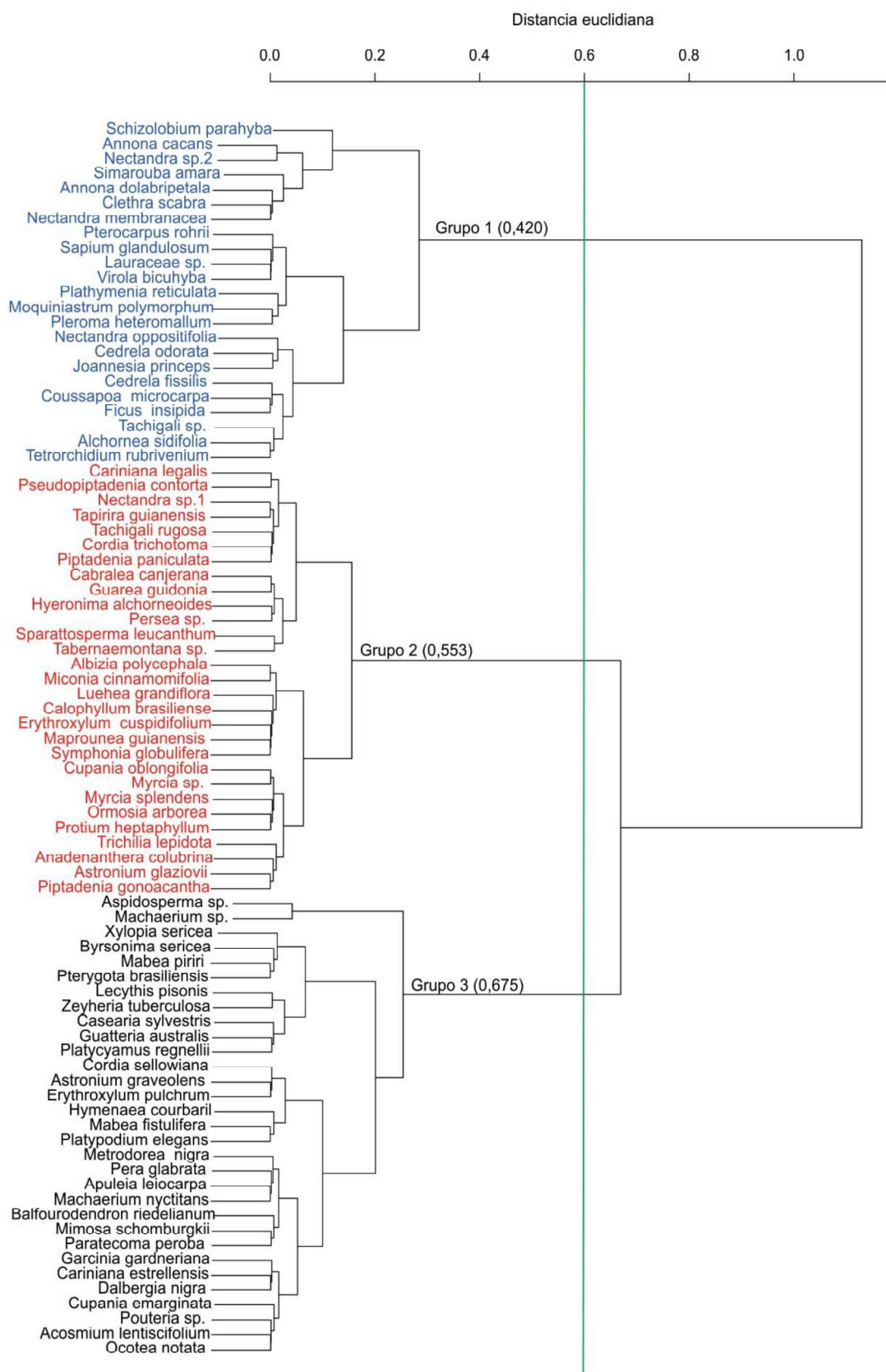
Os três grupos se diferem quanto a densidade básica da madeira (Tabela 4; Apêndices D ao I). O grupo 1 possui média de densidade de $0,420 \text{ g cm}^{-3}$. As espécies que apresentaram a menor e a maior média de densidade foram o *Schizolobium parahyba* ($0,279 \text{ g cm}^{-3}$) e a *Plathymenia reticulata* ($0,494 \text{ g cm}^{-3}$), respectivamente. Entre as duas espécies citadas, existe uma diferença de densidade de $0,215 \text{ g cm}^{-3}$, e 23 espécies, de 83 ao todo, formam este grupo de baixa densidade.

Tabela 4 – Densidade básica, altura total e DAP das espécies e altitude, temperatura e precipitação do ambiente em que elas ocorrem, por grupo de densidade (G1, G2 e G3)

Grupos	Densidade (g cm^{-3})	Altura total (m)	DAP (cm)	Altitude (m)	Temperatura (°C)	Precipitação (mm ano^{-1})
G1	0,420 c	18,01 a	28,44 a	285,92 a	22,32 b	1703,96 a
G2	0,553 b	16,76 a	24,94 b	330,64 a	22,68 b	1508,35 b
G3	0,685 a	15,02 b	21,72 c	216,62 a	23,32 a	1450,88 b
CV (%)	7,48	17,45	21,76	87,51	5,24	15,84

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância. CV: coeficiente de variação.

Figura 8 – Dendrograma de agrupamento pelo método da Mínima Variância de Ward para 83 espécies amostradas nas fitofisionomias Floresta Ombrófila Densa (FOD), Floresta Estacional Semidecidual (FES) e Restinga (RES) do Bioma Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro, Brasil



Entre parênteses: Valores de densidade básica média dos grupos (g cm^{-3}).

O grupo 2, com densidade mediana ($0,553 \text{ g cm}^{-3}$), é formado por 29 espécies sendo a *Sparattosperma leucanthum* (Bignoniaceae) com a menor média ($0,506 \text{ g cm}^{-3}$) e a espécie *Trichilia lepidota* (Meliaceae, $0,595 \text{ g cm}^{-3}$) com a maior densidade.

Formado por 31 espécies de alta densidade, com média de $0,675 \text{ g cm}^{-3}$, a espécie *Xylopia sericea* (Annonaceae, $0,618 \text{ g cm}^{-3}$) e o gênero *Machaerium* sp. (Fabaceae, $0,819 \text{ g cm}^{-3}$) possuem a menor e a maior média de densidade deste grupo, respectivamente.

Os grupos 1 e 2, formados por espécies de baixa e média densidade, respectivamente, possuem indivíduos com a maior média de altura, 18,01 e 16,76 metros, e se diferem dos indivíduos que formam o grupo 3 em até 3 metros de altura. As espécies que formam o grupo 1 possuem o maior DAP em relação ao grupo 2 e 3, com árvores maiores em diâmetro em até 6,72 centímetros.

Independente da altitude de ocorrência natural das espécies amostradas no presente estudo, a densidade básica manteve-se constante. Entretanto, os menores valores de densidade da madeira (grupo 1) foram observados nos locais com menor média de temperatura ($22,32^{\circ}\text{C}$) e maior média de precipitação ($1703,96 \text{ mm ano}^{-1}$). Ocorreu o inverso para as espécies de média e alta densidade (grupo 2 e 3), onde, médias de temperatura entre $22,68$ a $23,32^{\circ}\text{C}$ e precipitação média entre $1508,35$ e $1450,88 \text{ mm ano}^{-1}$, proporcionaram o desenvolvimento de espécies com lenho mais denso.

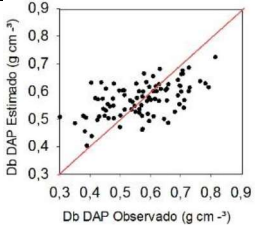
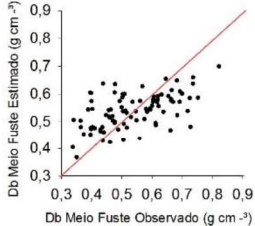
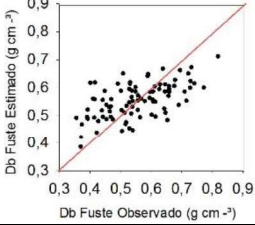
4.3 Variabilidade ao longo do fuste e estimativa da densidade da madeira

A densidade da madeira das amostras coletadas nas três posições do tronco das árvores sendo elas, DAP, meio do fuste e galho, não apresentou diferença significativa (Apêndice J). Existe uma tendência de diminuição da densidade da madeira do DAP ($0,569 \text{ g cm}^{-3}$) para o meio do fuste ($0,534 \text{ g cm}^{-3}$) e aumento desta última para a madeira dos galhos ($0,574 \text{ g cm}^{-3}$).

Foram ajustados modelos de regressão para estimar a densidade da madeira do fuste em função da densidade da madeira dos galhos (variável independente) uma vez que não houve diferenças significativas da densidade da madeira ao longo das árvores (Tabela 5; Apêndices K, L, M). O melhor resultado foi obtido para a estimativa da densidade da madeira das posições DAP e meio do fuste combinadas, em função da determinada nos galhos das árvores. Para este modelo houve as melhores

estimativas e valores próximos aos reais para a densidade da madeira das árvores, proporcionou o menor erro médio (15,72%) e a densidade dos galhos explicou em 34% a variação da densidade ao longo do fuste. O modelo para estimar a densidade do meio do fuste, apesar de explicar em 30,8% a variação de densidade do fuste, apresentou o maior erro (17,65%), o que inviabiliza a utilização do modelo e o tornou não significativo.

Tabela 5 – Modelos de regressão linear simples, medidas de precisão e gráfico de dispersão (observado versus estimado) para a estimativa da densidade da madeira de posições e do fuste por meio da densidade dos galhos das árvores do Bioma Mata Atlântica

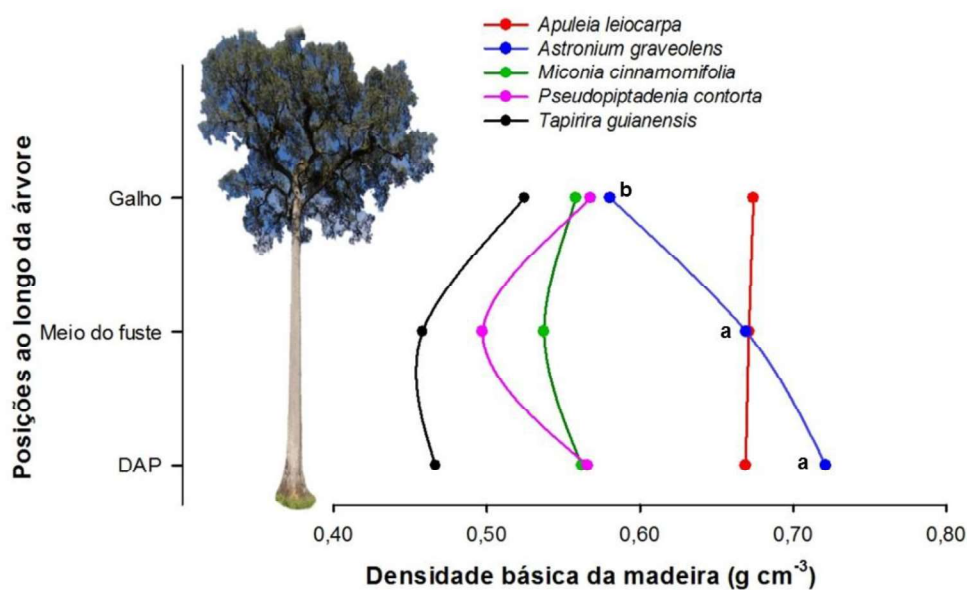
Modelos	R	R ²	Erro médio (g cm ⁻³)	S _{yx} (%)	Gráficos de dispersão
$Db_{Dap} = 0.203 + 0.639 \times DB_{galho}^*$	0,547	0,299	0,095	16,61	
$Db_{mf} = 0.162 + 0.658 \times DB_{galho}^{ns}$	0,555	0,308	0,095	17,65	
$Db_{fuste} = 0.183 + 0.648 \times DB_{galho}^*$	0,583	0,340	0,087	15,72	

Db: Densidade da madeira; Dap: diâmetro a altura do peito; mf: meio do fuste; fuste: média da densidade da madeira do Dap e do MF; R: coeficiente de correlação de Pearson; R²: coeficiente de determinação; S_{yx}: erro padrão da estimativa; ns: não significativo

A fim de investigar a tendência individual da densidade da madeira das espécies da Mata Atlântica, foi verificada a diferença entre as posições da madeira do DAP, meio do fuste e galhos de cinco espécies: *Apuleia leiocarpa*, *Astronium graveolens*, *Miconia cinnamomifolia*, *Pseudoptadenia contorta* e *Tapirira guianenses* são exemplificadas na Figura 9 (Apêndices N ao R). A densidade da madeira do fuste (DAP e meio do fuste) foi maior que a madeira do galho para a espécie *Astronium graveolens*. As espécies *Miconia cinnamomifolia*, *Pseudoptadenia contorta* e *Tapirira guianenses* possuem tendência semelhante de variação de densidade da

madeira ao longo da árvore. Ou seja, ocorreu uma diminuição da densidade do DAP para o meio do fuste de 0,035 g cm⁻³ e um acréscimo para a madeira dos galhos (+ 0,040 g cm⁻³). A espécie *Apuleia leiocarpa* possui comportamento praticamente linear de densidade ao longo da árvore.

Figura 9 – Valores médios de densidade da madeira nas espécies *Apuleia leiocarpa* (n: 9), *Astronium graveolens* (n:5), *Miconia cinnamomifolia* (n:12), *Pseudoptadenia contorta* (n:8) e *Tapirira guianensis* (n:5) nas posições ao longo da árvore



*Médias de densidade básica por posição dentro de cada espécie, seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

5 DISCUSSÃO

5.1 Densidade da madeira das árvores nas fitofisionomias

A densidade da madeira do conjunto de espécies amostrados em cada fitofisionomia foi provavelmente influenciada pelas variáveis ambientais (temperatura e precipitação). Em ambientes mais secos, menor precipitação e maior temperatura média anual (RES e FES), poderia levar a formação de lenhos mais densos pelas espécies e populações, e também a predominância de espécies com maior densidade da madeira do que nas florestas mais úmidas, FOD (Tabela 2). A densidade da madeira é uma característica hereditária (IBANEZ et al., 2017) e com caráter adaptativo associado às condições climáticas de crescimento. Alguns trabalhos investigaram o comportamento das espécies em gradientes climáticos e encontraram a mesma tendência, de aumento de densidade da madeira em locais secos e quentes (CHAVE et al., 2006; OLIVEIRA, 2014; IBANEZ et al., 2017; NABAIS et al., 2018).

As variações de temperatura e precipitação dos locais de amostragem, apesar de contrastantes, não influenciaram as espécies *P. contorta* (Fabaceae) e *A. graveolens* (Anacardiaceae) a desenvolver madeira de maior densidade em ambientes mais secos (Tabela 3), o que demonstra pouca relação com suas propriedades nestas faixas avaliadas. Porém, variações significativas da morfologia de fibras, vasos e parênquima da madeira da espécie *P. contorta*, ocorreram entre as fitofisionomias FOD e FOD Submontana, com redução de mais de 10°C de temperatura e 500 mm anuais de precipitação e aumento de até 2784 m de altitude (RIBEIRO, BARROS, 2006).

Outra possível explicação para a ausência de variação significativa entre a densidade da madeira das duas espécies são as características genéticas e adaptativas dos grupos ecológicos a que pertencem. A classificação ecológica (pioneira, secundária inicial, secundária tardia e clímax) é eficaz na descrição das particularidades morfológicas, comportamentais, fisiológicas e dos mecanismos relacionados às respostas das árvores aos diversos tipos de distúrbios enfrentados, e podem ser consideradas como adaptações de sua história evolutiva (CHAVE et al., 2006). A *P. contorta* é uma secundária inicial, pouco exigente em recursos, e se desenvolve em praticamente todos os locais com o mínimo de condições de crescimento (LEWIS; LIMA, 1990; LORENZI, 2002). A espécie *A. graveolens* é uma

secundária inicial também, característica de terrenos rochosos e secos, com ampla distribuição nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul (Paraná) do Brasil (LORENZI, 2002). Ambas as espécies possuem particularidades influenciadas por mecanismos adaptativos, que as possibilitam crescer e se desenvolver bem nas três fitofisionomias.

Apesar da densidade da madeira ser impulsionada pelas variáveis ambientais de um ecossistema, é uma característica hereditária e com um forte sinal filogenético (NABAIS et. al., 2018). Isso sugere que mesmo que a densidade da madeira possa variar em função do ambiente onde a espécie e populações se encontram, essa faixa é limitada, e a densidade média da espécie, é conservada filogeneticamente (CHAVE et al., 2006).

Não se sabe a partir de que ponto o ambiente ou os traços genéticos se sobressaem na definição da densidade da madeira. Possivelmente, os ambientes de crescimento das árvores com maior amplitude de variação de precipitação e de temperatura exercem maior influência na densidade, sendo significativo em relação aos traços filogenéticos.

5.2 Grupos de densidade da madeira

Os limites de classificação da Db da madeira dos grupos formados para as espécies da Mata Atlântica consideram o valor médio de $0,420 \text{ g cm}^{-3}$ como baixa densidade; $0,553 \text{ g cm}^{-3}$ como média densidade; e $0,685 \text{ g cm}^{-3}$ como alta densidade. Agrupar as espécies similares em relação a densidade da madeira foi importante para observar tendências e relações com as variáveis ambientais dos locais e com os dados morfológicos das espécies.

A densidade da madeira foi baixa para árvores de maior altura e maior diâmetro, presentes em locais com menor temperatura e maiores índices de precipitação anual (Grupo 1, Tabela 4). A altura das árvores aumenta com a disponibilidade de água (PFAUTSCH et al., 2016), investindo em vasos de maiores diâmetros, tornando-as mais eficientes no transporte de água por unidade de área (CHAVE et al., 2006). Essa modificação estrutural, principalmente em relação a disponibilidade de água está fortemente relacionada com a realocação de biomassa (IBANEZ et al., 2017). Os tecidos se rearranjam para que a árvore invista também em fibras de sustentação para suportar seu peso e as forças mecânicas de flexão impostas principalmente pelos ventos (CHAVE et al., 2006; KING et al., 2006) e tornam-se mais densas.

As árvores que cresceram em ambientes mais secos e com maiores temperaturas anuais, investem menos em crescimento em altura e diâmetro (Grupos 2 e 3, Tabela 4). Como as alterações na densidade da madeira estão diretamente associadas as variações estruturais nos níveis molecular, celular e tecidual (HENRY et al., 2010), existe a tendência de acréscimo de densidade com o aumento da temperatura e diminuição da precipitação (CHAVE et al., 2006; OLIVEIRA, 2014; IBANEZ et al., 2017; NABAIS et al., 2018).

A madeira é um tecido complexo e composto principalmente por três tipos principais de células: vasos, fibras e parênquima. A proporção destes está diretamente relacionada com a densidade da madeira (ZIEMINSKA et al., 2013). Em ambientes com menores índices de precipitação e maiores temperaturas, as árvores diminuem o diâmetro dos vasos, pela menor disponibilidade de água e propensão a cavitação destes (entrada de ar e perda da função dos vasos) (MCDOWELL et al., 2008), realocando biomassa para o aumento da espessura de parede e comprimento das fibras (RIBEIRO, BARROS, 2006). O fato de ter utilizado a amostragem da madeira por baguetas com pequenas dimensões (5 mm de diâmetro) impossibilitou a confirmação efetiva por meio de análises anatômicas convencionais.

A altitude média dos ambientes de coleta das espécies não diferiu entre os grupos, e não proporcionou mudanças significativas sobre a densidade da madeira (Tabela 4). Inversamente, a altitude exerceu influência sobre as propriedades químicas, mecânicas e anatômicas da madeira para as espécies *Fagus orientalis* crescendo em Sinop na Turquia e a *Parrotia persica* das florestas naturais da região Noshahr no Irã (KIAEI, SAMARIHA, 2011; KIAEI et al., 2015; TOPALOGLU et al., 2016). A madeira de *Fagus orientalis* apresentou maiores valores de densidade (0,69 para 0,76 g cm⁻³ face norte e de 0,70 para 0,77 g cm⁻³ para a face sul do terreno) à medida que a altitude aumentou (0 a 600 m), enquanto o diâmetro dos vasos diminuiu à medida que sua frequência aumentou e o comprimento das fibras diminuiu (TOPALOGLU et al., 2016). Para a espécie *Carpinus betulus* a densidade da madeira também aumentou com a altitude (300, 750 e 1200 metros), proporcionada por acréscimos da espessura da parede e comprimento das fibras (KIAEI, 2011).

5.4 Variabilidade da densidade da madeira ao longo do fuste e estimativa da densidade da madeira a partir dos galhos

A densidade da madeira amostrada na região do meio do fuste possui o menor valor absoluto entre as posições avaliadas, considerando a tendência de todas as espécies. Nesta posição, há menor volume de madeira (OLIVEIRA, 2014) e maior porcentagem de lenho juvenil do que no DAP (VIDAURRE et al., 2011). A madeira dos galhos possui o maior valor absoluto de densidade dentre as posições devido a formação de lenho de reação, ocasionada principalmente pela ação dos ventos nas copas das árvores (BOSCHETTI et al., 2015). Para estimar a densidade da madeira do meio do fuste por meio da densidade dos galhos foi gerado o modelo 2, não significativo e com o maior erro 17,65% (Tabela 5). Devido a essa diferença de tecidos madeireiros não é possível estimar de forma precisa a densidade da madeira do meio do fuste por meio da densidade da madeira dos galhos.

A posição DAP além de possuir valores absolutos de densidade da madeira próximos dos valores do galho, proporcionou menor erro (16,61%) e melhores estimativas da densidade da madeira das espécies através do modelo 1. Para a extração das baguetas a posição ideal é na altura da cintura, onde o operador da sonda de Pressler tenha estabilidade e possa otimizar sua força. Como exemplo, uma pessoa com 1,70 metros, a altura adequada aproximada para se extrair a bagueta é a 1,10 metros. Abaixo ou muito acima desta altura o operador teria dificuldade em reclinar-se e projetar o corpo sobre a barra de extração (CHAVE, 2006). Adotando-se a altura do DAP como padrão para a retirada das baguetas, teríamos além de conforto para o operador da sonda de Pressler como melhores delineamentos e resultados mais amplos para discussão.

Para o modelo 3 houve as melhores estimativas e valores próximos aos reais para a densidade da madeira das árvores, o que proporcionou o menor erro médio (15,72%) e a densidade dos galhos explicou em 34% a variação da densidade ao longo do fuste. Este modelo foi obtido para a estimativa da densidade da madeira das posições DAP e meio do fuste combinadas, em função da determinada nos galhos das árvores. A combinação das duas posições proporcionou aumento da precisão dos dados e torna assim o modelo representativo. A amostragem das baguetas na posição meio do fuste, como mencionado, é de difícil obtenção o que torna este trabalho ainda mais importante, pois são poucos trabalhos que abordam este tema, e mostra que a melhor amostragem é na região do DAP.

A utilização dos galhos para estimar a densidade da madeira do fuste das espécies torna a amostragem, em locais onde não é permitido por lei a derrubada das árvores ou arbustos, uma opção viável tecnicamente. Os custos para a amostragem são menos dispendiosos e evita a derrubada das espécies, por questões que muitas destas são ameaçadas de extinção ou endêmicas do bioma, ou mesmo que muitas vezes não se tem um uso nobre para muitas espécies derrubadas, e ficam apodrecendo no chão da floresta. É possível otimizar as atividades de campo, ampliando a amostragem com a mudança de técnica, tornando-a mais simples e de menor custo. Isto facilita novas pesquisas e amplia estudos de outras espécies florestais frente a alta diversidade na Mata Atlântica.

Esta técnica de amostragem também foi proposta e avaliada por outros autores. Amostras de madeira dos galhos de 45 espécies foram utilizadas na caracterização de densidade da madeira em florestas tropicais de Queensland na Austrália (FALSTER; WESTOBY, 2005). Para espécies arbóreas do Cerrado, a utilização de galhos médios (3 a 10 cm de diâmetro) proporcionou relações significativas com a densidade do tronco das espécies obtendo alto coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj.} = 0,90$) (SILVA; VALE; MIGUEL, 2015).

Nas árvores individuais, geralmente a densidade da madeira difere entre os galhos, tronco e raízes e também pode variar radialmente dentro do tronco, à medida que a madeira é adicionada na periferia durante o crescimento (HENRY et al., 2010). Todavia, exceções podem ocorrer, como para as espécies *A. leiocarpa* e *Caesalpinia pyramidalis* a Db não variou ao longo da árvore (Figura 7) e para esta última, a porcentagem de fibras, vasos, parênquima da madeira do fuste e dos galhos são semelhantes (SILVA et al., 2009).

Os indivíduos da espécie *A. leiocarpa* amostrados para a determinação da densidade da madeira, são de seis localidades diferentes ao longo do estado do Rio de Janeiro. O comportamento linear da densidade da madeira ao longo do fuste, evidencia que as variáveis, vento, solos, chuva e características da copa das árvores, tiveram pouca influência sobre a densidade da madeira dos galhos, e que a herdabilidade da densidade, teve provavelmente maior peso na linearidade desta variável ao longo da árvore.

Para a espécie *Cedrella fissilis* presente em um fragmento florestal da fitofisionomia FOD do estado de Santa Catarina, todas as posições amostradas (DAP 0%, 10%, 50%, 75%, 95% e galhos) apresentaram diferenças significativas e uma

tendência de diminuição da densidade ao longo do fuste com aumento da densidade dos galhos (VALÉRIO et al., 2008). A formação de lenho de reação nos galhos, ocasionada principalmente pela ação dos ventos (BOSCHETTI et al., 2015), pode acarretar mudanças nas propriedades da madeira por menor que seja sua velocidade e frequência (VIDAURRE et al., 2013). A diminuição do diâmetro dos vasos, aumento do comprimento e espessura da parede das fibras e por seguinte aumento da densidade da madeira foram algumas alterações relatadas sob efeito do vento em espécies florestais (MONTEIRO et al., 2010). Essa tendência foi observada para a maioria das espécies avaliadas no presente trabalho, indicando a possível ocorrência de lenho de reação nos galhos e por conseguinte aumento da densidade da madeira destes.

A espécie *A. graveolens* apresentou diminuição da densidade do fuste para a madeira dos galhos (Figura 7). Essa mesma tendência foi observada para a madeira da espécie *Prosopis juliflora* (CUNHA, 2012). A porcentagem de lenho juvenil (madeira mais nova) que aumenta com a altura das árvores, é caracterizada principalmente por fibras de menor comprimento e paredes celulares mais finas (VIDAURRE et al., 2011) o que torna a madeira dos galhos menos densa. Silva, Vale e Miguel (2015) coletaram três classes de diâmetro de galhos (grosso: maior que 10 cm; médio: de 3 a 10 cm; fino: menor que 3 cm) e observaram que os de diâmetro médio foram os que melhor representaram a madeira do fuste. Os galhos finos possuem alta proporção de lenho juvenil, subestimando os valores de densidade do fuste, e os galhos grossos, com proporção elevada de lenho de reação, os superestimam.

Para a amostragem desta pesquisa, o único critério adotado para a coleta dos galhos foi de diâmetros maiores que 5 cm, independente da espessura e do tamanho da árvore. É possível que para algumas espécies, a faixa de densidade que realmente representa a madeira do fuste esteja em um intervalo específico dos galhos, diferente do que foi amostrado. Para coletas futuras é interessante estabelecer outras classes de diâmetros para melhor analisar as variações de densidade da madeira, e verificar se existe relação das dimensões da árvore, em diâmetro e altura, com o diâmetro coletado dos galhos e a representação da densidade do galho para o fuste.

6 CONCLUSÕES

Existe relação entre a densidade da madeira e as variáveis ambientais características das fitofisionomias, na qual a precipitação e a temperatura interferem na densidade da madeira do conjunto de espécies de cada fitofisionomia da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro.

As espécies *Pseudopiptadenia contorta* e o *Astronium graveolens* distribuídas nas tipologias secas e úmidas apresentam características herdadas geneticamente que se sobressaem aos fatores ambientais, mantendo a densidade da madeira pouco alterada independente da fitofisionomia.

A altitude não influencia no incremento ou decréscimo da densidade básica da madeira das espécies da Mata Atlântica do Rio de Janeiro.

As espécies possuem menor altura e DAP em locais com menores índices pluviométricos, e possuem madeira com densidade alta.

Amostragem na região do meio do fuste as quais são dispendiosas, não representaram o fuste como um todo, reforçando a utilização da amostragem no DAP. O galho pode ser utilizado para estimar a densidade da madeira quando as árvores não podem ser colhidas ou amostradas por sonda, pois sua densidade se assemelha a do fuste quando coletado com diâmetro acima de 5 cm.

REFERÊNCIAS

ANGYOSPERM PHYLOGENY GROUP -APG III. 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanic al Journal of the Linnean Society**. 161: 105-121, 2009.

ACKERLY, D. D. Adaptation, niche conservatism, and convergence: comparative studies of leaf evolution in the California Chaparral. **The American Naturalist**, v. 163, n. 5, p. 654-671, 2004. (DOI: 10.1086 / 383062
<https://www.jstor.org/stable/10.1086/383062>)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR-11941**: Madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

AZEVEDO, A. D.; FRANCELINO, M. R.; CAMARA, R.; PEREIRA, M. G.; LELES, P. S. S. Estoque de carbono em áreas de restauração florestal da Mata Atlântica. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 183-194, 2018. (DOI: 10.5380/rf.v48 i2.54447)

BATISTA, J. L. F.; COUTO, H. T. Z.; SILVA FILHO, D. F. **Quantificação de recursos florestais**: árvores, arvoredos e florestas. 1º Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. 384p. (ISBN: 9788579751530)

BOSCHETTI, W. T. N.; PAES, J. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; DUDECKI, L. Características anatômicas para produção de celulose do lenho de reação de árvores inclinadas do eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 6, p. 459-467, 2015. (<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2015000600004>.)

BRASIL. **Lei Nº 9.985**, de 18 de julho de 2000. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 18 de julho de 2000.

BRASIL. **Lei Nº 12.651**, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 25 de maio de 2012.

CHAVE, J.; COOMES, D.; JANSEN, S.; LEWIS, S. L.; SWENSON, N. G.; ZANNE, A. E. Towards a worldwide wood economics spectrum. **Ecology Letters**, Oxford, v.12, p.351-366, 2009. (doi: 10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x)

CHAVE, J. Medição da densidade da madeira em árvores tropicais, manual de campo. Toulouse, France. 2006.

CHAVE, J.; MULLER-LANDAU, H. C.; BAKER, T. R.; EASDALE, T. A; STEEGE, H. T.; WEBB, C. O. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2456 Neotropical tree species. **Ecological Applications**, v. 16, n. 6, p. 2356-2367, 2006. (DOI: 10.1890 / 1051-0761 (2006) 016 [2356: rapvow] 2.0.co; 2).

CUNHA, A. B. **Análise das propriedades físicas, mecânicas e energéticas da parte aérea e tronco de Algaroba (*Prosopis juliflora*)**. 2012. 40 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

DALLA-SALDA, G.; MARTINEZ-MEIER, A.; COCHARD, H.; ROZENBER, P. Variation of wood density and hydraulic properties of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)

Franco) clones related to a heat and drought wave in France. **Forest Ecology and Management**, v. 257, p. 182-189, 2009. (DOI: 10.1016 / j.foreco.2008.08.019)

DALLA-SALDA, G.; MARTINEZ-MEIER, A.; COCHARD, H.; ROZENBERG, P. Genetic variation of xylem hydraulic properties shows that wood density is involved in adaptation to drought in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.)). **Annals of Forest Science**, v. 68, n. 4, p. 747–757, 2011. (DOI: 10.1007/s13595-011-0091-1)

DREW, D. M.; DOWNES, G. M.; EVANS, R. Short-term growth responses and associated wood density fluctuations in variously irrigated *Eucalyptus globulus*. **Trees**, v. 25, p. 153-161, 2011. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-010-0494-x>)

FALSTER, D. S.; WESTOBY, M. Alternative height strategies among 45 dicot rain forest species from tropical Queensland, Australia. **Journal of Ecology**, v. 93, p. 521-535, 2005. (DOI: 10.1111 / j.0022-0477.2005.00992.x).

FERRETTI, A.R.; KAGEYAMA, P.Y.; ARBOCS, G.F.; SANTOS, J.D.; BARROS, M.I.A. OLIVEIRA, C. Classificação das espécies arbóreas em grupos ecológicos para revegetação com nativas no Estado de São Paulo. **Florestar Estatístico**, v.3. n.7, p. 73-77, 1995.

FUNK, C. et al., The climate hazards infrared precipitation with stations a new environmental record for monitoring extremes. **Scientific Data**, v. 2, p. 150066, 2015. (DOI: 10.1038 / sdata.2015.66).

GANDOLFI, S.; LEITÃO FILHO, H. F.; BEZERRA, C. L. F. Levantamento florístico e caráter sucessional das espécies arbustivos-arbóreas de uma floresta mesófila semidecídua no município de Guarulhos, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 55, n. 4, p. 753-767, 1995. (ISSN 0034-7108).

GOMMERS, C. M. M.; VISSER, E. J. W.; ONGE, K. R.; VOESENEK, L. A. C. J.; PIERIK, R. Shade tolerance: when growing tall is not an option. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 2, p. 1360-1385, 2013. (doi: 10.1016 / j.tplants.2012.09.008).

GONÇALEZ, J. C.; SANTOS, G. L.; JUNIOR, F. G. S.; MARTINS, I. S.; COSTA, J. A. Relações entre dimensões de fibras e densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

HENRY, M.; BESNARD, A.; ASANTE, W. A.; ESHUN, J.; ADU-BREDU, S.; VALENTINI, R.; BERNOUX, M.; SAINT-ANDRÉ, L. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. **Forest Ecology and Management**, v. 260, p. 1375-1388, 2010. (DOI: 10.1016/j.foreco.2010.07.040).

IBANEZ, T.; CHAVE, J.; BARRABÉ, L.; ELODIE, B.; BOUTREUX, T.; TRUEBA, S.; VANDROT, H.; BIRNBAUM, P. Community variation in wood density along a bioclimatic gradient on a hyper-diverse tropical island. **Journal of Vegetation Science**, n. 28, p.19–33, 2017.(DOI: <https://doi.org/10.1111/jvs.12456>).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. São Paulo. IBGE. Manuais Técnicos em Geociências n.1. 92p, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. Rio de Janeiro. Manuais Técnicos em Geociências n.1. 271p, 2012.

I INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=10&uf=00>>. Acesso em: 10 de mar. 2020.

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE - INEA. **Mata Atlântica**. 2012. Disponível em:<<http://www.inea.rj.gov.br/Portal/Agendas/BIODIVERSIDADEEAREASPROTEGIDAS/MataAtlantica/index.htm&lang=>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2020.

JARDIM BOTÂNICO DO RIO DE JANEIRO. **Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. vol. 30. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1990, 218 p.

KIAEI, M; BRANCH-IRAN, C. Basic density and fiber biometry properties of hornbeam wood in three different altitudes at age 12. **Middle-East Journal of Scientific Research**, v. 8, n. 3, p. 663-668, 2011.

KIAEI, M.; SAMARIHA, A. Relationship between altitude index and wood properties of *Pinus eldarica* Medw (case study in north of Iran). **Gazi University Journal of Science**, v. 24, n. 4, p. 911-918, 2011.

KIAEI, M.; KORD, B.; CHEHALMARDIAN, A.; MOYA, R.; FARSI, M. Mineral content in relation to radial position, altitude, chemical properties and density of persian ironwood. **Maderas. Ciência y tecnologia**, v. 13, n. 13, p. 657 – 672, 2015. (DOI:10.4067/S0718-221X2015005000058).

KING, D. A.; DAVIES, S. J.; TAN, S.; NOOR, N. S. M. The role of wood density and stem support costs in the growth and mortality of tropical trees. **Journal of Ecology**, v. 94, p. 670-680, 2006. (DOI: 10.1111 / j.1365-2745.2006.01112.x).

LEITÃO FILHO, H. F. L. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e subtropicais do Brasil. **IPEF**, n. 35, p. 41-46, 1987. (http://files.pedroeisenlohr.webnode.com.br/200000480-db2dfdc27d/Leit%C3%A3o-Filho_1987_IPEF.pdf)

LEWIS, G. P.; LIMA, M. P. M. Arquivos do Jardim Botânico do Rio de Janeiro. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, v. 30, p. 43-67, 1990.

LOHBECK, M. et al., Successional changes in functional composition contrast for dry and wet tropical forest. **Ecology** 94, 1211–1216 (2013). (<https://doi.org/10.1890/12-1850.1>).

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 382 p. 2002.

MACHADO, S. A; FIGUEIREDO-FILHO, A. **Dendrometria**. 3º Ed. Guarapuava: UNICENTRO, 2014. 316 p.

MARTIN, A. R.; DORAISAMI, M.; THOMAS, S. C. Global patterns in wood carbon concentration across the world's trees and forests. **Nature Geoscience**, v. 11, p. 915-920, 2018.

MCDOWELL, N. et al., Mechanisms of plant survival and mortality during drought : why do some plants survive while others succumb to drought. **New Phytologist**, p. 719–739, 2008.

MONTEIRO, T. C.; SILVA, R. V.; LIMA, J. T.; BARAÚNA, E. E. P.; CARVALHO, D. M.; LIMA, M. T. 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.

Myers, N., Mittermeier, R., Mittermeier, C. et al., hotspots de biodiversidade para as prioridades de conservação. **Nature**, v. 403, 853-858 (2000).

NABAIS, C. et al., The effect of climate on wood density: What provenance trials tell us?. **Forest Ecology and Management**, New York, v. 408, p. 148-156, 2018.

OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M.; TRUGILHO, P. F.; SCOLFORO, J. R. S.; ALTOÉ, T. F. SILVA NETO.; A. J. OLIVEIRA, A. D. Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira nas fitofisionomias no estado de Minas Gerais. **Cerne**, v. 18, n. 2, p. 345-352, 2012.

OLIVEIRA, G. M. V. **Densidade da madeira em Minas Gerais: amostragem, espacialização e relação com variáveis ambientais**. 2014. 126 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2014.

PFAUTSCH, S.; HARBUSCH, M.; WESOLOWSKI, A.; SMITH, R.; MACFARLANE, C.; TJOELKER, M. G.; REICH, P. B.; ADAMS, M. A. Climate determines vascular traits in the ecologically diverse genus *Eucalyptus*. **Ecology Letters**, v. 19, p. 240-248, 2016.

POORTER, L. et al., Wet and dry tropical forests show opposite successional pathways in wood density but converge over time. **Ecology & Evolution**, v. 3, p. 928-934, 2019.

R Core Team, 2014. R: **A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 out.2019.

READ, J.; STOKES, A. Plant biomechanics in an ecological context. **American Journal of Botany**, v. 93, n. 10, p. 1546-1565, 2006.

REICH, P. B. et al.. The evolution of plant functional variation: traits, spectra, and strategies. **International Journal of Plant Science**, v. 164, p. 143-64, 2003.

REICH, P. B.. The World-Wide ‘fast-Slow’ Plant Economics Spectrum: A Traits Manifesto. **Journal of Ecology**, v. 102, n. 2, p. 275-301, 2014.

RIBEIRO, M. L. R. C.; BARROS, C. F. Variação intraespecífica do lenho de *Pseudopiptadenia contorta* (DC.) G.P. Lewis & M. P. Lima (Leguminosae - Mimosoideae) de populações ocorrentes em dois remanescentes de Floresta Atlântica. **Acta Botanica Brasilica**, v. 20, n. 4, p. 839-844, 2006.

RIZZINI, C. T. Nota prévia sobre a divisão fitogeográfica (florística-sociologia) do Brasil. **Revista Brasileira Geografia**. v. 1, p. 3-53, 1963.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF/ESALQ: Instituto BioAtlântica, 2009. 256 p.

ROCHA, M. G. **Densidade básica da madeira de eucalipto em gradientes climáticos no Brasil**. 2018. 48 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2018.

SCOLFORO, J. R. et al., Equações para a quantidade de carbono das fisionomias, em Minas Gerais. In: SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W. (Org.). **Inventário Florestal de Minas Gerais - Equações de Volume, Peso de Matéria Seca e Carbono para Diferentes Fisionomias da Flora Nativa**. Lavras: UFLA, 2008. cap. 8, p. 198-216.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Inventário Florestal Nacional**: Rio de Janeiro: principais resultados. Brasília, DF: MMA, 2018. 111 p. (Série Relatórios Técnicos - IFN). Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/publicacoes>>. Acesso em: 07 mar. 2019.

SOS Mata Atlântica. **MATA ATLÂNTICA**. Disponível em <<https://www.sosma.org.br/>>. Acesso em: 03 fev. 2020.

SOS Mata Atlântica. **Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica**. São Paulo. 35. 2018.

SHMULSKY, R.; JONES, P. D. **Forest products and wood science an introduction**. 6 ed. Iowa: Wiley-Blackwell, 2011, 477 p.

SILVA, C. J.; VALE, A. T.; MIGUEL, E. P. Densidade básica da madeira de espécies arbóreas de Cerradão no estado de Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 82, p. 63-75, 2015.

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

SIMÕES, M. C. **Mata Nativa**. Viçosa: 2017. Disponível em: <<http://www.matanativa.com.br/blog/estrutura-horizontal-da-floresta/>>. Acesso em: 07 out. 2019.

SWENSON, N. G.; ZAMBRANO, J. Why wood density varies across communities. **Journal of Vegetation Science**, v. 28, p. 4-6, 2017.

TOPALOGLU, E.; AY, N.; ALTUN, L.; SERDAR, B. Effect of altitude and aspect on various wood properties of oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) wood. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 40, p. 397-406, 2016.

VALÉRIO, A. F.; WATZLAWICK, L. F.; SILVESTRE, R.; KOEHLER, H. S. Determinação da densidade básica da madeira de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) ao longo do fuste. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 1, n. 1, p. 23-28, 2008.

VARJABEDIAN, R. Lei da Mata Atlântica: retrocesso ambiental. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 147-160, 2010.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. 1991. 124 p.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Lenho juvenil e adulto e as propriedades da madeira. **Floresta e Ambiente**. V. 18, n. 4, p. 469-480, 2011.

VIDAURRE, G. B.; LOMBARDI, L. R.; NUTTO, L.; FRANÇA, F. J. N.; OLIVEIRA, J. T. S.; ARANTES, M. D. C. Propriedades da madeira de reação. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n. 1, p. 26-37, 2013.

WARD, J. H. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **Journal of the American Statistical Association**, v. 58, p.236-244, 1963.

XAVIER, A. C., KING, C. W., SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 2659, p. 2644-2659, 2015.

ZIEMINSKA, K.; BUTLER, D. W.; GLEASON, S. M.; WRIGHT, I. J.; WESTOBY, M. Fibre wall and lumen fractions drive wood density variation across 24 Australian angiosperms. **AoB Plants**, v. 5, p. 1-14, 2013.

ANEXOS

Anexo A – Espécies florestais amostradas, número de indivíduos e densidade básica da madeira em g cm⁻³

Espécie	Db (g/cm ³)	N	Espécie	Db (g/cm ³)	N
<i>Acosmium lentiscifolium</i>	0,661	3	<i>Ormosia arborea</i>	0,576	2
<i>Albizia polycephala</i>	0,554	5	<i>Paratecoma peroba</i>	0,686	8
<i>Alchornea cf. sidifolia</i>	0,428	4	<i>Pera glabrata</i>	0,680	7
<i>Anadenanthera colubrina</i>	0,554	4	<i>Persea sp.</i>	0,529	2
<i>Anadenanthera colubrina var. cebil</i>	0,658	2	<i>Piptadenia gonoacantha</i>	0,584	17
<i>Annona cacans</i>	0,351	2	<i>Piptadenia paniculata</i>	0,537	1
<i>Annona cf. dolabripetala</i>	0,390	1	<i>Plathymenia reticulata</i>	0,494	3
<i>Apuleia leiocarpa</i>	0,682	50	<i>Platycyamus regnellii</i>	0,649	3
<i>Aspidosperma sp.</i>	0,777	6	<i>Platypodium elegans</i>	0,715	3
<i>Astronium glaziovii</i>	0,584	4	<i>Pouteria sp.</i>	0,663	1
<i>Astronium graveolens</i>	0,699	52	<i>Protium heptaphyllum</i>	0,575	1
<i>Balfourodendron riedelianum</i>	0,693	1	<i>Pseudopiptadenia contorta</i>	0,547	54
<i>Basilloxylon brasiliensis</i>	0,605	3	<i>Pterocarpus rohrii</i>	0,466	13
<i>Byrsonima sericea</i>	0,611	3	<i>Sapium glandulosum</i>	0,469	3
<i>Cabrera canjerana</i>	0,521	5	<i>Schizolobium parahyba</i>	0,279	3
<i>Calophyllum brasiliense</i>	0,558	3	<i>Simarouba amara</i>	0,367	8
<i>Cariniana cf. estrellensis</i>	0,669	1	<i>Sparattosperma leucanthum</i>	0,506	9
<i>Cariniana cf. legalis</i>	0,545	4	<i>Symphonia globulifera</i>	0,560	3
<i>Casearia sylvestris</i>	0,645	3	<i>Tabernaemontana sp.</i>	0,514	3
<i>Cedrela fissilis</i>	0,410	5	<i>Tachigali cf. rugosa</i>	0,533	2
<i>Cedrela odorata</i>	0,434	5	<i>Tachigali multijuga</i>	0,422	5
<i>Clethra scabra</i>	0,386	4	<i>Tapirira guianensis</i>	0,539	20
<i>Cordia sellowiana</i>	0,702	2	<i>Tetrorchidium rubrivenium</i>	0,428	4
<i>Cordia trichotoma</i>	0,535	3	<i>Tibouchina granulosa</i>	0,479	3
<i>Coussapoa cf. microcarpa</i>	0,413	1	<i>Trichilia cf. lepidota</i>	0,595	1
<i>Cupania emarginata</i>	0,656	4	<i>Virola bicuhyba</i>	0,470	6
<i>Cupania oblongifolia</i>	0,579	6	<i>Xylopia sericea</i>	0,618	6
<i>Dalbergia nigra</i>	0,668	28	<i>Zeyheria tuberculosa</i>	0,629	2
<i>Erythroxylum cf. cuspidifolium</i>	0,561	1			
<i>Erythroxylum pulchrum</i>	0,700	4			
<i>Ficus cf. insipida</i>	0,413	2			
<i>Garcinia gardneriana</i>	0,671	7			
<i>Guarea guidonia</i>	0,523	9			
<i>Guatteria australis</i>	0,652	1			
<i>Hyeronima alchorneoides</i>	0,526	8			
<i>Hymenaea courbaril</i>	0,721	4			
<i>Joannesia princeps</i>	0,439	7			
<i>Lauraceae sp.</i>	0,471	1			
<i>Lecythis pisonis</i>	0,633	4			
<i>Luehea cf. grandiflora</i>	0,564	3			
<i>Mabea cf. piri</i>	0,605	1			
<i>Mabea fistulifera</i>	0,715	3			
<i>Machaerium nyctitans</i>	0,682	3			
<i>Machaerium sp.</i>	0,819	1			
<i>Maprounea guianensis</i>	0,560	3			
<i>Metrodorea cf. nigra</i>	0,677	4			
<i>Miconia cinnamomifolia</i>	0,554	50			
<i>Mimosa artemisiana</i>	0,688	4			
<i>Moquiniastrum polymorphum</i>	0,483	1			
<i>Myrcia sp.</i>	0,578	2			
<i>Myrcia splendens</i>	0,572	3			
<i>Nectandra membranacea</i>	0,387	25			
<i>Nectandra oppositifolia</i>	0,449	6			
<i>Nectandra sp.1</i>	0,539	3			
<i>Nectandra sp.2</i>	0,338	3			

APÊNDICES

Apêndice A – Análise de variância da densidade da madeira de 33 espécies em três fitofisionomias da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Fitofisionomia	2	0,1876	0,093783	6,3162*	0,0019
Resíduo	436	6,4737	0,014848		
Total	438	6,6613			
Média de densidade da madeira das fitofisionomias		FOD 0,552 b	FES 0,597 a	RES 0,581 a	CV% 21,28

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância.

Apêndice B – Análise de variância da densidade da madeira da espécie *Astronium graveolens* em três fitofisionomias da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	0,0533	0,02664	3,3093	0,0449
Resíduo	49	0,3944	0,0080		
Total	51	0,4477			
Média de densidade da madeira (g cm ⁻³)		FOD 0,662 a	FES 0,693 a	RES 0,739 a	CV% 12,84

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância.

Apêndice C – Análise de variância da densidade da madeira da espécie *Pseudopiptadenia contorta* em três fitofisionomias da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	0,0049	0,0025	0,4345	0,6499
Resíduo	51	0,2876	0,0056		
Total	53	0,2925			
Média de densidade da madeira (g cm ⁻³)		FOD 0,538 a	FES 0,551 a	RES 0,565 a	CV% 13,73

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância.

Apêndice D – Análise de variância para a Altura total das árvores nos três grupos de densidade da madeira previamente selecionados para espécies da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	122,60	61,299	7,4352	0,0010924
Resíduo	80	659,55	8,244		
Total	82	782,15			
Médias de Altura Total (m)		Grupo 1 18,011 a	Grupo 2 16,760 a	Grupo 3 15,016 b	CV% 17,45

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância.

Apêndice E – Análise de variância da Altitude dos ambientes nos três grupos de densidade da madeira das espécies da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	198137	99069	1,7024	0,18879
Resíduo	80	4655600	58195		
Total	82	4853738			
Médias de Altitude (m)		Grupo 1 285,926 a	Grupo 2 330,642 a	Grupo 3 216,6236 a	CV% 87,51

Gl: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância

Apêndice F – Análise de variância do DAP das árvores nos três grupos de densidade da madeira das espécies da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	598,41	299,204	10,351	0.00010048
Resíduo	80	2312,48	28,906		
Total	82	2910,88			
Médias de DAP (cm)		Grupo 1 28,440 a	Grupo 2 24,940 b	Grupo 3 21,722 c	CV% 21,76

Gl: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância

Apêndice G – Análise de variância do Densidade básica das árvores nos três grupos de densidade da madeira das espécies da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	0,86207	0,43103	244,19	8.6747e-35
Resíduo	80	0,14121	0,00177		
Total	82	1,00328			
Médias de Volume (cm³)		Grupo 1 0,420 a	Grupo 2 0,553 b	Grupo 3 0,675 c	CV% 7,48

Gl: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância

Apêndice H – Análise de variância da Temperatura dos ambientes nos três grupos de densidade da madeira das espécies da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	14,095	7,0477	4,9285	0,0095833
Resíduo	80	114,398	1,4300		
Total	82	128,494			
Médias de Temperatura (°C)		Grupo 1 22,317 b	Grupo 2 22,680 b	Grupo 3 23,320 a	CV% 5,24

Gl: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância

Apêndice I – Análise de variância da Precipitação dos três grupos de densidade da madeira das espécies da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	893465	446732	7,4951	0.0010386
Resíduo	80	4768254	59603		
Total	82	5661719			
Médias de Precipitação (mm)		Grupo 1 1703,958 a	Grupo 2 1508,354 b	Grupo 3 1450,877 b	CV% 15,84

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância

Apêndice J – Análise de variância da densidade da madeira das posições ao longo da árvore (DAP, Meio do fuste e galho) das espécies da Mata Atlântica do estado do Rio de Janeiro.

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	0,0625	0,031229	2,69	0,0697
Resíduo	270	3,1345	0,011609		
Total	272	3,1969			
Médias de densidade da madeira (g cm ⁻³)		DAP 0,569	Meio do fuste 0,534	Galho 0,574	CV% 19,2

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. CV: coeficiente de variação

Apêndice K – Análise de regressão do modelo 1

Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F	Ft
Regressão	1	0,339042732	0,339043	37,91305	2,08755E-08
Resíduo	89	0,795894992	0,008943		
Total	90	1,134937723			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores
Interseção	0,202701444	0,060386092	3,356757	0,001161	0,082715564
DB galho	0,638769825	0,103740911	6,157357	2,09E-08	0,432638846

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado

Apêndice L – Análise de regressão do modelo 2

Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F	F t
Regressão	1	0,359455	0,359455122	39,56274	1,15883E-08
Resíduo	89	0,808627	0,009085699		
Total	90	1,168082			
	Coeficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores
Interseção	0,162311024	0,060867	2,666642454	0,0091	0,041369221
DB galho	0,657717673	0,104567	6,289891509	1,16E-08	0,449944454

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado

Apêndice M – Análise de regressão do modelo 3

Fonte de variação	GL	SQ	MQ	F	Ft
Regressão	1	0,349174346	0,349174346	45,90466404	1,29703E-09
Resíduo	89	0,676979506	0,007606511		
Total	90	1,026153852			
	Coefficientes	Erro padrão	Stat t	valor-P	95% inferiores
Interseção	0,182506234	0,055692511	3,277033649	0,00149675	0,0718464
DB galho	0,648243749	0,095677525	6,775298078	1,29703E-09	0,458134545

GL: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado

Apêndice N – Análise de variância da densidade da madeira da espécie *Apuleia leiocarpa*

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	0,000114	0,00005692	0,027909	0,97251
Resíduo	23	0,046911	0,00203962		
Total	25	0,047025			
Médias de densidade da madeira (g cm ⁻³)		Dap 0,669 a	mf 0,671 a	Galho 0,674 a	CV% 6,73

Gl: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância

Apêndice O – Análise de variância da densidade da madeira da espécie *Astronium graveolens*

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	0,050656	0,0253279	4,8636	0,028384
Resíduo	12	0,062492	0,0052077		
Total	14	0,113148			
Médias de densidade da madeira (g cm ⁻³)		Dap 0,721 a	mf 0,669 a	Galho 0,580 b	CV% 10.98

Gl: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância

Apêndice P – Análise de variância da densidade da madeira da espécie *Miconia cinnamomifolia*

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	0,004232	0,0021162	0,48365	0,62083
Resíduo	33	0,144394	0,0043756		
Total	35	0,148626			
Médias de densidade da madeira (g cm ⁻³)		Dap 0,562 a	mf 0,537 a	Galho 0,558 a	CV% 11,97

Gl: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância

Apêndice Q – Análise de variância da densidade da madeira da espécie *Pseudopiptadenia contorta*

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	0,025824	0,0129122	1,7934	0,19095
Resíduo	21	0,151194	0,0071997		
Total	23	0,177019			
Médias de densidade da madeira (g cm ⁻³)		Dap 0,566 a	mf 0,497 a	Galho 0,568 a	CV% 15,61

Gl: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância

Apêndice R – Análise de variância da densidade da madeira da espécie *Tapirira guianenses*

Fonte de variação	GL	SQ	QM	Fc	Ft
Tratamento	2	0,01316	0,0065844	1,9793	0,18076
Resíduo	12	0,039919	0,0033266		
Total	14	0,053088			
Médias de densidade da madeira (g cm ⁻³)		Dap 0,466 a	mf 0,458 a	Galho 0,525 a	CV% 11,94

Gl: Grau de liberdade; SQ: Soma de quadrados; QM: Quadrado médio; Fc: F calculado; Ft: F tabelado. * Médias de densidade básica por fitofisionomia seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott a 5% de significância