



**GABRIEL MARCOS VIEIRA OLIVEIRA**

**DENSIDADE DA MADEIRA EM MINAS  
GERAIS: AMOSTRAGEM, ESPACIALIZAÇÃO E  
RELAÇÃO COM VARIÁVEIS AMBIENTAIS**

**LAVRAS – MG**

**2014**

**GABRIEL MARCOS VIEIRA OLIVEIRA**

**DENSIDADE DA MADEIRA EM MINAS GERAIS: AMOSTRAGEM,  
ESPACIALIZAÇÃO E RELAÇÃO COM VARIÁVEIS AMBIENTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. José Márcio de Mello

**LAVRAS – MG**

**2014**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e  
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Oliveira, Gabriel Marcos Vieira.

Densidade da madeira em Minas Gerais : amostragem,  
espacialização e relação com variáveis ambientais / Gabriel Marcos  
Vieira Oliveira. – Lavras : UFLA, 2014.

125 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 201.

Orientador: José Márcio de Mello.

Bibliografia.

1. Densidade básica da madeira. 2. Geoestatística. 3. Fatores  
climáticos. 4. Florestas nativas. I. Universidade Federal de Lavras.

II. Título.

CDD – 634.9285

**GABRIEL MARCOS VIEIRA OLIVEIRA**

**DENSIDADE DA MADEIRA EM MINAS GERAIS: AMOSTRAGEM,  
ESPACIALIZAÇÃO E RELAÇÃO COM VARIÁVEIS AMBIENTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciências Florestais, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 21 de novembro de 2014.

Dr <sup>a</sup> . Adriana Leandra de Assis	UFMG
Dr. Antônio Carlos Ferraz Filho	UFLA
Dr. Carlos Rogério Mello	UFLA
Dr. Paulo Ricardo Gherardi Hein	UFLA

Dr. José Márcio de Mello  
Orientador

**LAVRAS – MG**

**2014**

*Aos meus pais, Mateus e Eva, pelo vínculo sublime na minha  
vida e pelo amor em seu pleno significado.  
Ao meu primo e “irmão” Marco Antônio  
(in memoriam).*

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela certeza de sempre estar ao meu lado, certamente sem O qual jamais chegaria aqui.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), ao Departamento de Ciências Florestais (DCF), ao Laboratório de Estudos em Manejo Florestal (LEMAF) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

Ao meu orientador, professor José Márcio de Mello, pelos ensinamentos e conhecimento repassados, pela disponibilidade sempre que precisei, além do incentivo e apoio nos momentos de incerteza e reconhecimento dos trabalhos realizados.

Aos professores e demais funcionários do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo conhecimento compartilhado.

Aos amigos e colegas dos cursos de graduação, mestrado e doutorado, pelo convívio, auxílio, amizade, pelos momentos de descontração e companheirismo.

Aos amigos de república temporária, Willian e Leandro, por me acolherem. Obrigado também pelos momentos de descontração e lazer durante essa fase.

Aos meus pais, Mateus e Eva, e a minha irmã, Thaysa, pelo amor, educação, incentivo, valores, apoio incondicional e principalmente pelos sacrifícios que fizeram e fazem para que eu possa realizar meus sonhos.

Aos amigos e colegas de trabalho do IDAF, especialmente ao meu chefe Nézio, José Antônio, João Pedro, Márcio, Alcemar e Michel (“Viludinho”). Obrigado pelo apoio, sobretudo ao Nézio e ao José Antônio. A conclusão desse curso não seria possível sem a colaboração de vocês e obrigado também por

tornar meu trabalho menos estressante e mais descontraído. Fico feliz por fazer parte desse grupo excepcional.

Ao Sr. José Martins, à D. Célia e a toda sua maravilhosa família que me acolheram e me tratam indistintamente dos demais membros. Obrigado pela amizade, amor, companheirismo, preocupação e pelos deliciosos almoços de domingo. Sr. José Martins, nesse caso, posso me considerar um cara realmente de sorte.

A minha namorada Marcela, por estar presente nessa etapa da minha vida, certamente sem seu apoio tudo seria mais difícil. Obrigado pelo carinho, amizade, incentivo, dedicação e companheirismo.

Em fim, a todos que de alguma maneira contribuíram para que eu pudesse chegar até aqui e concluir este trabalho com sucesso.

*“A vida sem ciência é uma espécie de morte.”*

Sócrates



## RESUMO GERAL

Há relatos na literatura sobre a influência de fatores ambientais na formação de padrões de densidade da madeira. Estudos com florestas nativas tropicais são raros e pouco conclusivos, sobretudo pela dificuldade metodológica e grande variabilidade da densidade da madeira, tornando-a de difícil previsão e modelagem. Assim, o objetivo geral foi verificar se a densidade da madeira em formações florestais nativas possui relação com variáveis ambientais. Os dados foram provenientes do Inventário Florestal de Minas Gerais e são compostos por 1988 árvores cubadas em todo o território, das quais, foram retirados discos para determinação da densidade da madeira. Foram utilizadas técnicas e ferramentas de análise de variância, regressão linear e geoestatística para tentar alcançar os objetivos. Para tanto, a presente tese foi composta por três artigos. Foi possível encontrar uma relação teórica coerente da densidade da madeira com as características edafoclimáticas que condicionam as diferentes fitofisionomias no Estado de Minas Gerais. Também foi possível estimar com precisão a densidade do fuste com um número menor de cinco discos desde que amostrados em posições específicas e de acordo com a fitofisionomia. Detectou-se também que a densidade da madeira possui alto grau de dependência espacial, sendo possível observar padrões correlatos numericamente com as variáveis ambientais. A densidade da madeira relaciona-se fortemente com fatores climáticos, de modo que, florestas sujeitas a menor precipitação, maior temperatura e maior evapotranspiração apresentaram as maiores densidades da madeira, sugerindo, supostamente, um mecanismo fisiológico de melhoria da eficiência no uso da água.

Palavras-chave: Densidade básica da madeira. Geoestatística. Fatores climáticos. Florestas nativas.

## GENERAL ABSTRACT

There are reports in literature on the influence of environmental factors over the formation of wood density patterns. Studies with tropical native forests are rare and little conclusive, above all because of the methodological difficulty and large variability of wood density, making prediction and modeling difficult. Therefore, the general objective of this work was to verify if the wood density in native forest formations is related to environmental variables. The data derived from the Forest Inventory of Minas Gerais and are comprised of 1988 trees scaling in all the territory, of which, we removed discs for determining wood density. We used analysis of variance techniques and tools, linear regression and geostatistics to attempt at reaching the objectives. For this, tree articles comprised the present dissertation. It was possible to find a coherent theoretical relation of the wood density with the soil and climate characteristics that condition the different vegetation type in the state of Minas Gerais, Brazil. It was also possible to estimate with precision the density of the shaft with the smaller number of five discs, as long as sampling in specific positions and according to the vegetation type. We also detected that the wood density presents high degree of spatial dependence, being possible to observe patterns numerically correlated with the environmental variables. The density of the wood is strongly related to climatic factors, in a way that, forests subjected to lower precipitation, higher temperature and higher evapotranspiration present the highest wood densities, supposedly suggesting a physiological mechanism to improve the efficiency in the use of water.

Keywords: Basic density of the wood. Geostatistics. Climatic factors. Native forests.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE</b>	
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO ..... 11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO ..... 14</b>
<b>2.1</b>	<b>Densidade da madeira ..... 14</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Densidade da madeira e sua relação com a biomassa e carbono..... 17</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Amostragem do fuste para determinação da densidade da madeira..... 20</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Variação da densidade da madeira e relações com fatores ambientais ..... 22</b>
<b>2.2</b>	<b>Características climáticas das fitofisionomias de Minas Gerais..... 25</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS GERAIS ..... 29</b>
<b>3.1</b>	<b>Base de dados ..... 29</b>
<b>3.1.1</b>	<b>Cubagem rigorosa ..... 29</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Densidade da madeira ..... 33</b>
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES GERAIS ..... 36</b>
	<b>REFERÊNCIAS ..... 38</b>
	<b>ANEXOS ..... 46</b>
	<b>SEGUNDA PARTE - ARTIGOS ..... 56</b>
	<b>ARTIGO 1 Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira nas fitofisionomias no estado de Minas Gerais ..... 56</b>
	<b>ARTIGO 2 Amostragem do fuste e equações para estimar a densidade da madeira em diversas fitofisionomias para fins de biomassa ..... 75</b>
	<b>ARTIGO 3 Estrutura de dependência espacial da densidade da madeira e relações com variáveis ambientais ..... 98</b>

## **PRIMEIRA PARTE**

### **1 INTRODUÇÃO**

A densidade da madeira em estudos de florestas nativas, excetuando a área de tecnologia da madeira, sempre assumiu papel secundário na estimativa de outras variáveis a ela relacionadas, comportando-se simplesmente como item metodológico nas pesquisas. Uma melhor abordagem da densidade surge, ainda que incipiente, a partir de estudos de biomassa nos ecossistemas florestais, sobretudo aqueles ligados ao ciclo do carbono, que se intensificaram e assumiram destaque após o Protocolo de Quioto, que estabeleceu mecanismos de flexibilização para controle e redução das emissões atmosféricas.

A biomassa e o carbono tornaram-se variáveis de destaque nas pesquisas a partir do estabelecimento de relações com inúmeras outras dendrométricas, edafoclimáticas e bióticas, para estabelecimento de modelos estatísticos dos mais simples aos espaciais, buscando quantificações, estimativas e entendimento dessas variáveis. No entanto, a densidade da madeira, que é uma variável imprescindível nesse processo quando se envolve técnicas volumétricas, não tem sido devidamente estudada.

Portanto, a densidade é uma variável que deve ser encarada de forma diferenciada e ser determinada da forma mais adequada possível, uma vez que se relaciona diretamente com massa de matéria seca a partir do seu produto pelo volume. Qualquer negligência nessa fase pode comprometer toda a credibilidade da estimativa de biomassa e, por consequência, de carbono.

Segundo Nogueira et al. (2007), é possível encontrar inúmeros trabalhos que estimam a biomassa para grandes áreas a partir de dados de densidade básica obtidas empiricamente, usando modelos incompatíveis ou valores médios retirados da literatura. Acontece que muitos desses valores de densidades são

obtidos a partir de um único disco aleatório para representar a árvore; baixo número de indivíduos por espécie; espécies aleatórias; sem um sistema de amostragem planejado; valores de densidade do ponto de vista tecnológico; dentre outros problemas, os quais ocorrem, geralmente, pelas limitações financeiras dos projetos de pesquisa.

A explicação mais plausível para que a densidade seja tratada dessa maneira é sua grande variabilidade em todos os âmbitos, tornando-a de difícil previsão e conseqüentemente de difícil modelagem, além do custo de sua determinação do ponto de vista técnico, logístico e financeiro. Resultados mais adequados requerem uma ampla base de dados coletados em grandes áreas amostrais de maneira planejada, desenvolvidos para representar a população de interesse, o que nem sempre é possível (NOGUEIRA et al., 2007).

Nesse contexto, o Inventário Florestal de Minas Gerais apresenta uma fonte potencial de informações e de dados que podem ser utilizados no desenvolvimento de estudos para obter estimativas da densidade da madeira das florestas nativas e de estabelecer relações espaciais e ambientais entre variáveis, sobretudo pela grande diversidade de condições de crescimento do Estado.

Autores relatam importantes influências ambientais que podem induzir padrões de densidade da madeira, entretanto, geralmente, se limitam às espécies em plantios comerciais. São raros os estudos do efeito do ambiente sobre a densidade de madeiras nativas tropicais, e a maioria são pouco conclusivos e restritos a uma única espécie e, eventualmente, a pequenos grupos de espécies. Na literatura é possível encontrar que variações de determinados fatores ambientais conduzem padrões de densidade da madeira. Em geral, condições ambientais favoráveis à atividade cambial das plantas acarretaram densidades da madeira mais baixas, assim como o inverso para condições desfavoráveis. Apesar de ser uma tendência plausível, não se sabe a continuidade espacial nem a relação matemática com esses fatores ambientais. Dados de densidade da

madeira de formações nativas, obtidos por meio de inventário florestal em grandes áreas, confrontados com dados de zoneamento climático com o uso de técnicas geoestatísticas pode ser uma estratégia metodológica eficiente para comprovação dos padrões expressos na literatura.

Assim, a presente tese se baseia na hipótese de que o padrão de formação de densidade da madeira em florestais nativas possui relação com fatores ambientais. Portanto, objetivo geral desta tese foi verificar se a densidade da madeira nas formações florestais nativas do Estado de Minas Gerais possui correlação com variáveis ambientais, em especial, as climáticas.

Para tanto, o conteúdo deste material foi dividido em duas partes. Na primeira parte, é apresentada uma abordagem introdutória, o referencial teórico, a metodologia geral e as considerações finais. A segunda parte é composta por três artigos científicos, os quais tiveram por objetivos específicos:

- a) Artigo 1: verificar o comportamento geral da densidade da madeira das espécies arbóreas nativas, frente às diferentes condições ambientais de crescimento nas fitofisionomias no estado de Minas Gerais com base em uma abordagem teórica.
- b) Artigo 2: determinar o número mais adequado de discos, as melhores posições de amostragem ao longo do fuste e propor equações que permitam estimar a densidade básica da parte aérea lenhosa das árvores utilizando um número reduzido de discos, em diversas fisionomias florestais, para subsidiar estimativas de biomassa.
- c) Artigo 3: identificar a possível estrutura de dependência espacial da densidade da madeira no estado de Minas Gerais, gerar um mapa de distribuição dessa variável e identificar possíveis correlações dela com variáveis climáticas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

O referencial teórico resume-se a uma revisão geral sobre a densidade da madeira, suas relações com a biomassa e carbono, amostragem do fuste para sua determinação, variabilidade e relações com fatores ambientais e, por fim, aborda as características climáticas gerais das fitofisionomias de Minas Gerais.

### **2.1 Densidade da madeira**

A densidade ou massa específica sob um conceito físico é a relação entre a massa de um corpo e o seu volume, não obstante, a densidade da madeira é a massa de madeira contida em unidade de volume. De maneira geral, a densidade da madeira é resultado da combinação da quantidade e da distribuição dos diferentes elementos anatômicos (BRASIL; FERREIRA, 1972; FERREIRA; KAGEYAMA, 1978; ROQUE; TOMAZELLO-FILHO, 2009).

A densidade da madeira é a combinação de sólidos e espaços vazios. Os primeiros correspondem às paredes celulares dos elementos anatômicos, enquanto os segundos correspondem aos lumens, vasos, células do parênquima, pontuações, perfurações e outras fissuras naturais. Esta fração sólida é quimicamente representada pelos componentes fundamentais (celulose, lignina e hemiceluloses) e componentes acidentais (extrativos e outros) (BURGER; RICHTER, 1991). As variações da massa específica dependem principalmente das mudanças na proporção dos vasos e da espessura das paredes celulares das fibras (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

A madeira é um material poroso e o valor numérico da densidade depende da inclusão ou não do volume de poros. Se a determinação do volume incluir o volume dos poros, obtém-se a densidade aparente, se a determinação do volume não incluir o volume dos poros, obtém-se a densidade real ou

verdadeira, o que corresponde à densidade da parede celular, cujo valor é igual a  $1,53 \text{ g.cm}^{-3}$ , independente da espécie (VITAL, 1984).

Dentre as várias maneiras de expressar a densidade aparente da madeira, uma das mais práticas é a densidade básica, que é a relação entre a massa absolutamente seca de madeira, e o seu volume verde ou completamente saturado de água (FOELKEL; BRASIL; BARRICHELO, 1971; VITAL, 1984).

A utilização da densidade básica, dentre outros fatores, é muito difundida por todo o mundo, visto que a madeira é uma substância higroscópica que, sob diferentes condições de umidade relativa e temperatura, adquire diferentes teores de umidade, levando a mesma amostra a diferentes massas e volumes. Assim, em condições absolutamente secas a madeira apresenta a sua massa real sem a água e no máximo teor de umidade, também denominado “ponto de saturação das fibras”, apresenta o seu máximo volume. Acima do “ponto de saturação das fibras”, a água ocorre na forma livre, não contribuindo para a variação dimensional da madeira (VITAL, 1984).

Os métodos usados, para a obtenção de amostras para a determinação da densidade básica da madeira, se dividem em métodos destrutivos e não destrutivos. No método destrutivo, é necessário o abate das árvores, seja para retirada da amostra em forma de discos, cunhas, cavacos, etc. Por sua vez, no método não destrutivo ou semidestrutivo, apenas pequenas inserções e, ou, pequenas quantidades de amostras são retiradas da árvore sem a necessidade de abate das mesmas, dentre os quais se pode citar o Pilodyn®, Resistógrafo, Espectroscopia no Infravermelho Próximo – NIRS, etc. (GOUVÊA et al., 2011; HEIN et al., 2009; THIERSCH et al., 2006).

A determinação da densidade básica da madeira é um dos principais ensaios realizados como parâmetros para a avaliação da qualidade da madeira, tornando-se uma das propriedades físicas mais importantes, pois dela depende a maior parte das demais propriedades. Dessa forma, ela fornece muitas



informações sobre as características desse material, servindo na prática como uma referência para usos diversos da madeira, porém não deve ser considerada como um índice isolado de qualidade (BRASIL; VEIGA; FERREIRA, 1977; MATTOS et al., 2011).

Para cálculo da densidade da madeira, a determinação da massa pode ser feita simplesmente por uma balança, entretanto, a determinação do volume é mais difícil e as diferenças entre as diversas técnicas de determinação da densidade são, geralmente, oriundas das diversas maneiras de se estimar o volume. Os métodos mais comumente empregados na determinação da densidade da madeira são: Método de Imersão ou Balança Hidrostática, Máximo Teor de Umidade, Método de Medição Direta do Volume e Método da Flutuação. O Método de Imersão é o mais utilizado e baseia-se no princípio enunciado por Arquimedes, em que a perda aparente de peso de um corpo imerso em líquido é igual ao peso do líquido deslocado. Este método é considerado um dos mais precisos e pode ser usado para amostras com formato irregular, sendo o volume determinado pela variação de peso do líquido, em virtude da imersão da amostra de madeira (VITAL, 1984).

Souza, Carpim e Barrichello (1986) relatam a existência de uma relação direta da densidade com várias áreas da ciência florestal, sendo na tecnologia da madeira ligada às características do produto final, como rendimento em celulose, resistências físico-mecânicas do papel, produção e qualidade do carvão, etc. No melhoramento florestal, evidencia o potencial de seleção das espécies, por existir grande variação entre árvores, apresenta alta herdabilidade, baixa interação genótipo x ambiente, é de fácil determinação e correlaciona-se positiva e fortemente à produção e qualidade da madeira (BRASIL et al., 1980; ZOBEL; TALBERT, 1984). No manejo florestal, determina o tipo de prática a ser aplicado em função do produto final. No inventário florestal, está ligada à produtividade

da floresta em termos de quantidade de matéria seca ou biomassa e no planejamento florestal, auxilia nos processos de regulação da produção.

Para o inventário florestal, foco do presente trabalho, a biomassa ou peso seco pode ser considerada uma medida da produção e produtividade florestal, dentre as quais se destacam a quantificação para fins energéticos e, de um ponto de vista contemporâneo, essa variável pode ser convertida em peso de carbono, que por sua vez subsidia estimativas de emissão e sequestro de gases do efeito estufa na atmosfera (FEARNSIDE, 2008; NOGUEIRA et al., 2007; SILVEIRA, 2010).

### **2.1.1 Densidade da madeira e sua relação com a biomassa e carbono**

As estimativas de biomassa nos ecossistemas florestais têm assumido destaque para um grande conjunto de aspectos como a comercialização de produtos, estudos da produtividade do sistema florestal, estudos de fluxos de energia, ciclagem de nutrientes, estudos do ciclo global do carbono, etc. (HIGUCHI et al., 1998; SILVEIRA, 2010; SOARES; LEITE; GÖRGENS, 2005). Esse último é indubitavelmente o de maior destaque nos estudos atuais, uma vez que se tem um consenso mundial de que estratégias devem ser estudadas e empregadas para redução da concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico, na tentativa de reduzir o risco dessas alterações (SOARES; LEITE; GÖRGENS, 2005). Como a quantidade de carbono estocada ou a ser sequestrada depende da variável biomassa, esta precisa ser determinada de forma precisa, caso contrário haverá inconsistência na quantificação do carbono fixado nos ecossistemas florestais (SANQUETTA, 2002).

As determinações de biomassa convencionais referem-se principalmente à biomassa do estrato arbóreo acima do solo, uma vez que este é de mais fácil mensuração e contribui significativamente com a biomassa total no sistema

florestal. Dentro do estrato arbóreo acima do solo, o fuste compõe a fração mais representativa da biomassa na árvore e da biomassa total da floresta, sendo que sua determinação deve ser feita da forma mais precisa possível (SANQUETTA, 2002; VIEIRA; SANQUETTA; BARBEIRO, 2009).

A quantificação de biomassa florestal divide-se em métodos diretos e indiretos. Métodos diretos implicam determinações, ou seja, medição real feita diretamente nas árvores abatidas, individualmente ou por parcelas, seus componentes separados e a biomassa quantificada por gravimetria ou volumetria, posteriormente extrapolada para área total de interesse. Nos métodos indiretos, são feitas estimativas baseadas principalmente em dados advindos dessas determinações, assim como de dados originados de inventários florestais, correlacionando a biomassa com alguma variável de fácil obtenção e que não requeira a destruição do material vegetal. As estimativas podem ser feitas por meio de relações quantitativas ou matemáticas, como razões ou regressões de dados provenientes de inventários florestais (*DAP*, Altura e Volume), sendo conhecidas como equações “alométricas” nesse caso, por dados de sensoriamento remoto (imagens de satélite) e utilizando-se uma base de dados em um sistema de informação geográfica (GIS) (HIGUCHI; CARVALHO-JÚNIOR, 1994; SANQUETTA, 2002; SEGURA, 2005; SILVEIRA et al., 2008).

A determinação da biomassa do fuste de árvores é usualmente realizada através de técnicas gravimétricas e volumétricas. A técnica gravimétrica consiste na pesagem de todo o fuste da árvore, ou de secções, no campo e coleta de amostras deste fuste para posterior determinação do seu teor de umidade médio em laboratório. De posse do teor de umidade médio, este é aplicado ao fuste como um todo e a biomassa é, então, determinada (HIGUCHI; CARVALHO-JÚNIOR, 1994). Já através da técnica volumétrica, a mais empregada e mais viável para árvores maiores, a estimativa da biomassa é obtida pelo produto do

volume da árvore pela densidade básica da madeira. Geralmente, o volume da árvore é determinado por meio de algum método de cubagem rigorosa e a densidade básica através de métodos destrutivos com a retirada de discos de madeira amostrados no fuste (SILVEIRA et al., 2008; VISMARA, 2009).

A estimativa de estoque de carbono por sua vez pode ser obtida do produto da biomassa florestal pela concentração de carbono. A concentração de carbono na vegetação por unidade de biomassa, obtida por Higuchi e Carvalho-Junior (1994) está em torno de 0,48, valor este que está dentro dos limites de concentrações em florestas tropicais (entre 0,46 e 0,52). Scolforo, Oliveira e Acerbi Júnior (2008) obtiveram concentrações de carbono variando de 0,47 a 0,51 dentre as diversas regiões do Estado de Minas Gerais.

Portanto, tratando-se de métodos diretos ou indiretos pela técnica volumétrica para se determinar/estimar a biomassa e o estoque de carbono, a densidade básica da madeira é imprescindível. Silveira et al. (2008), abordando o estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais, trazem referências e apresentam inúmeros métodos, fórmulas e equações em que a densidade básica da madeira aparece como variável independente ou intrínseca no processo.

No entanto, assim como a obtenção do volume, o processo de amostragem dos discos e as análises em laboratório exigem técnica, muito tempo e recurso para serem executados. Assim, é possível encontrar trabalhos em que estimativas de densidades médias por espécies, obtidas empiricamente ou retiradas da literatura, são usadas associadas a dados de volumetria, para determinação da biomassa arbórea acima do solo (FEARNSIDE, 1997; NOGUEIRA et al., 2007; NOGUEIRA; NELSON; FEARNSIDE, 2005). Desse modo, métodos de estimativa da biomassa, baseados na utilização da densidade média obtida muitas vezes com apenas um disco amostrado aleatoriamente, baixo número de indivíduos por espécie, dados de densidade do ponto de vista

tecnológico, podem levar a estimativas pouco confiáveis (NOGUEIRA; NELSON; FEARNSSIDE, 2005).

Melhorar a estimativa da biomassa de florestas tropicais requer uma ampla base de dados coletados em áreas amostrais grandes, com o uso de um método de amostragem planejado, desenvolvido para representar a população de interesse (SANTOS, 1996; SILVEIRA et al., 2008), idealmente é importante amostrar dados de densidade de madeira nas áreas de estudo, mais que simplesmente usar valores publicados de médias de espécie (NOGUEIRA, 2008). Nesse contexto, o Inventário Florestal de Minas Gerais contém tanto informações volumétricas de inventário, como amostragem de árvores com determinação da densidade em todo o estado, com tamanhos de amostras baseadas em aspectos fitossociológicos das espécies, distribuídas em classes de diâmetros e altura, abrangendo diferentes bacias e sub-bacias hidrográficas e em diversas fisionomias florestais e regiões.

### **2.1.2 Amostragem do fuste para determinação da densidade da madeira**

A amostragem é uma das maiores dificuldades para se obter resultados significativos que representem toda a árvore, devido à grande variabilidade da densidade básica, em todos os aspectos (ZOBEL; BUIJTENEN, 1989 citados por PÁDUA, 2009). O ideal seria retirar amostras múltiplas em diferentes alturas da árvore e posições radiais. Isso nem sempre é possível, pois a amostragem é mais difícil e demanda tempo (DOWNES et al., 1997).

As medições da densidade básica no tronco são realizadas tradicionalmente utilizando-se discos normalmente retirados nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, e frequentemente na altura do *DAP* (BENJAMIN; BALLARIN, 2006; FRANCO et al., 1998; SCOLFORO; OLIVEIRA; ACERBI JÚNIOR, 2008; VISMARA, 2009).

Para estimativas de biomassa, essa metodologia nem sempre é aplicada, sendo comum encontrar trabalhos em que estimativas de densidades médias por espécies obtidas empiricamente ou retiradas da literatura (FEARNSIDE, 1997; NOGUEIRA et al., 2007; NOGUEIRA; NELSON; FEARNSIDE, 2005). Esses trabalhos, realizados na região amazônica, às vezes justificam sua metodologia pelo elevado custo de se estabelecer equações empíricas de biomassa (NOGUEIRA, 2008). Entretanto, podem levar a estimativas pouco confiáveis (NOGUEIRA; NELSON; FEARNSIDE, 2005), como já citado anteriormente.

Estudos semelhantes são mais comuns com espécies do gênero *Eucalyptus* em que, boa parte dos trabalhos mostra que apenas um disco pode garantir estimativa adequada da densidade da árvore, sendo variável a posição da altura onde o disco deve ser retirado. Há maiores relatos nas posições em torno do *DAP* e 25% da altura comercial (BENJAMIN; BALLARIN, 2006; FRANCO et al., 1998; PÁDUA; TRUGILHO; LIMA, 2006). Thiersch (2002) apresenta 14 citações de alturas ideais de amostragem da densidade básica para várias espécies do gênero *Eucalyptus* em diferentes trabalhos que encontram resultados, indicando como melhores posições para representar a densidade básica da árvore os discos a 1,0 m, 1,3 m (*DAP*), 25% e 50% da altura comercial ou total da árvore, sendo esses dois últimos os mais frequentes.

Alguns resultados com espécies nativas relatam, também, o disco próximo ao *DAP* (VALE; MARTINS; ARAÚJO, 1992) e até mesmo o disco do topo (VISMARA, 2009).

Deve-se ressaltar que muitos dos trabalhos acima citados utilizaram como parâmetro a média ponderada da densidade e, obviamente, as melhores posições de amostragem sempre tenderão a ser aquelas das posições com maior concentração de volume. Ainda que alguns trabalhos mostrem diferenças não significativas entre a densidade média ponderada e a aritmética (NOGUEIRA; NELSON; FEARNSIDE, 2005; PÁDUA; TRUGILHO; LIMA, 2006;

TRUGILHO, 2009), a posição de amostragem é, totalmente tendenciosa. Além disso, Vismara (2009) demonstrou que a média aritmética estima melhor a densidade básica da árvore do que a média ponderada, tendo como parâmetro a densidade obtida por gravimetria, a qual é tida como mais precisa do que a técnica volumétrica por ser sujeita a menos fontes de erros.

Apesar de vários trabalhos indicarem que um único disco é suficiente, Vismara (2009) afirma que a melhor estimativa tende a ser menor quanto maior o número de discos combinados para determinação da densidade do tronco. Assim como Benjamin e Ballarin (2006) e Franco et al. (1998) afirmam que o maior número de discos garantiria estimativas mais eficientes. No entanto, essa melhora, muitas vezes, não é significativa para justificar um aumento muito grande no tamanho da amostra. Os autores sugerem que a precisão desejada e a disponibilidade de tempo e de árvores para efetuar o estudo, entre outros fatores, devem ser consideradas (BENJAMIN; BALLARIN, 2004).

### **2.1.3 Variação da densidade da madeira e relações com fatores ambientais**

A densidade básica da madeira apresenta variação entre ordens, famílias, gêneros, entre espécies dentro de um mesmo gênero, entre árvores dentro de uma mesma espécie, além de variar longitudinalmente e radialmente em toda árvore. Toda essa variação pode ocorrer em função da origem do material genético, condições edafoclimáticas, manejo, idade, taxa de crescimento, etc. (BAKER et al., 2004; CHAVE et al., 2006; SHIMOYAMA; BARRICHELO, 1989; VITAL, 1984).

Do ponto de vista anatômico, a variação da densidade básica da madeira é devido às diferenças na estrutura e na presença de extrativos na madeira, sendo que, a estrutura é caracterizada pela quantidade proporcional de diferentes tipos de células, tais como fibras, traqueídeos, vasos, canais resiníferos, raios da

madeira, e suas dimensões, especialmente a espessura das paredes celulares (BURGER; RICHTER, 1991; KOLMANN; COTÉ, 1986). Segundo Shimoyama e Barrichelo (1989), o fator primordial capaz de alterar os padrões de formação, desenvolvimento e qualidade da madeira produzida pelas espécies florestais é a natureza genética, porém, esta quando associada a outros fatores como os ambientais podem modificar esses padrões a tal grau que as características anatômicas da madeira são significativamente alteradas.

Fatores ambientais influenciam a variabilidade da madeira uma vez que afetam a taxa de crescimento das espécies florestais (RIGATTO; DEDECEK; MATOS, 2004). O efeito no crescimento está relacionado ao impacto sobre o período vegetativo e aos processos fisiológicos das plantas (ANTONOVA; STASOVA, 1997). Como resposta, as árvores adaptam seus processos fisiológicos de acordo com as condições ambientais, com reflexo na atividade cambial e na anatomia do lenho (VILLAR et al., 1997). Devido à densidade da madeira ser resultante da combinação da quantidade e distribuição dos diferentes elementos anatômicos (ROQUE; TOMAZELLO-FILHO, 2009), as variações edafoclimáticas, certamente, irão afetá-la de alguma maneira. Pode-se supor que um longo período seco pode afetar a densidade, uma vez que a mesma determina a variação em um conjunto de características relacionadas à eficiência e integridade do transporte de água no xilema, a regulação do balanço de água na folha, e evita a perda de turgor (HACKE et al., 2001). Dessa maneira é possível inferir que o ganho em resistência na cavitação, com o aumento na densidade de madeira, para plantas crescendo em condições ambientais áridas seria uma característica vantajosa, mas, apesar da potencial influência ambiental, uma ampla variação de densidades de madeiras coexiste tanto em condições áridas como em úmidas (NOGUEIRA, 2008).

Para florestas nativas, segundo Nogueira et al. (2007), estudos têm, geralmente, assumido que a variação na densidade da madeira nos ambientes é



puramente advinda da variação na composição de espécies. No entanto, existem importantes influências ambientais, em que a variação de determinados fatores ambientais pode conduzir esses padrões de composição de espécies e de densidade da madeira (CHAVE et al., 2006; NOGUEIRA et al., 2007).

Condições ambientais desfavoráveis ao crescimento das espécies florestais, normalmente caracterizadas por deficiência hídrica, baixas temperaturas e solos de baixa fertilidade estão, em geral, correlacionadas com altas densidades da madeira, em que a atividade fisiológica e cambial das plantas é reduzida. Por outro lado, baixas densidades da madeira estão associadas a ambientes favoráveis ao crescimento com disponibilidade e boa distribuição hídrica, temperaturas mais elevadas e solos mais férteis e de boa qualidade (BAKER et al., 2004; MULLER-LANDAU, 2004; ROQUE; TOMAZELLO-FILHO, 2009).

Ambientes favoráveis ao crescimento, nos quais a atividade fisiológica e cambial das plantas é plena, resultam em divisão celular mais intensa, geralmente não acompanhada de um espessamento proporcional da parede celular o que, segundo Bergès, Nepveu e Franc (2008), proporciona densidade da madeira mais baixa em função de uma proporção inferior de lenho tardio em relação ao lenho inicial. Além de que, segundo Trovati e Ferraz (1984), o próprio lenho tardio pode ser mais estreito e de baixa densidade nessas condições. Apesar dessa relação não ser absoluta para todas as espécies, é a mais coerente e mais encontrada na literatura.

Nogueira (2008) sugere que estudos comparativos empregando uma metodologia uniforme entre várias espécies em diferentes solos e tipos de florestas podem melhorar o entendimento de efeitos separados dos fatores ambientais a uma pequena escala. Assim, como análises de respostas ao meio ambiente na densidade de madeira e nos padrões de composição de espécies

podem ajudar a definir o papel destes dois efeitos em gradientes de densidade (BAKER et al., 2004).

## **2.2 Características climáticas das fitofisionomias de Minas Gerais**

Segundo a classificação da vegetação brasileira (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991), a floresta ombrófila é caracterizada por elevadas temperaturas médias, elevadas precipitações com boa distribuição ao longo do ano, apresentando de zero a 60 dias sem chuva, o que determina uma situação biológica praticamente sem períodos secos. No sistema de classificação climática do ZEE-MG (OLIVEIRA; CARVALHO, 2008), segundo Thornthwaite, essa situação corresponde ao clima A- Superúmido: os índices climáticos superam o valor numérico 100, possuindo temperaturas médias anuais inferiores a 14°C e, apresentando precipitações médias acumuladas superiores a 1.750 mm. São climas que apresentam baixa demanda de evapotranspiração em virtude dos valores relativamente baixos para a temperatura. Por conseguinte, traduzem em deficiências hídricas baixas, elevando os índices de umidade. Quase sempre, são regiões que sofrem forte influência de altitudes mais elevadas, como é o caso do sul do Estado, devido à influência da Serra da Mantiqueira. Essas florestas também ocorrem em clima B<sub>4</sub>- Úmido: neste caso, o clima possui características notórias de umidade mais elevada associada com níveis de temperatura mais baixas, sofrendo influências de regiões serranas. O intervalo para o índice de umidade corresponde de 80 a 100. O índice pluviométrico supera 1.700 mm e as temperaturas amenas favorecem menor demanda de evapotranspiração, o que condiciona valores do índice de umidade de Thornthwaite mais elevados.

De acordo com a fisionomia, essa subclasse de formação é subdividida em floresta ombrófila densa, floresta ombrófila aberta e floresta ombrófila mista (MARTINS, 2009).

As florestas estacionais são caracterizadas por duas estações climáticas bem demarcadas, sendo uma chuvosa e outra de longo período biologicamente seco. Podem ser perenifólias, semidecíduas ou completamente decíduas, com queda foliar ocasionada pelo longo período de estiagem do clima tropical ou frio intenso (seca fisiológica) do clima subtropical (MARTINS, 2009). A decidual é caracterizada com mais de 50% dos indivíduos sem folhas no período desfavorável e a formação semidecidual a porcentagem das árvores caducifólias no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50% (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991).

A floresta decidual no sistema de classificação climática do ZEE-MG (OLIVEIRA; CARVALHO, 2008), corresponde predominantemente ao clima D - Semiárido: com intervalo do índice de umidade entre  $-66,7$  e  $-33,3$ , pode-se caracterizar por serem regiões com baixos índices de chuvas, normalmente, com média anual abaixo de 850 mm, associados com elevadas taxas de evapotranspiração, referenciando-se pelas temperaturas mais altas com médias anuais superando  $25^{\circ}\text{C}$ , o que condiciona a um clima semiárido.

Oliveira-Filho, Jarenkow e Rodal (2006) descrevem um gradiente florístico complexo das florestas perenifólias para as semidecíduas e decíduas. Esse gradiente está relacionado ao decréscimo de água disponível em função da diminuição da precipitação (aumento da sazonalidade) e, ou, decréscimo da capacidade de retenção hídrica no solo, mas também há forte interferência de gradientes de temperatura ao longo da amplitude latitudinal e altitudinal e variações da fertilidade do solo (MARTINS, 2009).

A comunidade arbórea decidual é dominada por poucas espécies indicadoras e, em geral, apresenta baixa similaridade florística com as florestas

semidecíduais (MARTINS, 2009; RATTER, 1992). Ocorre em diferentes regimes climáticos do Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste, mas sempre em solos nos quais o horizonte B é ausente ou incipiente, ou seja, extremamente rasos e cascalhentos, portanto com baixa capacidade de retenção hídrica. Assim, a vegetação cresce sobre esses solos em climas tropicais ou subtropicais e pode sofrer estresse hídrico de proporção equivalente à do clima semiárido, onde não chove de 6-9 meses por ano (MARTINS, 2009; RIZZINI, 1997).

A ocorrência de florestas estacionais semidecíduais coincide com solos mais férteis, úmidos e profundos (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994), assim como, associada a teores mais elevados de matéria orgânica, nutrientes em superfície, argilominerais, argila em todo o perfil e maior disponibilidade de água, quando comparadas aos cerrados (ROSSI et al., 2005).

A ocorrência dos cinco diferentes subgrupos do bioma Cerrado (Campo, Parque de Cerrado, Campo Cerrado, Cerrado Típico e Cerradão) está relacionada a fatores edáficos, topográficos, clima sazonal, condições hídricas, fenologia e forma de dispersão das espécies, incidência de fogo e perturbações antrópicas (AGNES et al., 2007; OLIVEIRA-FILHO et al., 1990; OLIVEIRA-FILHO; FLUMINHAN-FILHO, 1999).

Há grande semelhança nas composições florísticas e edafoclimáticas apresentadas particularmente entre os subgrupos Cerradão e Cerrado Típico da fisionomia do Cerrado. Estudos comparativos entre essas duas formações mostram índices de similaridade florística médios a altos, em torno de 35 a 73% (COSTA; ARAÚJO, 2001; RIBEIRO; SILVA; BATMANIAN, 1985), com ocorrência em solos distróficos profundos, bem drenados, de baixa fertilidade, com acidez e teor de alumínio muito semelhantes (AGNES et al., 2007; COSTA; ARAÚJO, 2001; MARIMON-JUNIOR; HARIDASAN, 2005) e em clima tropical estacional com verões quentes e úmidos e inverno ameno e seco com

duração aproximada de seis meses (AGNES et al., 2007; VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991).

Segundo Marimon-Junior e Haridasan (2005), uma das explicações plausíveis em relação à existência dos subgrupos Cerradão e Cerrado Típico está associada à composição granulométrica dos solos. O solo sob Cerradão, mais argiloso, tem maior capacidade de retenção de água disponível, o que é corroborado por Spera et al. (2005). Portanto, para Marimon-Junior e Haridasan (2005), esse solo é capaz de suprir mais adequadamente as plantas com água nos processos de síntese de biomassa, bem como possui maior fertilidade ativa, pois a disponibilidade de água regula a dinâmica dos nutrientes no solo e sua absorção pelas plantas.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS GERAIS

A seguir é apresentada uma descrição detalhada dos dados utilizados para estruturação dos artigos científicos contidos na segunda parte dessa tese. Esse item é importante já que os artigos científicos são limitados em número de páginas de acordo com as normas de cada revista científica, nem sempre sendo possível detalhar especificamente a metodologia utilizada nos mesmos.

#### 3.1 Base de dados

Os dados de cubagem rigorosa, densidade da madeira, identificação das espécies e mapeamento das fitofisionomias foram obtidos do Inventário Florestal do Estado de Minas Gerais, sendo um projeto do Instituto Estadual de Florestas – IEF, Universidade Federal de Lavras – UFLA, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG e Fundação de Desenvolvimento Científico e Cultural – FUNDECC (SCOLFORO; OLIVEIRA; ACERBI JÚNIOR, 2008).

##### 3.1.1 Cubagem rigorosa

Foram utilizados dados de 1.988 árvores cubadas com diâmetro a 1,3m do solo (*DAP*) maior que 5,0cm, de 340 espécies (Anexo A) e morfoespécies, distribuídas em classes de diâmetro e altura, em diferentes bacias hidrográficas de Minas Gerais e nas diversas fitofisionomias que ocorrem no Estado conforme Tabela 1 e Figura 1. As árvores cubadas foram retiradas de áreas em que o processo de desmate já havia sido autorizado (SCOLFORO; OLIVEIRA; ACERBI JÚNIOR, 2008).

O número de árvores cubadas em cada região foi proporcional à Densidade Relativa das espécies obtidas no Inventário Florestal do Estado de

Minas Gerais, critério esse aplicado às quatro espécies que apresentaram maior Densidade Relativa. As demais foram agrupadas e computadas como se fossem uma única espécie, para ponderação, posteriormente todas foram distribuídas em classes de diâmetro (SCOLFORO; OLIVEIRA; ACERBI JÚNIOR, 2008).

Tabela 1 Número e distribuição das árvores cubadas no estado

Fitof.	Região	Classe diamétrica (cm)								Total Geral
		05-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	>40	
Cerrado	GD e PI	13	11	11	14	12	12	8	6	87
	PN	18	12	11	8	9	6	2	2	68
	SF 1 2 3 4	7	3	4	2	1			2	19
	Total parcial	38	26	26	24	22	18	10	10	174
Cerrado e Campo	GD e PI	10	15	3		1			1	30
	JQ	33	29	25	24	15	13	8	7	154
	PA	20	14	18	17	12	1	6	3	91
	SF 1 2 3 4	38	58	68	48	33	22	7	4	278
	SF 5 6 10	27	18	20	13	10	11	7	6	112
	SF 7 8 9	45	30	34	34	23	18	12	8	204
	Total parcial	173	164	168	136	94	65	40	29	869
Decídua	SF 5 6 10	3	2	9	5	2	1	1		23
	SF 7 8 9	27	19	14	13	14	8	6		101
	Total parcial	30	21	23	18	16	9	7		124
Ombrófila	GD e PI	11	8	13	10	9	7	7	7	72
	PS IB	20	20	12	11	6	5	4	2	80
	Total parcial	31	28	25	21	15	12	11	9	152
Semidecídua	DO IP	76	70	55	41	40	23	17	17	339
	GD e PI	24	31	29	26	20	11	7	13	161
	JQ	3	9	6	5	5	4	2	1	35
	MU, SM, BU, IT, JU	16	13	14	12	11	10	8	10	94
	PA	10	10	5	5	5	1	3	1	40
	Total parcial	129	133	109	89	81	49	37	42	669
<b>Total Geral</b>		<b>401</b>	<b>372</b>	<b>351</b>	<b>288</b>	<b>228</b>	<b>153</b>	<b>105</b>	<b>90</b>	<b>1988</b>

Em que: Fitof. = Fitofisionomia; SF = Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9 e 10 = Sub-Bacias, ver Scolforo, Oliveira e Acerbi Júnior (2008) para mais detalhes); GD = Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Grande; PI = Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba; JQ = Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Jequitinhonha; PN = Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Paranaíba; PA = Bacia Hidrográfica do Rio Pardo; PS = Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Paraíba do Sul; IB = Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana; DO = Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Doce; IP = Bacia Hidrográfica do Rio Itapemirim; MU = Bacia Hidrográfica do Rio Mucuri; SM = Bacia Hidrográfica do Rio São Mateus; BU = Bacia Hidrográfica do Rio Buranhém; IT = Bacia Hidrográfica do Rio Itanhém; JU = Bacia Hidrográfica do Rio Jucuruçu.

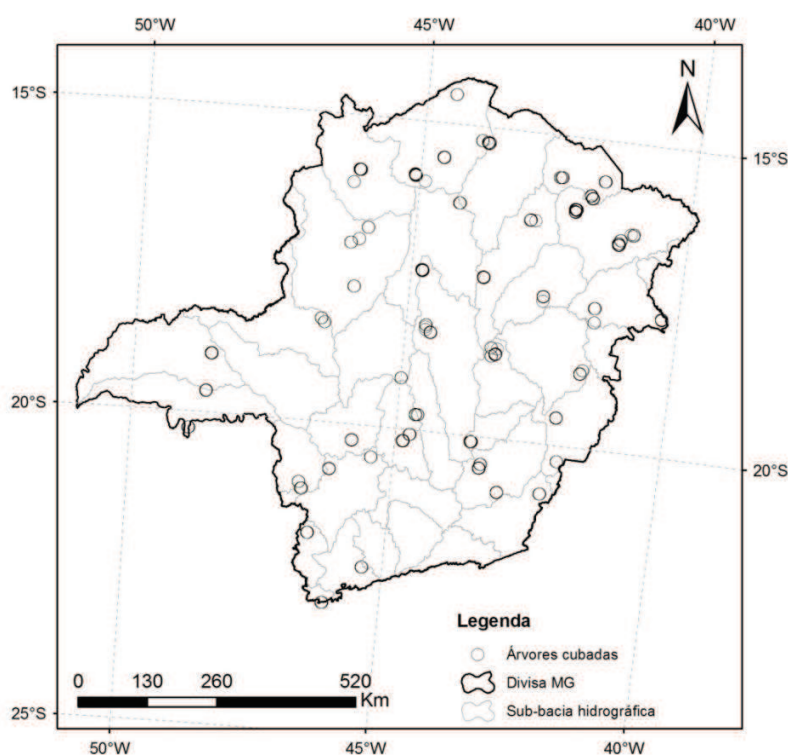


Figura 1 Locais do Estado de Minas Gerais onde foram realizadas as cubagens rigorosas das árvores

Anteriormente ao processo de cubagem, mediu-se o diâmetro a 1,30 m de altura do solo (*DAP*), a altura total e a altura do fuste. Cada árvore foi georreferenciada, identificada, abatida e mediu-se novamente a altura total com trena, a circunferência do toco e a altura do toco. Foram eliminados todos os galhos menores que 3,0 cm de diâmetro e, então, obteve-se a altura comercial.

Finalmente, as árvores foram submetidas ao procedimento de cubagem, medindo-se o diâmetro mediano das seções compreendidas entre 0,10; 0,30; 0,70; 1,00; 1,30 e 2,00m em seguida de metro em metro, até o fim do fuste (Figura 2). Em relação aos galhos, foram cubados aqueles maiores que 3,0cm de diâmetro e os comprimentos das seções variaram de 0,1 m a 1,6 m. Os volumes



das seções do fuste e dos galhos foram determinados segundo o método de Huber (Equação 1) e o volume total com casca da árvore a partir da soma das respectivas seções (Equação 2).

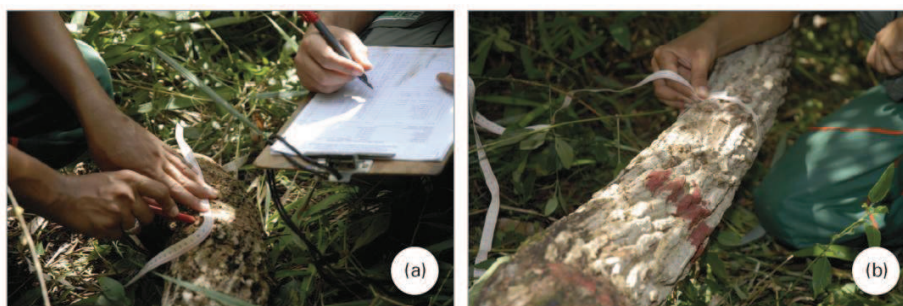


Figura 2 Parte do processo de cubagem, sendo em (a) a medição e marcação dos comprimentos das seções e em (b) a mensuração da circunferência

$$v_i = \frac{\pi \cdot d_{md}^2 \cdot l}{40000} \quad (1)$$

$$Vt_{cc} = \sum_{i=1}^n v_i \quad (2)$$

Em que:  $v_i$  = volume da seção  $i$  ( $m^3$ );  $d_{md}$  = diâmetro mediano da seção  $i$  (cm);  $l_i$  = comprimento da seção  $i$  (m);  $Vt_{cc}$  = volume total com casca ( $m^3$ );  $n$  = número de seções.

Após a cubagem, foram retirados cinco discos de madeira com espessura de 3,0cm com casca, nas alturas correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% da comercial da árvore. Mediu-se, paralelamente, a circunferência dos discos e a espessura da casca com paquímetro. Os discos foram devidamente identificados via plaquetas de alumínio de acordo com a árvore, posição do disco no fuste e local de coleta (Figura 3).



Figura 3 Retirada dos discos (a e b), identificação via plaqueta (c e d)

### 3.1.2 Densidade da madeira

Os discos retirados durante a cubagem seguiram para o Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira (DCF/UFLA), onde foi realizado o procedimento para determinação da densidade básica dos discos.

Inicialmente foram retiradas duas cunhas opostas em relação à medula de cada disco de madeira com casca. Posteriormente a densidade básica de cada disco na árvore foi obtida a partir da média aritmética entre as duas cunhas. A densidade básica de cada cunha foi calculada conforme a Equação 3 e foi determinada segundo o Método de Imersão ou Balança Hidrostática, procedimento conforme norma NBR11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003), em que, para obter o volume de madeira saturada, ou volume verde ( $v_v$ ), as cunhas foram imersas em água por um período até atingirem volume constante. No ponto de saturação, mediu-se o

volume da cunha pelo Princípio de Arquimedes, ou seja, o volume do líquido deslocado é igual ao produto de sua massa e densidade, no caso do líquido se tratar de água e assumindo que sua densidade seja de  $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$ , a massa de água deslocada é igual ao volume da amostra (Figura 4a). Para obtenção da massa seca ( $m_s$ ), as amostras saturadas foram pesadas e levadas à estufa com temperatura de  $105 \pm 2^\circ\text{C}$ , com medições a cada 6 horas, até atingirem massa constante, com tolerância máxima de 0,5g de variação (Figura 4b).

$$\rho_i = \frac{m_s}{v_v} \quad (3)$$

Em que:  $\rho_i$  = densidade básica do i-ésimo disco ( $\text{Kg.m}^{-3}$ );  $m_s$  = massa seca (Kg);  $v_v$  = volume verde ou saturado ( $\text{m}^3$ ).



Figura 4 Determinação do volume verde ( $v_v$ ) após saturação em água (a) e da massa seca ( $m_s$ ) após secagem da amostra em estufa (b)

A densidade básica de cada árvore foi calculada pela ponderação das densidades básicas de cada disco pelo volume das seções correspondentes de

acordo com a Equação 4, ou pela média aritmética dos cinco discos, Equação 5, lembrando que ambas as metodologias fornecem valores diferentes e a escolha de uma delas depende dos objetivos e de critérios de cada trabalho.

$$\rho_P = \frac{\bar{\rho}_{ab} \cdot v_1 + \bar{\rho}_{bc} \cdot v_2 + \bar{\rho}_{cd} \cdot v_3 + \bar{\rho}_{de} \cdot v_4}{V_{t_{cc}}} \quad (4)$$

$$\rho_A = \sum_{i=1}^n \rho_i / n \quad (5)$$

Em que:  $\rho_P$  = densidade básica média ponderada da árvore ( $\text{Kg.m}^{-3}$ );  
 $\bar{\rho}_{ii+1}$  = densidade básica média aritmética entre dois discos nas respectivas posições  $i$ :  $i+1$  da árvore;  $v_i$  = volume da seção  $i$  entre os discos respectivos;  
 $\rho_A$  = densidade básica média aritmética da árvore ( $\text{Kg.m}^{-3}$ );  $n$  = número de discos;  $\rho_i$  = densidade básica do  $i$ -ésimo disco ( $\text{Kg.m}^{-3}$ ).

#### 4 CONSIDERAÇÕES GERAIS

As tendências do efeito do ambiente sobre a densidade da madeira de formações florestais nativas, supostas na literatura, puderam ser comprovadas com os resultados e análises contidas nesta tese. A densidade da madeira em áreas de floresta nativa não possui distribuição espacial aleatória. Sua distribuição no Estado de Minas Gerais correlaciona-se significativamente com fatores climáticos, de modo que, florestas tropicais sujeitas a menor precipitação, maior temperatura e maior evapotranspiração, tendem a apresentar as maiores médias de densidade da madeira quando comparadas a florestas em condições opostas.

Características ambientais desfavoráveis ao desenvolvimento das plantas indicam um padrão crescente de concentração de indivíduos e espécies com densidades da madeira mais elevadas. A variação da densidade da madeira nos ambientes tanto pode ser determinada pela variação da composição florística como pelos fatores ambientais.

A alteração dos padrões de formação da madeira por meio dos fatores ambientais pode ajudar até a explicar a variação da densidade dentro da própria árvore em uma escala ampla. Esses fatores afetariam o crescimento das espécies, causando impacto sobre seus processos fisiológicos e provocando alterações na atividade cambial e na anatomia do lenho. Tanto que, estimativas mais precisas da densidade do fuste com um número menor de discos amostrados são possíveis e variam significativamente de acordo com a fitofisionomia estudada, as quais são absolutamente divergentes quanto às características ambientais.

As relevantes tendências encontradas podem contribuir para o entendimento da dinâmica do comportamento das florestas nativas frente à diversidade de condições de crescimento, seja para estudos de biomassa e carbono, ou sua aplicação potencial com fins bioenergéticos. Além disso, as

relações encontradas da densidade da madeira com os fatores climáticos podem ser de grande importância no resgate de informações de eventos climatológicos históricos quando das formações florestais e também pode ser um potencial indicador dos efeitos das mudanças climáticas.

## REFERÊNCIAS

- AGNES, C. et al. Fatores ecológicos condicionantes da vegetação do cerrado. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, Santa Cruz do Sul, v. 19, n. 3, p. 25-37, 2007.
- ANTONOVA, G.F.; STASOVA, V.V. Effects of environmental factors on wood formation in larch (*Larix sibirica* Ldb.) stems. **Trees - Structure and Function**, Berlin, v. 11, n. 8, p. 462-468, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.
- BAKER, T. R. et al. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 5, p. 545-562, 2004.
- BENJAMIN, C. A.; BALLARIN, A. W. Avaliação da precisão de amostras retiradas ao longo do fuste das árvores na determinação da densidade básica da madeira de populações florestais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: UNESP, 2006. p. 1-15.
- BENJAMIN, C. A.; BALLARIN, A. W. Avaliação do comportamento de critérios de amostragem de árvores para a determinação da densidade básica da madeira de populações florestais. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 9., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFC, 2004.1 CD-ROM.
- BERGÈS, L.; NEPVEU, G.; FRANC, A. Effects of ecological factors on radial growth and wood density components of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) in Northern France. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3/4, p. 567-579, 2008.

BRASIL, M. A. A.; VEIGA, R. A.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica nas seções transversais do caule da base do tronco para a copa de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, v. 15, p. 73-82, 1977.

BRASIL, M. A. M. et al. Densidade básica da madeira de *Pinus elliottii* em três regiões do Estado de São Paulo. **Silvicultura**, São Paulo, v. 2, n. 16, p. 57-58, jul./ago. 1980.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica e das características das fibras em *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden ao nível do DAP: análise preliminar. **IPEF**, Piracicaba, v. 5, p. 81-90, dez. 1972.

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

CHAVE, J. et al. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species. **Ecological Applications**, Tempe, v. 16, n. 6, p. 2356-2367, 2006.

COSTA, A. A.; ARAÚJO, G. M. Comparação da vegetação arbórea de cerradão e de cerrado na Reserva do Panga, Uberlândia, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 63-72, 2001.

DOWNES, G. M. et al. **Sampling plantation eucalypts for wood and fiber properties**. Melbourne: CSIRO, 1997. 126 p.

FEARNSIDE, P. M. Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas amazônicas brasileiras. **O ecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 743-756, 2008.

FEARNSIDE, P. M. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 90, p. 59-87, Oct. 1997.



FERREIRA, M.; KAGEYAMA, P. Y. Melhoramento genético da densidade da madeira de eucalipto. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 3., 1978, Manaus. **Anais...** São Paulo: SBS, 1978. v. 2, p. 148-152.

FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, v. 2, p. 65-74, jun. 1971.

FRANCO, E. J. et al. Eficiência na estimativa do peso seco para árvores individuais e definição do ponto ótimo de amostragem para determinação da densidade básica de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 77-92, 1998.

GOUVÊA, A. F. G. et al. Determinação da densidade básica da madeiras de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.35, n.2, p.349-358, mar./abr. 2011.

HACKE, U.G. et al. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. **O ecologia**, Berlin, v. 126, n. 4, p. 457-461, Feb. 2001.

HEIN, P. R. G. et al. Near infrared spectroscopy for estimating wood basic density in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v.15, n.2, p.133-141, 2009.

HIGUCHI, N.; CARVALHO JÚNIOR, J. A. de. Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: SEMINÁRIO EMISSÃO x SEQUESTRO DE CO<sub>2</sub> UMA NOVA OPORTUNIDADE DE NEGÓCIOS PARA O BRASIL, 1.,1994, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CVRD, 1994. p. 125-145.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 1, p. 153-165, 1998.

KOLMANN, F.; COTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology: I.**, solid wood. New York: Springer-Verlag, 1986. 592 p.

MARIMON-JUNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 913-926, 2005.

MARTINS, S. V. **Ecologia de florestas tropicais do Brasil**. Viçosa, MG: UFV, 2009. 261p.

MATTOS, B. D. et al. Variação axial da densidade básica da madeira de três espécies de gimnospermas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.6, n.1, p.121-126, 2011.

MULLER-LANDAU, H.C. Interspecific and intersite variation in wood density of tropical trees. **Biotropica**, Washington, v. 36, n. 1, p. 20-32, 2004.

NOGUEIRA, E. M. **Densidade de madeira e alometria de árvores em florestas do ‘arco do desmatamento’**: implicações para biomassa e emissão de carbono a partir de mudanças de uso da terra na Amazônia brasileira. 2008. 133 f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) -Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2008.

NOGUEIRA, E. M. et al. Wood density in forests of Brazil's ‘arc of deforestation’: implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 248, n. 3, p. 119-135, Sept. 2007.

NOGUEIRA, E.M.; NELSON, B. W.; FEARNSIDE, P. M. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 208, n. 1/3, p. 261-286, Apr. 2005.

OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. M. T. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais**: componentes geofísico e biótico. Lavras: UFLA, 2008. 161p.

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

OLIVEIRA-FILHO, A. T. et al. Differentiation of streamside and upland vegetation in an area of montane semideciduous forest in southeaster, Brazil. **Flora**, London, v. 189, n. 2, p. 287-305, 1994.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. et al. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of cerrado in central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.5, n. 4, p. 413-451, Nov. 1990.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FLUMINHAN FILHO, M. Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito. **Cernea**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 51-64, 1999.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; JARENKOW, J. A.; RODAL, M. J. N. Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree species distribution patterns. In: PENNINGTON, R. T.; LEWIS, G. P.; RATTER, J. A. (Org.). **Neotropical savannas and dry forests: plant diversity, biogeography and conservation**. Boca Raton: CRC, 2006. p. 151-184.

PÁDUA, F. A. **Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. 2009. 87 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

PÁDUA, F. A.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Amostragem da madeira para avaliação da densidade básica em *Eucalyptus*. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro: UNESP, 2006. p. 1-9.

RATTER, J. A. Transitions between cerrado and forest vegetation in Brazil. In: FURLEY, P. A.; PROCTOR, J.; RATTER, J. A. (Ed.). **Nature and dynamics of forest-savanna boundaries**. London: Chapman and Hall, 1992. p.417-429.

RIBEIRO, J. F.; SILVA, J. C. S.; BATMANIAN, G. J. Fitossociologia de tipos fisionômicos de cerrado em Planaltina, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 8, n. 1, p. 131-142, 1985.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A. MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *pinus taeda* para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 267-273, mar./abr. 2004.

RIZZINI, C. T. **Tratado de fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos sociológicos e florísticos**. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural, 1997. 747 p.

ROQUE, R. M.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica. **Scientia Forest**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 273-285, set. 2009.

ROSSI, M. et al. Relação solos-vegetação em área natural no Parque Estadual de Porto Ferreira, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 45-61, 2005.

SANQUETTA, C.R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C.R. et al. (Ed.). **As florestas e o carbono**. Curitiba: FUPEF, 2002. p. 119-140.

SANTOS, J. **Análise de modelos de regressão para estimar a fitomassa da floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia brasileira**. 1996. 121 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1996.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W. **Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. 216 p.

SEGURA, M. Allometric models for tree volume and total aboveground biomass in a tropical humid forest in Costs Rica. **Biotropica**, Baton Rouge, v. 37, n. 1, p. 2-8, Oct. 2005.

SHIMOYAMA, V. R. S.; BARRICHELO, L. E. G. Densidade básica da madeira, melhoramento e manejo florestal. **IPEF**, Piracicaba, v. 6, n. 20, p. 1-22, jun. 1989.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 789-800, out./dez. 2010.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, jan./mar. 2008.

SOARES, C.P.B.; LEITE, H.G.; GÖRGENS, E.B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais em plantios comerciais de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 711-718, ago. 2005.

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELLO, L. E. G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v. 33, p. 65-72, ago. 1986.

SPERA, S. T. et al. **Atributos físicos de solos e distribuição das fitofisionomias de cerrado na bacia hidrográfica do Rio Jardim, DF**. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2005. 18 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 146).

THIERSCH, C. R. **Modelagem da densidade básica, do volume e do peso seco para plantios de clones de *Eucalyptus* sp.** 2002. 197 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002.

THIERSCH, C. R. et al. O uso de modelos matemáticos na estimativa da densidade básica da madeira em plantios de clones de *Eucalyptus* sp. **Cerne**, Lavras, v.12, n.3, p.264-278, 2006.

TROVATI, L. R.; FERRAZ, E.S.B. Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa*. **IPEF**, Piracicaba, n. 26, p. 31-36, abr. 1984.

TRUGILHO, P. F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, set./out. 2009.

VALE, T.; MARTINS, I.S.; ARAÚJO, W.L. O. Estudo da densidade de três espécies do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 16, n. 2, p.209-217, maio/ago 1992.

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, 1991. 124p.

VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; BARBEIRO, L. da S. S. Estoque individual de biomassa e carbono em *Nectandra grandiflora* Nees (canela-amarela). **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 547-554, jul./set. 2009.

VILLAR, P. et al. Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. **Trees-Structure and Function**, Berlin, v. 12, n. 2, p. 90-96, 1997.

VISMARA, E. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

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

ZOBEL, B. J.; TALBERT, J. **Applied forest: tree im provement**. New York: J. Wiley, 1984. 505 p.

## ANEXOS

**ANEXO A** – Densidade básica média ponderada da madeira das 340 espécies utilizadas nessa tese.

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
1	<i>Acosmium dasycarpum</i> (Vogel) Yakovlev	8	0,671
2	<i>Acosmium fallax</i> (Taub.) Yakovlev	3	0,655
3	<i>Aegiphila sellowiana</i> Cham.	1	0,419
4	<i>Aegiphila verticillata</i> Vell.	1	0,455
5	<i>Agonandra brasiliensis</i> Miers ex Benth. & Hook.	4	0,667
6	<i>Agonandra excelsa</i> Griseb.	1	0,720
7	<i>Aiouea saligna</i> Meisn.	1	0,444
8	<i>Albizia hasslerii</i> (Chod.) Burkart.	1	0,692
9	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	1	0,642
10	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp. & Endl.	2	0,380
11	<i>Alchornea triplinervia</i> (Spreng.) Müll. Arg.	1	0,440
12	<i>Allophylus edulis</i> (A.St.-Hil., Cambess. & A. Juss.) Radlk.	1	0,518
13	<i>Allophylus racemosus</i> Sw.	4	0,519
14	<i>Amaioua guianensis</i> Aubl.	4	0,546
15	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A. C. Sm.	8	0,452
16	<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	21	0,705
17	<i>Aniba firmula</i> (Nees & Mart.) Mez	2	0,458
18	<i>Annona cacans</i> Warm.	4	0,401
19	<i>Annona crassiflora</i> Mart.	15	0,338
20	<i>Annona glabra</i> L.	1	0,334
21	<i>Annona laurifolia</i> (Schltdl.) H.Rainer	3	0,444
22	<i>Annona mucosa</i> Jacq.	2	0,533
23	<i>Annona sylvatica</i> A.St.-Hil.	1	0,471
24	<i>Aparisthium cordatum</i> (Juss.) Baill.	2	0,607
25	<i>Apeiba tibourbou</i> Aubl.	1	0,316
26	<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	1	0,610
27	<i>Arrabidaea bahiensis</i> (Schauer) Sandwith & Moldenke	3	0,689
28	<i>Aspidosperma australe</i> Müll. Arg.	2	0,586
29	<i>Aspidosperma multiflorum</i> A. DC.	1	0,698
30	<i>Aspidosperma olivaceum</i> Müll. Arg.	4	0,564
31	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A.DC.	7	0,574
32	<i>Aspidosperma polyneuron</i> Müll. Arg.	3	0,643
33	<i>Aspidosperma spruceanum</i> Benth. ex Müll. Arg.	3	0,713
34	<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	8	0,572

## Anexo A – Continua

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
35	<i>Astronium concinnum</i> Schott ex Spreng.	10	0,685
36	<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	18	0,607
37	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	5	0,531
38	<i>Astronium concinnum</i> Baill.	3	0,849
39	<i>Baccharis ramosissima</i> Gardner	1	0,440
40	<i>Baccharis semiserrata</i> DC.	1	0,446
41	<i>Banisteriopsis argyrophylla</i> (Juss.) Gates	1	0,744
42	<i>Bauhinia longifolia</i> (Bong.) D.Dietr.	2	0,608
43	<i>Bauhinia pulchella</i> Benth.	1	0,599
44	<i>Blepharocalyx salicifolius</i> (Kunth) O.Berg	1	0,544
45	<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	68	0,682
46	<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	3	0,586
47	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	1	0,620
48	<i>Brunfelsia uniflora</i> (Pohl) D.Don	3	0,566
49	<i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler	2	0,636
50	<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	1	0,638
51	<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	3	0,591
52	<i>Byrsonima variabilis</i> A.Juss.	1	0,721
53	<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	2	0,494
54	<i>Cabrlea canjerana</i> (Vell.) Mart.	6	0,468
55	<i>Callisthene fasciculata</i> (Spreng.) Mart.	4	0,604
56	<i>Callisthene major</i> Mart.	3	0,613
57	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	1	0,766
58	<i>Calyptranthes chusiifolia</i> O. Berg	9	0,619
59	<i>Calyptranthes widgreniana</i> O. Berg	1	0,657
60	<i>Campomanesia phaea</i> (O.Berg) Landrum	1	0,626
61	<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	57	0,554
62	<i>Casearia arborea</i> (Rich.) Urb.	2	0,631
63	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	1	0,492
64	<i>Casearia mariquitensis</i> Kunth	1	0,586
65	<i>Casearia obliqua</i> Spreng.	5	0,603
66	<i>Casearia rupestris</i> Eichler	1	0,539
67	<i>Casearia sylvestris</i> Sw.	4	0,592
68	<i>Cassia ferruginea</i> (Schrad.) Schrad. ex DC.	2	0,629
69	<i>Cavanillesia arborea</i> (Willd.) K.Schum.	4	0,256
70	<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	2	0,344
71	<i>Cecropia pachystachya</i> Trécul	7	0,345
72	<i>Cedrela fissilis</i> Vell.	1	0,678



## Anexo A - Continua

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
73	<i>Cedrela odorata</i> L.	3	0,517
74	<i>Chloroleucon foliolosum</i> (Benth.) G. P. Lewis	5	0,617
75	<i>Chrysophyllum gonocarpum</i> (Mart. & Eichler) Engl.	1	0,722
76	<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.	1	0,568
77	<i>Cinnamomum triplinerve</i> (Ruiz & Pav.) Kosterm.	1	0,471
78	<i>Clethra scabra</i> Pers.	2	0,404
79	<i>Coccoloba mollis</i> Casar.	1	0,684
80	<i>Combretum duarteanum</i> Cambess.	6	0,712
81	<i>Commiphora leptophloeus</i> (Mart.) J. B. Gillet	2	0,465
82	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	26	0,584
83	<i>Cordia glabrata</i> (Mart.) DC.	3	0,660
84	<i>Cordia rufescens</i> A.DC.	2	0,699
85	<i>Cordia sellowiana</i> Cham.	4	0,407
86	<i>Cordia trichotoma</i> (Vell.) Arrab. ex Steud.	6	0,569
87	<i>Cordia concolor</i> (Cham.) Kuntze	1	0,575
88	<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth. ex Hook.f.	1	0,738
89	<i>Couratari macrosperma</i> A.C. Sm.	1	0,493
90	<i>Coussapoafloccosa</i> Akkermans & C. C. Berg	1	0,557
91	<i>Coussarea hydrangeifolia</i> (Benth.) Müll. Arg.	1	0,499
92	<i>Croton celtidifolius</i> Baill.	5	0,491
93	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	11	0,475
94	<i>Croton urucurana</i> Baill.	6	0,430
95	<i>Croton verrucosus</i> Radcl.- Sm. & Govaerts	1	0,472
96	<i>Cryptocarya aschersoniana</i> Mez	13	0,520
97	<i>Cupania emarginata</i> Cambess.	4	0,598
98	<i>Cupania ludowigii</i> Somner & Ferruci	2	0,558
99	<i>Cupania paniculata</i> Cambess.	1	0,568
100	<i>Cupania vernalis</i> Cambess.	2	0,723
101	<i>Curatella americana</i> L.	6	0,524
102	<i>Cybistax antisyphilitica</i> (Mart.) Mart.	1	0,668
103	<i>Dalbergia foliolosa</i> Benth.	2	0,495
104	<i>Dalbergia frutescens</i> (Vell.) Britton	5	0,670
105	<i>Dalbergia miscolobium</i> Benth.	11	0,619
106	<i>Dalbergia nigra</i> (Vell.) Allemão ex Benth.	14	0,618
107	<i>Dalbergia villosa</i> (Benth.) Benth.	8	0,591
108	<i>Daphnopsis fasciculata</i> (Meisn.) Nevling	1	0,458
109	<i>Davilla elliptica</i> A. St.- Hil.	1	0,492
110	<i>Deguelia costata</i> (Benth.) Az.- Tozzi	2	0,656

## Anexo A – Continua

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
111	<i>Diatenopteryx grazielae</i> Vaz & Andreato	1	0,668
112	<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	2	0,509
113	<i>Dimorphandra exaltata</i> Schott	1	0,674
114	<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	10	0,589
115	<i>Diospyros burchellii</i> Hiern.	1	0,582
116	<i>Diospyros hispida</i> A.DC.	3	0,543
117	<i>Diospyros inconstans</i> Jacq.	2	0,553
118	<i>Diospyros sericea</i> A.DC.	1	0,595
119	<i>Dipteryx alata</i> Vogel	3	0,659
120	<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	6	0,644
121	<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (Vell.) Morong	3	0,520
122	<i>Enterolobium gummiferum</i> (Mart.) J. F. Macbr.	3	0,463
123	<i>Enterolobium monjollo</i> (Vell.) Mart.	1	0,632
124	<i>Eremanthus erythropappus</i> (DC.) MacLeish	7	0,665
125	<i>Eriotheca candolleana</i> (K. Schum.) A. Robyns	4	0,440
126	<i>Eriotheca gracilipes</i> (K. Schum.) A. Robyns	21	0,473
127	<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl.	31	0,495
128	<i>Erythrina falcata</i> Benth.	1	0,305
129	<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.	1	0,600
130	<i>Erythroxylum mucronatum</i> Benth.	1	0,681
131	<i>Erythroxylum nummularia</i> Peyr.	1	0,706
132	<i>Eugenia aurata</i> O. Berg	1	0,794
133	<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	67	0,664
134	<i>Eugenia florida</i> DC.	3	0,666
135	<i>Eugeniainvolucrata</i> DC.	2	0,567
136	<i>Eugenia sonderiana</i> O. Berg	1	0,529
137	<i>Eugenia widgrenii</i> Sonder ex O. Berg	1	0,560
138	<i>Euplassa incana</i> (Klotzsch) I. M. Johnst.	1	0,412
139	<i>Faramea latifolia</i> (Cham. & Schltdl.) DC.	3	0,523
140	<i>Goniorrhachis marginata</i> Taub.	6	0,666
141	<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	5	0,453
142	<i>Guapira opposita</i> (Vell.) Reitz	1	0,349
143	<i>Guapira venosa</i> (Choisy) Lundell.	2	0,574
144	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	1	0,337
145	<i>Hancornia speciosa</i> Gomes	3	0,681
146	<i>Handroanthus chrysotrichus</i> (Mart. ex A.DC.) Mattos	1	0,724
147	<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	19	0,722
148	<i>Handroanthus ochraceus</i> (Cham.) Mattos	13	0,672

## Anexo A - Continua

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
149	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S. O. Grose	2	0,662
150	<i>Handroanthus spongiosus</i> (Rizzini) S. O. Grose	5	0,710
151	<i>Heteropterys byrsonimifolia</i> A. Juss.	2	0,607
152	<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	2	0,499
153	<i>Himatanthus drasticus</i> (Mart.) Plumel	6	0,481
154	<i>Himatanthus obovatus</i> (Müll. Arg.) Woodson	1	0,516
155	<i>Hirtella glandulosa</i> Spreng.	1	0,699
156	<i>Hortia arborea</i> Engl.	1	0,806
157	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	6	0,642
158	<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	39	0,664
159	<i>Hyptidendron asperrimum</i> (Epling) Harley	2	0,451
160	<i>Ilex brasiliensis</i> (Spreng.) Loes.	2	0,538
161	<i>Ilex dumosa</i> Reissek	3	0,527
162	<i>Inga capitata</i> Desv.	1	0,765
163	<i>Inga cylindrica</i> (Vell.) Mart.	4	0,559
164	<i>Inga ingoides</i> (Rich.) Willd.	2	0,636
165	<i>Inga marginata</i> Willd.	1	0,462
166	<i>Jacaranda caroba</i> (Vell.) A.DC.	1	0,488
167	<i>Jacaranda macrantha</i> Cham.	5	0,546
168	<i>Jacaranda mimosifolia</i> D. Don.	1	0,827
169	<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	8	0,560
170	<i>Kielmeyera marauensis</i> Saddi.	1	0,516
171	<i>Kielmeyera petiolaris</i> Mart.	2	0,445
172	<i>Kielmeyera rubriflora</i> Cambess.	3	0,567
173	<i>Lacistema pubescens</i> Mart.	2	0,570
174	<i>Lafoensia pacari</i> St. Hil.	2	0,575
175	<i>Lafoensia vandelliana</i> Cham. & Schltdl.	10	0,549
176	<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	5	0,521
177	<i>Laplacea fruticosa</i> (Schrad.) Kobuski	1	0,465
178	<i>Laplacea tomentosa</i> (Mart. & Zucc.) G. Don	2	0,572
179	<i>Leucochloron incuriale</i> (Vell.) Barneby & J. W. Grimes	1	0,601
180	<i>Licania hoehnei</i> Pilg.	1	0,648
181	<i>Licaria armeniaca</i> (Nees) Kosterm.	1	0,663
182	<i>Lonchocarpus virgilioides</i> (Vogel) Benth.	1	0,617
183	<i>Luehea candicans</i> Mart. & Zucc.	2	0,492
184	<i>Luehea grandiflora</i> Mart. & Zucc.	5	0,498
185	<i>Luehea paniculata</i> Mart. & Zucc.	1	0,496
186	<i>Mabea fistulifera</i> Mart.	4	0,620

## Anexo A – Continua

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
187	<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	3	0,681
188	<i>Machaerium amplum</i> Benth.	1	0,657
189	<i>Machaerium brasiliense</i> Vogel	9	0,659
190	<i>Machaerium dimorphandrum</i> Hoehne	1	0,684
191	<i>Machaerium floridum</i> (Mart. ex Benth.) Ducke	1	0,798
192	<i>Machaerium hirtum</i> (Vell.) Stellfeld	6	0,372
193	<i>Machaerium nyctitans</i> (Vell.) Benth.	6	0,634
194	<i>Machaerium opacum</i> Vogel	18	0,687
195	<i>Machaerium villosum</i> Vogel	13	0,684
196	<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.	17	0,682
197	<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.	8	0,610
198	<i>Matayba guianensis</i> Aubl.	2	0,649
199	<i>Matayba juglandifolia</i> Radlk.	1	0,567
200	<i>Metrodorea stipularis</i> Mart.	1	0,604
201	<i>Miconia cinnamomifolia</i> (DC.) Naudin	7	0,572
202	<i>Miconia elegans</i> Cogn.	1	0,480
203	<i>Miconia latecrenata</i> (DC.) Naudin	1	0,588
204	<i>Miconia pusilliflora</i> (DC.) Triana	4	0,593
205	<i>Miconia serrulata</i> (DC.) Naudin	1	0,513
206	<i>Miconia tristis</i> Spring	1	0,594
207	<i>Mimosa caesalpinifolia</i> Benth.	1	0,431
208	<i>Mollinedia argyrogyna</i> Perkins	1	0,507
209	<i>Mollinedia triflora</i> (Spreng.) Tul.	1	0,494
210	<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	27	0,720
211	<i>Myrcia amazonica</i> DC.	6	0,694
212	<i>Myrcia guianensis</i> (Aubl.) DC.	5	0,545
213	<i>Myrcia hebepetala</i> DC.	1	0,304
214	<i>Myrcia mischophylla</i> Kiaersk.	1	0,705
215	<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	13	0,629
216	<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	4	0,637
217	<i>Myrcia riaplinoioides</i> D.Legrand	1	0,689
218	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) Roem. & Schult.	1	0,545
219	<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	11	0,558
220	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	4	0,602
221	<i>Nectandra lanceolata</i> Nees	2	0,433
222	<i>Nectandra oppositifolia</i> Nees	3	0,452
223	<i>Ocotea bicolor</i> Vattimo	2	0,628
224	<i>Ocotea brachybotra</i> (Meisn.) Mez	2	0,433

## Anexo A - Continua

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
225	<i>Ocotea corymbosa</i> (Meisn.) Mez	4	0,574
226	<i>Ocotea diospyrifolia</i> (Meisn.) Mez	5	0,565
227	<i>Ocotea indecora</i> (Schott) Mez	1	0,663
228	<i>Ocotea nitida</i> (Meisn.) Rohwer	1	0,467
229	<i>Ocotea odorifera</i> (Vell.) Rohwer	3	0,511
230	<i>Ocotea pulchella</i> Mart.	2	0,593
231	<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.	3	0,664
232	<i>Ouratea cuspidata</i> Thiegh.	1	0,713
233	<i>Pachira glabra</i> (Pasq.) A.Robyns	1	0,374
234	<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng.) Taub.	2	0,448
235	<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	4	0,634
236	<i>Persea caesia</i> Meisn.	1	0,572
237	<i>Persea major</i> L.E.Kopp	6	0,466
238	<i>Persea rufotomentosa</i> Nees & Mart. ex Nees	1	0,497
239	<i>Persea willdenowii</i> Kosterm.	3	0,656
240	<i>Piptadenia gonoacantha</i> (Mart.) J.F.Macbr.	11	0,659
241	<i>Piptocarpha macropoda</i> Baker	4	0,601
242	<i>Pisonia tomentosa</i> Casar.	1	0,500
243	<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	37	0,596
244	<i>Platymiscium pubescens</i> Micheli	1	0,610
245	<i>Platypodium elegans</i> Vogel	10	0,711
246	<i>Plenckia populnea</i> Reissek	1	0,587
247	<i>Poincianella pluviosa</i> (DC.) L.P.Queiroz	14	0,690
248	<i>Posoqueria latifolia</i> (Rudge) Roem. & Schult.	1	0,708
249	<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk.	1	0,568
250	<i>Pouteria gardneri</i> (Mart. & Miq.) Baehni	1	0,707
251	<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.	6	0,623
252	<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	2	0,575
253	<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	2	0,642
254	<i>Protium spruceanum</i> (Benth.) Engl.	1	0,652
255	<i>Protium widgrenii</i> Engl.	3	0,713
256	<i>Pseudobombax grandiflorum</i> (Cav.) A. Robyns	1	0,373
257	<i>Pseudobombax longiflorum</i> (Mart. & Zucc.) A. Robyns	1	0,474
258	<i>Pseudopiptadenia contorta</i> (DC.) G. P. Lewis & M. P. Lima	1	0,558
259	<i>Psidium brownianum</i> DC.	1	0,783
260	<i>Psidium salutare</i> (Kunth) O. Berg	1	0,619
261	<i>Psidium sartorianum</i> (O. Berg) Nied.	2	0,741
262	<i>Psychotria appendiculata</i> Müll. Arg.	3	0,584

## Anexo A – Continua

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
263	<i>Psychotria sellowiana</i> (DC.) Müll. Arg.	1	0,692
264	<i>Psychotria stenocalyx</i> Müll. Arg.	2	0,458
265	<i>Psychotria vellosiana</i> Benth.	3	0,379
266	<i>Pterocarpus villosus</i> (Mart. ex Benth.) Benth.	1	0,787
267	<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel	14	0,708
268	<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	2	0,596
269	<i>Pterygota brasiliensis</i> Allemão	1	0,509
270	<i>Qualea cordata</i> (Mart.) Spreng.	2	0,579
271	<i>Qualea dichotoma</i> (Mart.) Warm.	1	0,699
272	<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	64	0,610
273	<i>Qualea multiflora</i> Mart.	8	0,603
274	<i>Qualea parviflora</i> Mart.	38	0,609
275	<i>Quararibea cordata</i> Vischer	1	0,599
276	<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek	4	0,376
277	<i>Rollinia laurifolia</i> Schltld.	1	0,342
278	<i>Roupala montana</i> Aubl.	4	0,626
279	<i>Sacoglottis mattogrossensis</i> Malme	2	0,561
280	<i>Salvertia convallariodora</i> A. St.-Hil.	5	0,590
281	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	2	0,402
282	<i>Schefflera angustissima</i> (Marchal) Frodin	1	0,454
283	<i>Scheffler acalva</i> (Cham.) Frodin & Fiaschi	2	0,531
284	<i>Scheffler amacrocarpa</i> (Cham. & Schltld.) Frodin	2	0,623
285	<i>Scheffler amorototoni</i> (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin	4	0,412
286	<i>Schinopsis brasiliensis</i> Engl.	10	0,780
287	<i>Senegalia polyphylla</i> (DC.) Britton & Rose	6	0,695
288	<i>Senna multijuga</i> (L.C.Rich.) H.S.Irwin & Barneby	2	0,527
289	<i>Simarouba versicolor</i> A.St.-Hil.	7	0,569
290	<i>Siparuna reginae</i> (Tul.) A.DC.	2	0,632
291	<i>Siphoneugena densiflora</i> O. Berg	5	0,679
292	<i>Solanum bullatum</i> Vell.	2	0,462
293	<i>Solanum cinnamomeum</i> Sendtn.	2	0,454
294	<i>Solanum swartzianum</i> Roem. & Schult.	1	0,567
295	<i>Sorocea guilleminiana</i> Gaudich.	5	0,535
296	<i>Sparattosperma leucanthum</i> (Vell.) K. Schum.	1	0,530
297	<i>Strychnos pseudoquina</i> A. St.-Hil.	9	0,573
298	<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Cov.	9	0,551
299	<i>Stryphnodendron polyphyllum</i> Mart.	1	0,438
300	<i>Styrax camporum</i> Pohl	1	0,788

## Anexo A - Continua

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
301	<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.	1	0,478
302	<i>Swartzia myrtifolia</i> J. E. Sm.	1	0,719
303	<i>Swartzia oblata</i> R.S.Cowan	1	0,660
304	<i>Sweetia fruticosa</i> Spreng.	1	0,553
305	<i>Symplocos celastrinea</i> Mart. ex Miq.	10	0,427
306	<i>Symplocos crenata</i> (Vell.) Mattos	1	0,417
307	<i>Tabebuia aurea</i> (Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore	10	0,558
308	<i>Tabebuia vellosi</i> Tol.	1	0,666
309	<i>Tabernaemontana solanifolia</i> A. DC.	2	0,452
310	<i>Tachigali aurea</i> Tul.	5	0,649
311	<i>Tachigali densiflora</i> (Benth.) L. G. Silva & H. C. Lima	1	0,544
312	<i>Tachigali paniculata</i> Aubl.	1	0,601
313	<i>Tachigali rugosa</i> (Mart. ex Benth.) Zarucchi & Pipoly	4	0,512
314	<i>Talisia esculenta</i> (A.St.-Hil.) Radlk.	4	0,626
315	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	16	0,520
316	<i>Tapirira obtusa</i> (Benth.) J. D. Mitch.	4	0,547
317	<i>Terminalia argentea</i> (Cambess.) Mart.	19	0,652
318	<i>Terminalia fagifolia</i> Mart.	23	0,712
319	<i>Terminalia glabrescens</i> Mart.	14	0,608
320	<i>Terminalia kuhlmannii</i> Alwan & Stace	1	0,530
321	<i>Tibouchina fissinervia</i> (Schrank & Mart. ex DC.) Cogn.	1	0,423
322	<i>Tibouchina granulosa</i> Cogn.	6	0,489
323	<i>Trichilia catigua</i> A. Juss.	1	0,609
324	<i>Trichilia pallida</i> Sw.	1	0,686
325	<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke	4	0,633
326	<i>Vernonanthura divaricata</i> (Spreng.) H. Rob.	13	0,374
327	<i>Vernonanthura puberula</i> (Less.) H. Rob.	1	0,400
328	<i>Virola bicuhyba</i> (Schott) Warb.	1	0,433
329	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	2	0,578
330	<i>Vitex polygama</i> Cham.	1	0,652
331	<i>Vochysia cinnamomea</i> Pohl	5	0,440
332	<i>Vochysia magnifica</i> Warm.	7	0,462
333	<i>Vochysia rufa</i> Mart.	2	0,548
334	<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl	5	0,539
335	<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	5	0,465
336	<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	34	0,542
337	<i>Xylopia sericea</i> A.St.- Hil.	5	0,531
338	<i>Zanthoxylum rhoifolium</i> Lam.	4	0,537

## Anexo A – Conclusão

<b>Id</b>	<b>Espécie</b>	<b>n</b>	<b>DBP (g.cm<sup>-3</sup>)</b>
339	<i>Zanthoxylum riedelianum</i> Engl.	2	0,504
340	<i>Zeyheria tuberculosa</i> (Vell.) Bureau	2	0,607

Em que: DBP = densidade básica média ponderada; n = número de indivíduos.



**SEGUNDA PARTE - ARTIGOS****ARTIGO 1 Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira nas fitofisionomias no estado de Minas Gerais**

O presente artigo encontra-se publicado no periódico Cerne, Lavras, ISSN 0104-7760, volume 18, número 2, páginas 345-352, de abril/junho de 2012. Tendo como autor e coautores: Gabriel Marcos Vieira Oliveira, José Márcio de Mello, Paulo Fernando Trugilho, José Roberto Soares Scolforo, Thiza Falqueto Altoé, Antônio José da Silva Neto e Antônio Donizette de Oliveira. Sendo, portanto, apresentado na íntegra em seguida.

## **EFEITO DO AMBIENTE SOBRE A DENSIDADE DA MADEIRA NAS FITOFISIONOMIAS NO ESTADO DE MINAS GERAIS**

### **RESUMO**

Existem importantes fatores ambientais que afetam diretamente a taxa de crescimento das espécies florestais, que podem provocar alterações em suas propriedades e, por sua vez, afetar a densidade da madeira. Como a ocorrência das diferentes fitofisionomias está relacionada a fatores ambientais característicos, neste trabalho, objetivou-se verificar o comportamento geral da densidade da madeira das espécies arbóreas nativas, frente a essas diferentes condições de crescimento no estado de Minas Gerais. Os dados de cubagem rigorosa das árvores foram obtidos do Inventário Florestal de Minas Gerais. Foram utilizados dados de 1988 árvores nas diversas fisionomias florestais. De cada árvore foram retirados cinco discos de madeira nas posições 0, 25, 50, 75 e 100% da altura total. A densidade básica de cada disco foi determinada segundo a norma NBR 7190/1997. As fitofisionomias ombrófila, semidecídua, cerrado, cerrado típico e decídua apresentaram, respectivamente, médias de densidade da madeira de 0,502; 0,561; 0,585; 0,612 e 0,675 g.cm<sup>-3</sup>, todas estatisticamente distintas. Foi encontrada uma relação clara e coerente da densidade da madeira com as características edafoclimáticas que condicionam as diferentes fitofisionomias no estado de Minas Gerais. As fisionomias florestais apresentam condições ambientais tão características, que afetam a composição florística e, também, a atividade fisiológica e cambial das plantas, ocasionando densidades da madeira próprias às formações florestais.

**Palavras-chave:** Densidade básica, fisionomia florestal, Inventário Florestal de Minas Gerais.

**ENVIRONMENT EFFECTS ON WOOD DENSITY OF VEGETATION  
TYPES IN MINAS GERAIS STATE – BRAZIL**

**ABSTRACT**

The objective was to verify the general behavior of wood density of native tree species in forest types in Minas Gerais state. The trees scaling data were obtained from the Forest Inventory of Minas Gerais State. Were used data from 1988 trees distributed in different forest formations. From each tree, five discs of wood were removed, at the 0, 25, 50, 75 and 100% of the total height. The wood basic density of each disk was determined according to NBR 7190/1997. The ombrophylous forest, semideciduous forest, savanna woodland, typical savanna and deciduous forest presented average wood density of 0.502, 0.561, 0.585, 0.612 and 0.675 g.cm<sup>-3</sup>, respectively, all statistically different. It was found a clear and consistent relation between wood density and environment characteristics that affect the different vegetation types in Minas Gerais State. The forest formations present environmental conditions so typical that they affect the floristic composition and also the cambial and physiological activity of plants, causing particular wood densities to forests formations.

**Keywords:** Basic density, forest physiognomy, Forest Inventory of Minas Gerais State.

## **1 INTRODUÇÃO**

Fatores ambientais influenciam a variabilidade da madeira, uma vez que afetam a taxa de crescimento das espécies florestais (RIGATTO et al., 2004). O efeito no crescimento está relacionado ao impacto sobre o período vegetativo e aos processos fisiológicos das plantas (ANTONOVA; STASOVA, 1997). Como resposta, as árvores adaptam seus processos fisiológicos de acordo com as condições ambientais, com reflexo na atividade cambial e na anatomia do lenho (VILLAR et al., 1997). Como a densidade da madeira é resultado da combinação da quantidade e da distribuição dos diferentes elementos anatômicos (ROQUE; TOMAZELLO FILHO, 2009), as variações edafoclimáticas, certamente, irão afetá-la de alguma maneira.

Condições ambientais desfavoráveis ao crescimento das espécies florestais, normalmente caracterizadas por deficiência hídrica, baixas temperaturas e solos de baixa fertilidade estão, em geral, correlacionadas com altas densidades da madeira, em que a atividade fisiológica e cambial das plantas é reduzida. Por outro lado, baixas densidades da madeira estão associadas a ambientes favoráveis ao crescimento com disponibilidade e boa distribuição hídrica, temperaturas mais elevadas e solos mais férteis e de boa qualidade (BAKER et al., 2004; MULLER-LANDAU, 2004; ROQUE; TOMAZELLO FILHO, 2009). Ambientes favoráveis ao crescimento, nos quais a atividade fisiológica e cambial das plantas é plena, resultam em divisão celular mais intensa, geralmente não acompanhada de um espessamento proporcional da parede celular, o que segundo Bergès et al. (2008), proporciona densidade da madeira mais baixa em função de uma proporção inferior de lenho tardio em relação ao lenho inicial. Além de que, segundo Trovati e Ferraz (1984), o próprio lenho tardio pode ser mais estreito e de baixa densidade nessas condições. Apesar dessa relação não ser absoluta para todas as espécies, é a mais coerente e mais encontrada na literatura.

Como a ocorrência das diferentes fitofisionomias está relacionada a fatores edáficos, topográficos e climáticos (AGNES et al., 2007; OLIVEIRA-FILHO et al., 1990; RODRIGUES et al., 2003; VELOSO et al., 1991), a hipótese a ser verificada é que os mesmos fatores ambientais que condicionam as fitofisionomias também resultem em efeitos significativos sobre a densidade da madeira das espécies presentes nas mesmas. A maioria dos estudos sobre efeitos do ambiente na densidade da madeira são pouco conclusivos e restritos a uma única espécie e, eventualmente, a pequenos grupos de espécies. Assim, neste trabalho, objetivou-se verificar o comportamento geral da densidade da madeira das espécies arbóreas nativas, frente às diferentes condições ambientais de crescimento nas fitofisionomias no estado de Minas Gerais.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Origem dos dados**

Os dados de cubagem rigorosa das árvores foram obtidos do Inventário da Flora Nativa e dos Reflorestamentos do Estado de Minas Gerais, um projeto realizado pelo governo do estado de Minas Gerais em parceria com o Instituto Estadual de Florestas - IEF e a Universidade Federal de Lavras - UFLA (SCOLFORO et al., 2008).

Foram utilizados dados de 1988 árvores cubadas, totalizando 340 espécies, com diâmetro maior que 5,0 cm, distribuídas em classes de diâmetros e altura, em diferentes bacias e sub-bacias hidrográficas e nas fisionomias florestais: ombrófila, semidecídua, cerrado típico, cerradão e decídua. As árvores cubadas foram retiradas de áreas em que o processo de desmate já havia sido autorizado pelo IEF para fins agropecuários ou planos de manejo sustentado (RUFINI et al., 2010). Na Figura 1, foram representados os locais do estado de Minas Gerais onde as árvores foram cubadas rigorosamente.

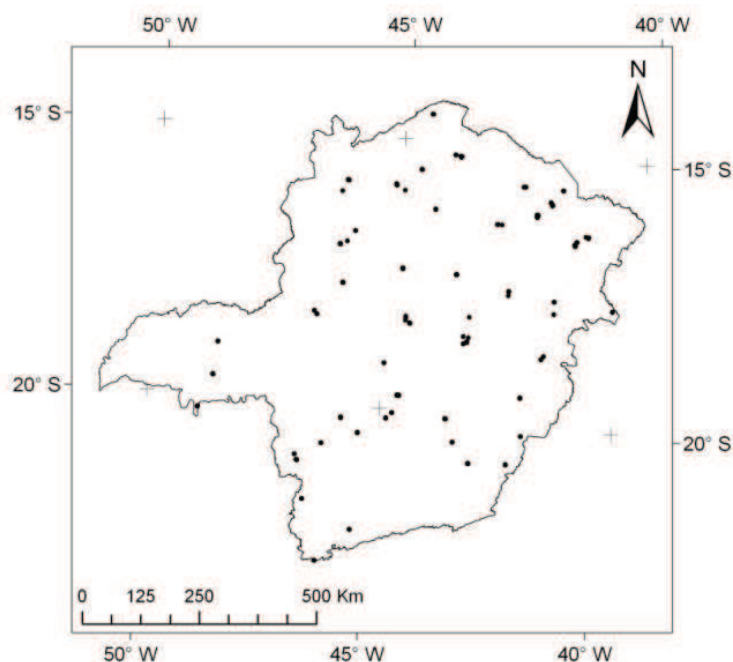


Figura 1 – Locais do estado de Minas Gerais onde foram realizadas as cubagens rigorosas das árvores.

*Figure 1 – Locations of Minas Gerais state where the trees rigorous scaling were accomplished.*

## 2.2 Cubagem rigorosa

O procedimento de cubagem foi executado, medindo-se o diâmetro mediano das seções compreendidas entre 0,10; 0,30; 0,70; 1,00; 1,30 e 2,00 m e, em seguida, de metro em metro, até o fim do fuste. Em relação aos galhos, foram cubados aqueles maiores que 3,0 cm de diâmetro e os comprimentos das seções foram arbitrários. Os volumes das seções do fuste e dos galhos foram determinados segundo o método de Huber, sendo o volume parcial e total da árvore a partir da soma das respectivas seções.

Após a cubagem, foram retirados cinco discos de madeira com espessura de 3,0 cm com casca, nas alturas correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% da

altura total da árvore. Os discos foram devidamente identificados com plaquetas de alumínio, de acordo com a árvore, posição do disco no fuste e local de coleta.

### **2.3 Determinação da densidade básica da madeira**

Os discos seguiram para o Laboratório de Ciência e Tecnologia da Madeira (DCF/UFLA), onde foi realizada a determinação da densidade básica dos mesmos.

Inicialmente, foram retiradas duas cunhas opostas em relação à medula de cada disco de madeira. Posteriormente, a densidade básica de cada disco da árvore foi obtida a partir da média aritmética entre as duas cunhas. A densidade básica de cada cunha foi determinada segundo o procedimento descrito pela norma NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1997).

A densidade básica de cada árvore foi calculada pela ponderação das densidades básicas de cada disco pelo volume das seções correspondentes.

### **2.4 Análise dos dados**

Uma análise de variância da densidade básica da madeira foi executada considerando como fator de variação as fitofisionomias envolvidas. O teste de Scott Knott foi adotado para comparação múltipla de médias, caso a análise de variância detectasse diferenças significativas. Para a execução das análises foi utilizado o software SISVAR (FERREIRA, 2008).

A suficiência das amostras utilizadas foi verificada com base em um nível de 95% de confiança, com erro máximo admissível de 5% com base no cálculo na intensidade amostral requerida (SHIVER; BORDERS, 1996). Os

cálculos foram executados por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

Para estimativa do parâmetro da densidade básica da madeira, em cada fitofisionomia, foi utilizado o método estatístico de estimação por intervalo de confiança para a média populacional (FERREIRA, 2005). Foi adotado um nível de significância  $\alpha$  de 0,05. Para a execução desse procedimento foi utilizado o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

No primeiro momento, a densidade básica foi avaliada considerando-se todas as espécies e, em seguida, considerando-se as espécies que ocorreram em mais de duas fitofisionomias. Gráficos de barras, de distribuição de frequências, de dispersão e de tendência, foram confeccionados para melhor visualização e análise dos resultados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, encontra-se a análise de variância para a densidade básica da madeira no delineamento considerado. Observa-se que o efeito da fitofisionomia foi altamente significativo, indicando existir pelo menos uma diferença entre elas.

Tabela 1 – Análise de variância da densidade básica da madeira nas fitofisionomias.

*Table 1 - Analysis of variance of wood density in vegetation types.*

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Valor-p</b>
Fitofisionomia	4	3,0686	0,7672	64,062	0,000*
Erro	1983	23,7467	0,0120		
Total corrigido	1987	26,8154			
CV(%)	18,5				
Média geral	0,588		n = 1988		

em que: \* = significativo.



Na Tabela 2, estão apresentadas as descrições da densidade básica da madeira por fitofisionomia para o estado de Minas Gerais, justamente com a comparação múltipla realizada. Tem-se que todas as amostras utilizadas apresentaram-se suficientes a 95% de confiança com erro máximo de 5%. Esse resultado indica que as estimativas das densidades da madeira foram precisas, o que resulta em baixos erros e intervalos de confiança estreitos que garantem estimativas próximas ao parâmetro verdadeiro da densidade da madeira.

Notoriamente, pela Tabela 2, observa-se que houve diferença estatística significativa entre todas as fisionomias florestais. As fitofisionomias ombrófila, semidecídua, cerradão, cerrado típico e decídua apresentaram médias de densidade de 0,502; 0,561; 0,585; 0,612 e 0,675 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente. Observa-se que a formação ombrófila apresentou valores médios de densidade inferior às demais, contrastando o resultado da floresta decidual. As fitofisionomias semidecídua, cerrado típico e cerradão apresentaram valores médios mais próximos, mas ainda assim diferentes estatisticamente.

Tabela 2 – Descrição da densidade básica da madeira por fitofisionomia no Estado de Minas Gerais.

*Table 2 - Description of basic wood density within vegetation types in Minas Gerais state.*

Fitofisionomia	n	(g.cm <sup>-3</sup> )			
		DB	EP	LI	LS
Ombrófila	152*	0,502 a	0,0084	0,486	0,519
Semidecídua	669*	0,561 b	0,0045	0,552	0,569
Cerradão	174*	0,585 c	0,0079	0,569	0,600
Cerrado típico	869*	0,612 d	0,0035	0,606	0,619
Decídua	124*	0,675 e	0,0118	0,651	0,698

em que: n = tamanho da amostra; \* = amostra suficiente a 95% de confiança com erro admissível de 5%; DB = densidade básica média; EP = erro padrão; LI = limite inferior; LS = limite superior; Médias de densidade básica seguidas de mesma letra não se diferem a 5% de significância.

Para facilitar a análise, as densidades médias da madeira com os respectivos intervalos de confiança e a dispersão das observações por fitofisionomias foram apresentadas graficamente de forma crescente na Figura 2.

Foi possível notar que a amplitude das observações de densidade da madeira é elevada e relativamente semelhante entre as fitofisionomias, mostrando que independente da formação florestal, pode-se encontrar indivíduos tanto com baixa como com alta densidade da madeira. No entanto, a concentração de indivíduos é diferenciada, principalmente considerando as florestas ombrófila e decídua, em que a concentração de indivíduos de baixa e de alta densidade, respectivamente, foi claramente observada. Nas fitofisionomias semidecídua, cerrado e cerrado típico não foi possível visualizar, em razão da sobreposição das observações, mas as barras de médias e a linha de tendência indicam um padrão crescente de concentração entre essas fitofisionomias.

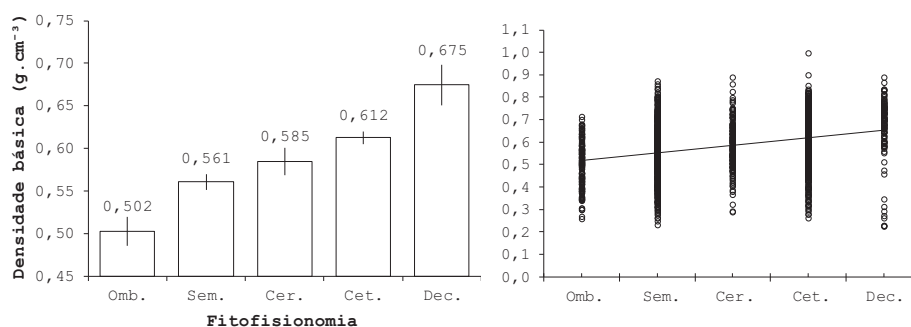


Figura 2 – Médias e dispersão da densidade básica da madeira entre as fitofisionomias no estado de Minas Gerais. Em que: Cer. = Cerradão; Cet. = Cerrado típico; Dec. = Decídua; Omb. = Ombrófila; Sem. = Semidecídua.

*Figure 1 – Mean and dispersion of wood density in vegetation types in Minas Gerais state. Cer. = Savanna woodland; Cet. = Typical savanna; Dec. = Deciduous forest; Omb. = Ombrophylous forest; Sem. = Semideciduous forest.*

Segundo a classificação da vegetação brasileira (VELOSO et al., 1991), a floresta ombrófila é caracterizada por elevadas temperaturas médias, elevadas

precipitações com boa distribuição ao longo do ano, apresentando de zero a apenas 60 dias sem chuva, o que determina uma situação biológica praticamente sem períodos secos. Já a formação decidual é caracterizada por duas estações climáticas bem demarcadas, uma chuvosa seguida de longo período biologicamente seco com mais de 50% dos indivíduos sem folhas no período desfavorável. Portanto, ambientes absolutamente díspares em termos de condições ambientais, sendo que a fitofisionomia ombrófila apresenta características favoráveis à atividade fisiológica das plantas, corroborando para as densidades da madeira substancialmente mais baixas. Assim como a floresta decidual, com condições opostas, foi coerente com as densidades mais altas. Roque e Tomazello Filho (2009) afirmaram que árvores crescendo em clima tropical seco produzem madeira de maior densidade do que aquelas de clima tropical úmido.

Em relação à formação semidecidual, a mesma é caracterizada por dupla estacionalidade climática. Uma tropical com época de intensas chuvas de verão seguida por estiagens acentuadas e outra subtropical sem período seco, mas com temperaturas médias baixas. Em tal tipo de vegetação, a porcentagem das árvores caducifólias no conjunto florestal situa-se entre 20 e 50% (VELOSO et al., 1991). Com essas características ambientais, essa fitofisionomia apresentou densidade média da madeira mais alta que a floresta ombrófila e mais baixa quando comparada aos cerrados e à floresta decidual. Fato que pode ser justificado, uma vez que a ocorrência de florestas estacionais semidecíduais coincide com solos mais férteis, úmidos e profundos (OLIVEIRA-FILHO et al., 1994), assim como, associada a teores mais elevados de matéria orgânica, nutrientes em superfície, argilominerais, argila em todo o perfil e maior potencial de uso da água disponível pelas plantas, quando comparadas aos cerrados (ROSSI et al., 2005). Logo, essa fitofisionomia é capaz de melhor suprir as plantas com água nos períodos mais secos, bem como propiciar maior

fertilidade ativa advinda da ciclagem de nutrientes da matéria orgânica e, conseqüentemente, propiciando atividade fisiológica mais acentuada quando comparada aos cerrados e à floresta decidual e, portanto, concordando com densidades da madeira mais baixas.

As fisionomias cerradão e cerrado típico, mesmo pertencentes ao mesmo bioma (Cerrado), apresentaram diferença significativa quanto à densidade média da madeira. A ocorrência das cinco diferentes fisionomias do bioma Cerrado está relacionada a fatores edáficos, topográficos, clima sazonal, condições hídricas, fenologia e forma de dispersão das espécies, incidência de fogo e perturbações antrópicas (AGNES et al., 2007; OLIVEIRA-FILHO et al., 1990; OLIVEIRA-FILHO; FLUMINHAN-FILHO, 1999). O fato das densidades serem próximas, provavelmente, deve-se a semelhança na composição florística e edafoclimáticas apresentadas particularmente entre essas duas fisionomias do Cerrado. Estudos comparativos entre essas duas formações mostram índices de similaridade florística médios a altos, em torno de 35 a 73% (COSTA; ARAÚJO, 2001; RIBEIRO et al., 1985), com ocorrência em solos distróficos profundos, bem drenados, de baixa fertilidade, com acidez e teor de alumínio muito semelhantes (AGNES et al., 2007; COSTA; ARAÚJO, 2001; MARIMON JUNIOR; HARIDASAN, 2005) e em clima tropical estacional com verões quentes e úmidos e inverno ameno e seco com duração aproximada de seis meses (AGNES et al., 2007; VELOSO et al., 1991). Segundo Marimon Junior e Haridasan (2005), uma das explicações plausíveis em relação à existência das duas fitofisionomias está associada à composição granulométrica dos solos. O solo sob cerradão, mais argiloso, tem maior capacidade de retenção de água disponível, o que é corroborado por Spera et al. (2005). Portanto, para Marimon Junior e Haridasan (2005), esse solo é capaz de suprir mais adequadamente as plantas com água nos processos de síntese de biomassa, bem como possui maior fertilidade ativa, pois a disponibilidade de água regula a dinâmica dos nutrientes

no solo e sua absorção pelas plantas. Essas características, provavelmente, propiciam atividade fisiológica pouco mais acentuada que no cerrado típico e, portanto, pode acarretar a formação de madeira de densidade mais baixa, explicando o padrão encontrado.

Na Figura 3, visualiza-se o comportamento da concentração de indivíduos em suas respectivas classes de densidades da madeira nas fitofisionomias.

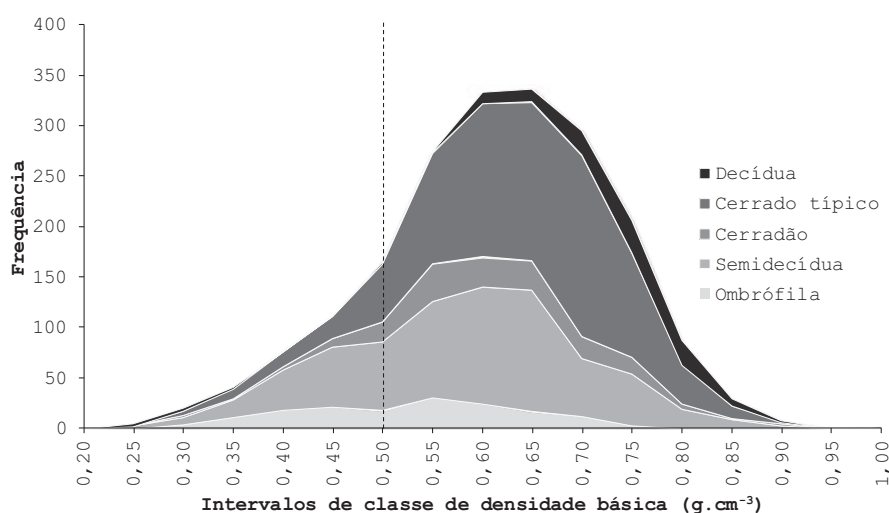


Figura 3 – Distribuição de frequência acumulada de indivíduos nas classes de densidade básica da madeira por fitofisionomia.

*Figure 3 – Cumulative frequency distribution of individuals in wood density classes per vegetation type.*

Pode-se notar o acúmulo de indivíduos nas maiores classes de densidade da madeira à medida que se percorre da fitofisionomia ombrófila até a decidual. O deslocamento das distribuições dos indivíduos nas fitofisionomias à direita da linha de referência permite observar que há um claro gradiente crescente de indivíduos de maiores densidade à medida que os ambientes se tornam mais adversos à atividade fisiológica das plantas.

De acordo com Rodrigues et al. (2003), a diversidade de fatores ambientais que interagem, afetam a comunidade vegetal e induzem respostas das espécies a esses fatores, fazendo com que cada local tenha características próprias, possibilitando observar tendências. Segundo Nogueira et al. (2007), estudos têm geralmente assumido que a variação na densidade da madeira nos ambientes é puramente advinda da variação na composição de espécies. No entanto, segundo Chave et al. (2006), as variações de determinados fatores ambientais podem conduzir a determinados padrões de composição de espécies e também de densidade da madeira. Portanto, a própria composição florística, determinada pelas condições ambientais, pode ser responsável pela variação da densidade da madeira entre ambientes. Mas, certamente, pode-se afirmar que as densidades das madeiras dos indivíduos que compõe as fitofisionomias apresentaram uma clara e concisa tendência de variarem também em função dos fatores ambientais. Sendo que condições ambientais favoráveis à atividade fisiológica das plantas acarretaram, sensivelmente, uma maior concentração de indivíduos com densidade da madeira mais baixas e o inverso ocorrendo para as condições desfavoráveis.

Com o intuito de reduzir, em parte, o efeito da composição de espécies sobre a variação da densidade da madeira e destacar o efeito do ambiente, na Figura 4 estão apresentadas as médias e tendências levando em consideração o efeito das espécies que ocorreram em três (Figura 4 A) ou quatro (Figura 4 B) fitofisionomias, independentemente e simultaneamente. Foram excluídas as espécies que ocorrem exclusivamente em uma ou duas formações e não foram amostradas espécies que ocorrem nas cinco fitofisionomias simultaneamente.

Com base na Figura 4 A, observa-se que, mesmo retirando as espécies amostradas exclusivamente em uma e duas fitofisionomias, o padrão de variação da densidade da madeira encontrado anteriormente se manteve. Sendo a hierarquia entre as fitofisionomias exatamente a mesma e os valores absolutos

de densidade muito semelhantes, exceto para ombrófila. Desse modo, pode-se reafirmar o efeito ambiental, uma vez que ele se manteve mesmo com certa redução do fator específico.

Em relação à Figura 4B, como não houve observações na floresta ombrófila e como estão representadas apenas as espécies que ocorrem simultaneamente em quatro fitofisionomias, estas foram exatamente as mesmas em cada uma delas: *Anadenanthera colubrina*, *Myracrodruon urundeuva*, *Myrcia splendens*, *Plathymentia reticulata* e *Terminalia fagifolia*. Dessa forma, todo efeito em termos de composição de espécies sobre a variação da densidade média da madeira entre as fitofisionomia é nulo, e mesmo com poucas observações, o padrão ainda assim se manteve. Sendo que a média de densidade da madeira nas formações semidecídua e cerradão foram consideravelmente inferiores ao cerrado típico e floresta decidual. Apesar da hierarquia ter sido a mesma, deve-se ressaltar que as diferenças entre as densidades médias foram reduzidas entre a semidecídua e o cerradão, assim como entre o cerrado típico e a decídua. Fato que indica que a composição de espécies também tem efeito relevante na variação na densidade da madeira nas fitofisionomias, assim como o efeito ambiental verificado.

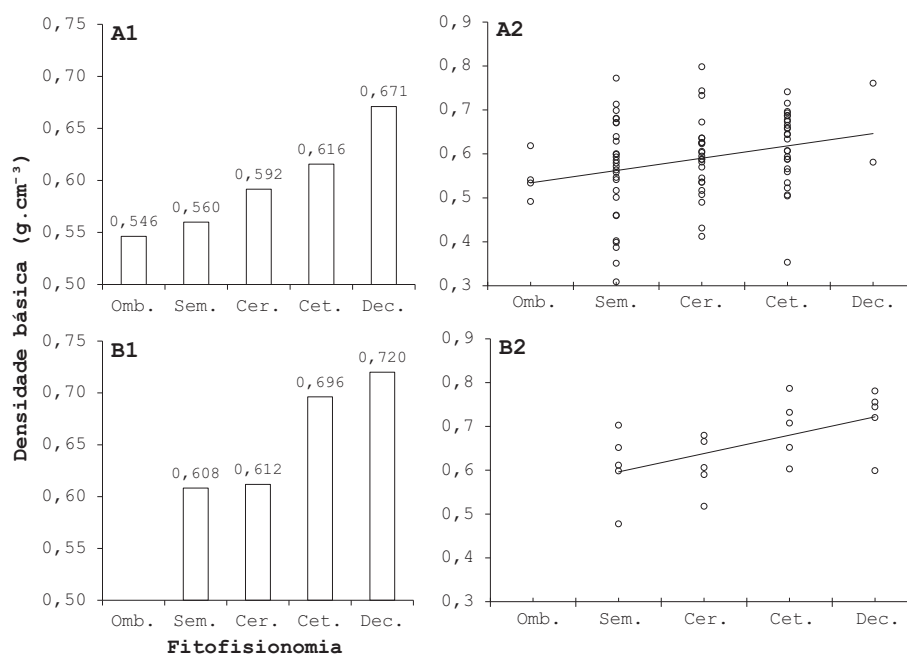


Figura 4 – Médias e tendência da densidade básica da madeira nas fitofisionomias para as espécies em comum. Sendo em A, as espécies que ocorrem em três fitofisionomias independente e simultaneamente e em B as espécies que ocorrem em quatro. Em que: Cer. = Cerradão; Cet. = Cerrado típico; Dec. = Decídua; Omb. = Ombrófila; Sem. = Semidecídua.

Figure 4 – Means and trends of wood basic density in vegetation types for species in common. Where A, species that occur in three vegetation type simultaneously and independently, and B, species that occur in four vegetation type. Cer. = Savanna woodland; Cet. = Typical savanna; Dec. = Deciduous forest; Omb. = Ombrophyllous forest; Sem. = Semideciduous forest.

#### 4 CONCLUSÕES

Há uma relação clara e coerente da densidade da madeira com as características ambientais que condicionam as diferentes fitofisionomias no estado de Minas Gerais. As fitofisionomias ombrófila, semidecídua, cerradão, cerrado típico e decídua, apresentam, nessa ordem, um gradiente crescente de características ambientais desfavoráveis à atividade fisiológica e cambial das



plantas, resultando em um padrão crescente de concentração de indivíduos e espécies com densidades da madeira mais elevada. Portanto, a variação da densidade da madeira nos ambientes é tanto determinada pela variação da composição florística como pelos fatores ambientais.

## 5 BIBLIOGRAFIA

AGNES, C. C. et al. Fatores ecológicos condicionantes da vegetação do cerrado. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 25-37, 2007.

ANTONOVA, G. F.; STASOVA, V. V. Effects of environmental factors on wood formation in larch (*Larix sibirica* Ldb.) stems. **Trees - Structure and Functional**, San Diego, v. 11, n. 8, p. 462-468, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: determinação da massa específica básica da madeira. Rio de Janeiro, 1997.

BAKER, T. R. et al. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 5, p. 545-562, 2004.

BERGÈS, L.; NEPVEU, G.; FRANCO, A. Effects of ecological factors on radial growth and wood density components of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) in Northern France. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3/4, p. 567-579, 2008.

CHAVE, J. et al. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species. **Ecology Application**, Oxford, v. 16, n. 6, p. 56-67, 2006.

COSTA, A. A.; ARAÚJO, G. M. Comparação da vegetação arbórea de cerrado e de cerrado na Reserva do Panga, Uberlândia, Minas Gerais. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 63-72, 2001.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. Lavras: UFLA, 2005. 650 p.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

MARIMON JUNIOR, B. H.; HARIDASAN, M. Comparação da vegetação arbórea e características edáficas de um cerradão e um cerrado sensu stricto em áreas adjacentes sobre solo distrófico no leste de Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 19, n. 4, p. 913-926, 2005.

MULLER-LANDAU, H. C. Interspecific and intersite variation in wood density of tropical trees. **Biotropica**, Washington, v. 36, n. 1, p. 20-32, 2004.

NOGUEIRA, E. M. et al. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 248, n. 3, p. 119-135, 2007.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FLUMINHAN FILHO, M. Ecologia da vegetação do Parque Florestal Quedas do Rio Bonito. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 51-64, jul./dez. 1999.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. et al. Environmental factors affecting physiognomic and floristic variation in an area of cerrado in central Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v.5, p. 413-451, 1990.

OLIVEIRA-FILHO, A. T. et al. Differentiation of streamside and upland vegetation in an area of montane semideciduous forest in southeaster, Brazil. **Flora**, London, v. 189, p. 287-305, 1994.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2008. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 mar. 2010.

RIBEIRO, J. F.; SILVA, J. C. S.; BATMANIAN, G. J. Fitossociologia de tipos fisionômicos de cerrado em Planaltina, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 8, p. 131-142, 1985.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de pinus taeda para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 267-273, mar./abr. 2004.

RODRIGUES, L. A. et al. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal em Luminárias, MG. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 17, p. 71-97, 2003.

ROQUE, R. M.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 273-285, set. 2009.

ROSSI, M. et al. Relação solos-vegetação em área natural no Parque Estadual de Porto Ferreira, São Paulo. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 45-61, 2005.

RUFINI, A. L. et al. Equações volumétricas para o Cerrado *Sensu Stricto*, em Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 1, p. 1-11, jan./mar. 2010.

SCOLFORO, J. R. S.; OLVEIRA, A. D.; ACERBI, J. F. W. **Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. 216 p.

SHIVER, B. D.; BORDERS, B. E. **Sampling techniques for forest resource inventory**. New York: J. Wiley, 1996. 356 p.

SPERA, S. T. et al. Atributos físicos de solos e distribuição das fitofisionomias de cerrado na bacia hidrográfica do Rio Jardim, DF. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Planaltina, v. 146, p. 1-18, 2005.

TROVATI, L. R.; FERRAZ, E. S. B. Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa*. **IPEF**, Piracicaba, n. 26, p. 31-36, abr. 1984.

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, 1991. 124 p.

VILLAR, P. et al. Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. **Trees - Structure and Function**, San Diego, v. 12, n. 2, p. 90-96, 1997.

**ARTIGO 2 Amostragem do fuste e equações para estimar a densidade da madeira em diversas fitofisionomias para fins de biomassa**

O presente artigo encontra-se submetido ao periódico Ciência Florestal, desde 08 de janeiro de 2014, estando ainda em processo de avaliação. Tendo como autor e coautores: Gabriel Marcos Vieira Oliveira, José Márcio de Mello, João Domingos Scalon e José Roberto Soares Scolforo. Sendo, portanto, apresentado a seguir conforme foi submetido.

**AMOSTRAGEM DO FUSTE E EQUAÇÕES PARA ESTIMAR A  
DENSIDADE DA MADEIRA EM DIVERSAS FITOFISIONOMIAS  
PARA FINS DE BIOMASSA**

**RESUMO**

A determinação da biomassa de árvores é normalmente realizada através da técnica volumétrica, a qual exige tempo e recursos consideráveis para ser executada. Uma alternativa para se reduzir esse esforço é amostrar melhor os discos para estimativa da densidade da madeira. O objetivo do trabalho foi determinar o número mais adequado de discos, as melhores posições de amostragem ao longo do fuste e propor equações que permitam estimar a densidade básica da parte aérea lenhosa de árvores utilizando um número reduzido de discos, em diversas fisionomias florestais, para subsidiar estimativas de biomassa. Os dados de cubagem rigorosa das árvores foram obtidos do Inventário Florestal de Minas Gerais, advindas de 1325 árvores, distribuídas em regiões, classes de diâmetro e altura e em diversas fisionomias florestais. De cada árvore foram retirados cinco discos de madeira nas posições 0 (A), 25 (B), 50 (C), 75 (D) e 100% (E) da altura comercial. A densidade básica de cada disco foi determinada segundo a norma pertinente e a densidade geral do fuste a partir da média aritmética entre as densidades dos discos. As análises foram executadas mediante a análise de regressão, Critério de Informação de Akaike, Erro Padrão da Estimativa e análise gráfica de resíduos. Os resultados indicaram que, em geral, as melhores posições de amostragem são C, BD, ACE e ABDE para amostras com um, dois, três e quatro discos, respectivamente, podendo variar de acordo com a fitofisionomia. A precisão na estimativa da densidade do fuste aumenta com um maior número de discos amostrados, entretanto, é possível estimar com alta precisão a densidade do fuste com um número menor de discos, desde que amostrados em posições específicas do fuste e inseridos nas equações propostas de acordo com cada fitofisionomia.

**Palavras-chave:** Técnica volumétrica; Densidade Básica; Inventário Florestal.

## **DISCS SAMPLING AND EQUATIONS FOR ESTIMATING WOOD DENSITY IN SEVERAL FOREST TYPES FOR THE PURPOSE OF BIOMASS**

### **ABSTRACT**

The determination of the biomass of trees is typically performed by a volumetric technique, which requires considerable time and resources perform. An alternative to reduce this effort is to improve the sampling of discs to estimate the wood density. The objective of this study was to determine the most appropriate number discs, the best sampling positions along the stem and propose equations to estimate the basic woody density of trees using a reduced number of discs in several forest types, to subsidize biomass estimates. Data from tree scaling was obtained from the Forest Inventory of Minas Gerais, resulting in 1325 trees distributed in regions, diameter and height classes and several forest formations. From each tree five wood discs were taken at the positions 0 (A), 25 (B), 50 (C) 75 (D) and 100% (E) of the commercial height. The density of each disc was determined according to the appropriate norm and the general stem density from the arithmetic mean of discs density. Analyses were performed by regression analysis, the Akaike Information Criterion, Standard Error of the Estimate and graphical analysis of residuals. Results indicated that in general, the best sampling positions are C, BD, ACE and ABDE for samples with one, two, three and four discs, respectively, and may vary with vegetation type. The best estimate of stem density will always be given by the highest number of discs, however, it is possible to estimate with high accuracy the density of trees, with a smaller number of discs, sampled at specific positions on the stem and estimated using the equation according to each forest types.

**Keywords:** Volumetric Technique; Basic Density; Forest Inventory.

### **1 INTRODUÇÃO**

A biomassa ou peso seco pode ser considerado uma medida da produção e produtividade florestal, dentre as quais se destacam a quantificação para fins energéticos e, de um ponto de vista mais contemporâneo, essa variável pode ser convertida em peso de carbono, que por sua vez subsidia estimativas de emissão

e sequestro de gases do efeito estufa na atmosfera (NOGUEIRA et al, 2007; FEARNSSIDE, 2008; SILVEIRA, 2010).

As determinações de biomassa convencionais referem-se, principalmente, à biomassa do estrato arbóreo acima do solo, uma vez que este é de mais fácil mensuração e contribui significativamente com a biomassa total no sistema florestal. Dentro do estrato arbóreo acima do solo, o fuste compõe a fração mais representativa da biomassa na árvore e da biomassa total da floresta, sendo que sua determinação deve ser feita da forma mais precisa possível (SANQUETTA, 2002; VIEIRA, et al., 2009).

A determinação da biomassa do fuste é normalmente realizada por meio da técnica volumétrica. Por essa técnica, a estimativa do peso seco é obtida pelo produto do volume da árvore pela densidade básica da madeira da mesma. O volume da árvore é determinado através de algum método de cubagem rigorosa e a densidade através de discos de madeira amostrados ao longo do fuste, sendo que na maioria das vezes são amostrados cinco discos (SCOLFORO et al., 2004; SILVEIRA et al., 2008; VISMARA, 2009).

No entanto, a cubagem rigorosa é uma atividade que exige técnica, tempo e recursos para ser executada, assim como a retirada dos discos e as análises em laboratório. Uma alternativa para se reduzir esse esforço é melhorar a amostragem dos discos para determinação da densidade da madeira do fuste, de forma a retirá-los das posições mais representativas e, conseqüentemente, reduzir o número de discos amostrados. Essa alternativa pode garantir ganho de tempo e recursos e também, garantir a manutenção da precisão das estimativas de biomassa, uma vez que, segundo Woodcock (2000), a densidade da madeira é um dos fatores chave nos cálculos.

Desse modo, o objetivo do trabalho foi determinar o número mais adequado de discos, as melhores posições de amostragem ao longo do fuste e propor equações que permitam estimar a densidade básica da parte aérea lenhosa

de árvores utilizando um número reduzido de discos, em diversas fisionomias florestais, para subsidiar estimativas de biomassa.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Origem dos dados**

Os dados foram obtidos do Inventário Florestal de Minas Gerais, um projeto realizado pelo governo do Estado de Minas Gerais em parceria com o Instituto Estadual de Florestas (IEF) e a Universidade Federal de Lavras (UFLA) (SCOLFORO et al., 2008). Foram utilizados dados de 1325 árvores cubadas no Estado de Minas Gerais, com diâmetro a 1,3 m do solo maior que 5,0 cm, distribuídas em classes de diâmetros e altura, em diferentes bacias e sub-bacias hidrográficas e nas fisionomias florestais: Cerradão, Cerrado (inclui Campo Cerrado), Decídua, Ombrófila e Semidecídua (Figura 1). O número de árvores cubadas foi proporcional à Densidade Relativa das espécies obtidas no Inventário Florestal de Minas Gerais, critério esse aplicado às quatro espécies que apresentaram maior Densidade Relativa e as demais foram agrupadas e computadas como se fosse uma única espécie.



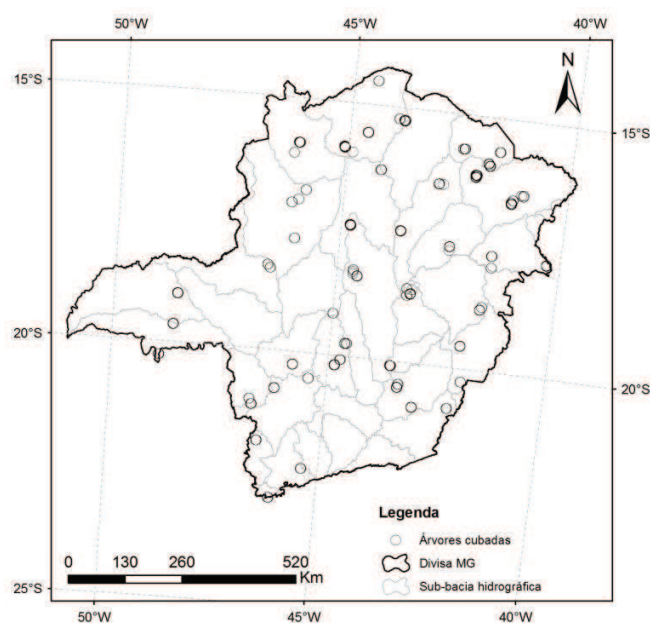


FIGURA 1: Locais onde foram amostradas as árvores para cubagem, no Estado de Minas Gerais.

FIGURE 1: Places where trees were sampled for scaling, in Minas Gerais State, Brazil.

## 2.2 Amostragem dos discos e determinação da densidade básica

O procedimento de cubagem foi executado segundo o método de Huber. Após a cubagem foram retirados cinco discos de madeira com espessura de 3,0 cm com casca, nas alturas correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore (até o diâmetro de 3,0 cm), as quais foram codificadas nesse estudo como A, B, C, D e E, respectivamente. Posteriormente foram retiradas duas cunhas opostas em relação à medula de cada um dos cinco discos de madeira. A densidade básica de cada cunha foi obtida pela Equação 1, seguindo o procedimento descrito pela norma NBR 11941 (ABNT, 2003), em que:  $\rho$  = densidade básica ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ );  $m_s$  = massa seca (g); e  $v_v$  = volume verde ou saturado ( $\text{cm}^3$ ).

$$\rho = m_s / v_v \quad (1)$$

A densidade básica de cada disco foi obtida a partir da média entre as duas cunhas e a densidade básica geral do fuste da árvore foi calculada pela média aritmética das densidades dos cinco discos. Foi utilizada a média aritmética em função dos estudos desenvolvidos por Vismara (2009), que demonstrou que esta estima melhor a densidade básica da árvore do que a média ponderada, tendo como parâmetro a densidade obtida por gravimetria, a qual é tida como mais precisa do que a técnica volumétrica por ser sujeita a menos fontes de erro.

### 2.3 Análise dos dados

Para verificar quais as melhores posições de amostragem e o número mais adequado de discos para estimativa da densidade básica da parte área lenhosa da árvore, foram utilizados modelos de regressão linear. Na modelagem, a variável dependente foi definida como a “densidade básica média de cada fuste” ( $\rho_i$ ) e as variáveis independentes foram as “densidades básicas dos discos” ( $\rho_{j_n}$ ) retirados das posições relativas ( $j$ ) A, B, C, D e E. Os modelos de regressão foram ajustados para todas as combinações entre os cinco discos tomados de  $n$  a  $n$ , com  $n$  variando de um a quatro, num total de 30 regressões (Tabela 1). Deve-se observar que não foi ajustada uma regressão para a combinação dos cinco discos, uma vez que o valor de referência (parâmetro) foi dado pela média aritmética entre eles e, portanto, resultaria numa equação com erro zero (modelo matemático).

TABELA 1: Modelos de regressão linear ajustados a todas as combinações entre os cinco discos amostrados.

TABLE 1: Linear regression models adjusted for each combination of the five sampled discs.

Nº de Discos	Modelo de Regressão	Combinações
1	$\hat{\rho}_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \rho_{j_1} + \varepsilon$	5
2	$\hat{\rho}_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \rho_{j_1} + \beta_2 \cdot \rho_{j_2} + \varepsilon$	10
3	$\hat{\rho}_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \rho_{j_1} + \beta_2 \cdot \rho_{j_2} + \beta_3 \cdot \rho_{j_3} + \varepsilon$	10
4	$\hat{\rho}_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot \rho_{j_1} + \beta_2 \cdot \rho_{j_2} + \beta_3 \cdot \rho_{j_3} + \beta_4 \cdot \rho_{j_4} + \varepsilon$	5
5	$\rho_i = (\rho_A + \rho_B + \rho_C + \rho_D + \rho_E) / 5$ (Parâmetro)	-

Em que:  $\hat{\rho}_i$  = densidade básica estimada do fuste;  $\beta_n$  = parâmetros a serem estimados;  $\rho_{j_n}$  = densidade básica do disco da  $j$ -ésima posição (A, B, C, D ou E);  $\rho_i$  = densidade básica do fuste (parâmetro);  $\varepsilon$  = erro I.I.D.N. ( $0^2$ ).

Os modelos de regressão foram ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), sob suposição de erros com distribuição normal, independentes e identicamente distribuídos com média zero e variância constante, os modelos foram submetidos à análise gráfica dos resíduos padronizados e aos indicativos de precisão de ajuste Erro Padrão da Estimativa ( $S_{yx}$ ) e Critério de Informação de Akaike ( $AIC$ ), representados nas Equações 2 e 3, respectivamente, em que:  $n$  = número de observações;  $p$  = número de parâmetros do modelo;  $mv$  = máxima verossimilhança; demais termos já definidos. O critério de avaliação  $AIC$  é um teste que permite uma comparação entre modelos não aninhados e penalizam aqueles com maior número de parâmetros, adequando-os ao conceito de parcimônia (WOLFINGER, 1993). Em ambos indicadores, menores valores indicam melhor ajuste.

$$S_{yx} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\rho_i - \hat{\rho}_i)^2}{n - p - 1}} \quad (2)$$

$$AIC = -2\ln(mv) + 2p \quad (3)$$

Primeiramente, todos os procedimentos descritos e os ajustes dos modelos foram executados sem distinção da fitofisionomia, ou seja, para toda base de dados, os quais foram tratados como “Equações Gerais”, totalizando 30 equações, correspondentes a todas as combinações entre os discos. Posteriormente, foi selecionada apenas uma equação por número de discos, totalizando quatro equações, as quais foram definidas como as melhores posições de amostragem, com base nos menores valores de *AIC*. Para definir o número mais adequado de discos foi realizada comparação estatística entre essas quatro equações, também em termos de *AIC*.

Em uma análise posterior, todos os procedimentos e os modelos foram ajustados para cada fisionomia florestal separadamente, sendo elas: Cerradão, Cerrado (inclui Campo Cerrado), Decídua, Ombrófila e Semidecídua, os quais foram tratados como “Equações por Fitofisionomia”. Totalizando 150 equações, das quais foram selecionadas 20, quatro por fitofisionomia e cada uma das quatro correspondentes a uma combinação de um a quatro discos.

Prevendo que as Equações por Fitofisionomias pudessem apresentar coincidências nas melhores posições de amostragem quando comparadas as Equações Gerais, foi verificado se as equações coincidentes se diferiam estatisticamente por meio da comparação entre os intervalos de confiança dos parâmetros ( $\beta_i$ ) a um nível de significância 0,05, de acordo com a Equação 4 (CHARNET et al., 1999), em que:  $\hat{\beta}_i$  = estimativa do parâmetro; *EP* = erro padrão associado a  $\hat{\beta}_i$ ; *t* = valor crítico da distribuição *t* de Student para  $n - 1$  graus de liberdade ao nível de significância  $\alpha$ ;  $n$  = número total de observações.

$$\hat{\beta}_i \pm EP_{\hat{\beta}_i} \cdot t_{(\alpha/2; n-1)} \quad (4)$$

Todas as análises e procedimentos foram executados com o auxílio do *software* R 2.9.12 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Equações Gerais

Na Tabela 2 são apresentadas as estatísticas *AIC* para cada conjunto de discos para estimativa da densidade básica do fuste. Tem-se que, o ponto ótimo de amostragem com apenas um disco foi representado pela posição C correspondente a 50% da altura da árvore, a qual apresentou o menor valor de *AIC* (- 5092,9), seguida das posições B, D, A e E, demonstrando que as posições centrais são mais correlacionadas com a densidade geral da árvore que os discos amostrados nas extremidades, quando se amostra apenas um disco.

TABELA 2: Valor de *AIC* para as regressões referentes a cada combinação entre os discos amostrados.

TABLE 2: *AIC* value for the regressions for each combination between sampled discs.

<b>1 Disco</b>	<b>AIC</b>	<b>2 Discos</b>	<b>AIC</b>	<b>3 Discos</b>	<b>AIC</b>	<b>4 Discos</b>	<b>AIC</b>
A	-4453,7	AB	-5535,6	ABC	-6415,1	ABCD	-7546,1
B	-5020,0	AC	-5939,0	ABD	-6855,5	ABCE	-8166,1
C	-5092,9	AD	-6017,1	ABE	-6873,3	ABDE	-8398,5
D	-4608,1	AE	-5612,8	ACD	-6939,9	ACDE	-8228,6
E	-3868,5	BC	-5909,8	ACE	-7100,8	BCDE	-7506,3
		BD	-6052,9	ADE	-6789,2		
		BE	-6013,0	BCD	-6622,1		
		CD	-5771,0	BCE	-6901,5		
		CE	-5767,3	BDE	-6761,8		
		DE	-5042,9	CDE	-6227,6		

Estudos semelhantes são mais comuns para espécies do gênero *Eucalyptus*, boa parte desses trabalhos mostram geralmente que um disco apenas garante estimativa adequada da densidade da árvore, sendo variável a posição da altura onde o disco deve ser retirado, porém com maiores relatos de posições em torno do *DAP* ou 25% da altura comercial (FRANCO et al., 1998; PÁDUA et

al., 2006; BENJAMIN e BALLARIN, 2006). Alguns resultados com nativas relatam, também, o disco próximo ao *DAP* (VALE et al., 1992) e até mesmo o disco do topo (VISMARA, 2009). Deve-se ressaltar que muitos dos trabalhos acima citados, utilizaram como parâmetro a média ponderada da densidade, e obviamente as melhores posições de amostragem sempre tenderão a ser aquelas das posições com maior concentração de volume, ou seja, *DAP* e 25% da altura. Ainda que alguns trabalhos mostrem diferenças não significativas entre a densidade média ponderada e a aritmética (NOGUEIRA et al. 2005; PÁDUA et al., 2006; TRUGILHO, 2009), a posição de amostragem é totalmente influenciada.

Já para uma amostragem com dois discos, esses devem ser retirados nas posições BD correspondentes a 25 e 75% da altura da árvore, os quais apresentaram o menor valor de *AIC* (– 6052,9), seguido das posições AD, BE, AC, BC, CD, CE, AE, AB e DE. Para uma amostra com três discos, a qual é muito comum na literatura, os pontos ótimos de amostragem correspondem às posições ACE, ou ainda, os discos devem ser retirados a 0, 50 e 100% da altura da árvore, apresentando *AIC* de – 7100,8; seguidos das posições ACD, BCE, ABE, ABD, ADE, BDE, BCD, ABC e CDE. Por fim, para uma amostra com quatro discos, os pontos ótimos são representados por ABDE referentes a 0, 25, 75 e 100% da altura da árvore, com *AIC* de – 8398,5; seguidas das posições ACDE, ABCE, ABCD e BCDE.

Observa-se que as melhores posições com maior número de discos não mantém relação com as melhores posições com menos discos, nota-se que há uma tendência da distribuição mais simétrica e distribuída representar melhor a densidade geral da árvore e não os discos mais correlacionados individualmente. Por exemplo, os discos A e E são individualmente os que se apresentaram inferiores para estimativa da densidade geral da árvore, no entanto, eles

aparecem nas melhores posições quando são amostrados três e quatro discos, ACE e ABDE, respectivamente.

Na Tabela 3 foram relacionados os quatro melhores ajustes acima, correspondentes a cada conjunto de discos para definição do número mais adequado para estimativa da densidade básica geral do fuste.

TABELA 3: Comparação dos valores de AIC entre regressões com diferentes números de discos, correspondentes as melhores posições de amostragem.

TABLE 3: Comparison of AIC value between regressions with different discs numbers, corresponding to the best sampling positions.

<b>Nº de Discos</b>	<b>Posições</b>	<b>AIC</b>	<b>Teste</b>	<b>Diferença</b>	<b>P-valor</b>
1	C	-5092,9			
2	BD	-6052,9	1 vs 2	962,1	0,000
3	ACE	-7100,8	2 vs 3	1049,9	0,000
4	ABDE	-8398,5	3 vs 4	1299,7	0,000

Obviamente tem-se que a adição consecutiva de discos na amostra acarreta diferenças altamente significativas ( $P\text{-valor} < 0,0001$ ) na estimativa da densidade do fuste, de modo que, o uso de um menor número de discos de maneira alguma pode acarretar estimativas iguais ou mais precisas que uma amostra contendo mais discos. Resultados semelhantes podem ser vistos em Vismara (2009), que afirma que a menor discrepância da estimativa tende a ser menor quanto maior o número de discos combinados para determinação da densidade do tronco. Assim como, Franco et al. (1998) e Benjamin e Ballarin (2006), afirmam que o maior número de discos garantiriam estimativas mais eficientes. Possivelmente, o fato oposto só seria detectado caso se tivesse uma amostragem com um número excessivo de discos amostrados como parâmetro.

Conforme Benjamin e Ballarin (2006), quanto mais discos se amostram, maior é a precisão. No entanto, essa melhora muitas vezes não é significativa para justificar um aumento muito grande no tamanho da amostra. Portanto, deve-se considerar o erro associado ao uso de um número menor de discos, uma

vez que a precisão mínima e os recursos disponíveis em estudos e pesquisas podem não exigir ou limitar o uso de um número maior de discos. Dessa maneira, na Tabela 4 são apresentadas as estimativas dos parâmetros e as estatísticas de ajuste das Equações Gerais considerando um, dois, três e quatro discos para estimativa da densidade básica geral do fuste.

TABELA 4: Equações Gerais e estatísticas de ajuste para estimativa da densidade do fuste a partir das melhores posições de amostragem.

TABLE 4: General Equations and fit statistics to estimate the stem density from the best sampling positions.

Número Discos	Modelo/Equação										$S_{yx}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$S_{yx}$ (%)			
	$\beta_0$	+	$\beta_1$	$\rho_{j1}$	+	$\beta_2$	$\rho_{j2}$	+	$\beta_3$	$\rho_{j3}$			+	$\beta_4$	$\rho_{j4}$
1	0,0611	+	0,8957	C										0,030	5,16
2	0,0309	+	0,5074	B	+	0,4433	D							0,021	3,48
3	0,0080	+	0,2922	A	+	0,4108	C	+	0,2794	E				0,013	2,27
4	0,0019 <sup>ns</sup>	+	0,2285	A	+	0,2792	B	+	0,2667	D	+	0,2223	E	0,008	1,33

Em que: ns = parâmetro não significativo a 0,05 de significância, demais parâmetros sem “ns” são altamente significativos a 0,0001.

Independente do número de discos considerados, todas as equações apresentaram parâmetros altamente significativos (P-valor < 0,0001), exceto pelo intercepto ( $\beta_0$ ) da equação com quatro discos, no entanto, o mesmo foi mantido, uma vez que sua supressão pode inflacionar as estatísticas de ajuste.

As diferenças nos erros das estimativas ( $S_{yx}$ ) correspondem a uma média relativa de aproximadamente 35% de redução no  $S_{yx}$  quando se adiciona um disco, fato que justifica a diferença altamente significativa entre os mesmos. Entretanto, os valores absolutos percentuais podem ser considerados baixos, mesmo para a estimativa com apenas um disco, dificilmente na área florestal se tem equações ajustadas com erro em torno de 5%, independentemente das variáveis. Isso implica na possibilidade de estimar a densidade básica do fuste com pelo menos um disco amostrado, na posição já indicada. Obviamente que, como o acréscimo de um disco acarreta redução substancial no erro, o uso de apenas um disco deve ser considerado em circunstâncias limitantes em que não é



possível a amostragem de mais discos, ou ainda, quando há perda das informações coletadas por alguma eventualidade. Portanto, foram selecionadas quatro possibilidades para estimar a densidade geral do fuste a partir de um número menor de discos amostrados que garantem alta precisão e permitem ao pesquisador adequar uma equação a sua realidade de pesquisa.

Deve-se atentar para a importância de se utilizar as equações propostas para estimativa e não os valores absolutos ou valores médios de densidade dos discos retirados nas posições indicadas. Percebe-se por meio das equações ajustadas que os discos não apresentam “pesos” iguais, por exemplo, caso fossem amostrados discos nas posições ACE, uma possível média entre eles para estimativa da densidade do fuste implicaria em peso de 0,333 para cada um. No entanto, observa-se que eles têm pesos respectivos de 0,2922; 0,4108 e 0,2794 dados pelos parâmetros da regressão, além de uma correção de 0,008 g.cm<sup>-3</sup> pelo intercepto. Assim o disco da posição C tem peso maior que os discos de A e E, nessa ordem. De maneira análoga para as outras equações, observa-se que os discos centrais B, C e D, sempre tendem a ter maior peso que os discos externos A e E. Portanto, as equações propostas, além de indicar as melhores posições de amostragem, apresentam uma espécie de “correção” dos valores absolutos de densidade dos discos para garantir erro mínimo na estimativa da densidade geral do fuste.

Basta, afinal, verificar se a distribuição gráfica de resíduos atende aos pressupostos estabelecidos pela regressão (Figura 2). Observam-se resíduos bem distribuídos, sem tendência, com concentração das observações em torno de dois desvios padrões, sem indícios de heterocedasticidade, independente do número de discos. Os gráficos se diferenciam apenas quanto à concentração de observações em torno de zero, nota-se que, à medida que se adicionam discos no modelo, a nuvem de pontos tende a se agrupar em torno do eixo, novamente justificando as estimativas altamente significativas entre os mesmos. De acordo

com o histograma auxiliar lateral, os resíduos não apresentaram problemas de normalidade.

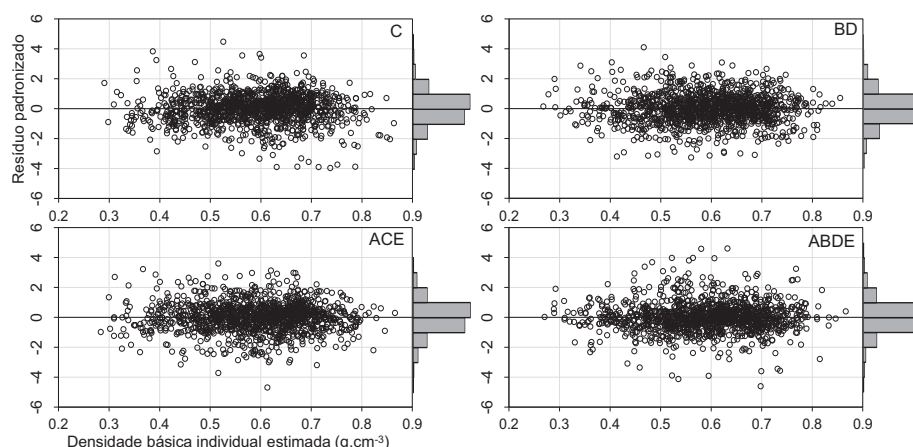


FIGURA 2: Gráficos de resíduos padronizados das Equações Gerais referentes aos discos e posições C, BD, ACE e ABDE.

FIGURE 2: Standardized residuals plots of General Equations in relation to discs and positions C, BD, ACE and ABDE.

Portanto, após todas as estatísticas de ajuste e análise de resíduos pode-se afirmar que as Equações Gerais são precisas e não apresentam problemas quanto às pressuposições estabelecidas sobre os resíduos, garantindo estimativas adequadas da densidade básica do fuste com um número menor de discos.

### 3.2 Equações por Fitofisionomia

As melhores posições de amostragem por fitofisionomias já pré-selecionadas em função de *AIC* estão apresentadas na Tabela 5, sendo necessário destacar que, eventualmente, algumas combinações para um mesmo número de discos foram estatisticamente idênticas quanto ao *AIC* e portanto, a melhor posição apresentada foi aquela com melhor distribuição de resíduos.

TABELA 5: Melhores posições de amostragem de discos para estimar a densidade do fuste em cada fitofisionomia.

TABLE 5: Best sampling positions of discs to estimate the stem density in each forest types.

Nº de discos	Fitofisionomia					
	Geral	Cerradão	Cerrado	Decídua	Ombrófila	Semidecídua
1	C	C	C	C	B	B
2	BD	BD	BD	CD	BC	AD
3	ACE	ACE	ACE	ACD	ABE	ACD
4	ABDE	ABDE	ABDE	ABDE	ABDE	ACDE

Em uma visão geral, as fitofisionomias apresentam comportamento diferenciado quanto à melhor posição de amostragem dos discos, apenas as formações de Cerradão e Cerrado foram idênticas as Equações Gerais para todos os números de discos. A fisionomia Decídua apresentou as mesmas posições que a Equação Geral para um (C) e quatro discos (ABDE), as posições para dois e três, foram CD e ACD, respectivamente. No caso da Ombrófila apenas as posições com quadros discos coincidiram com a Equação Geral (ABDE), já para um, dois e três discos foram B, BC e ABE, respectivamente. No caso das florestas Semidecíduas, nenhuma combinação de discos foi igual às Equações Gerais, sendo as melhores posições para um, dois, três e quatro discos, representadas por B, AD, ACD e ACDE, respectivamente.

O simples fato de se conhecer a formação florestal estudada pode auxiliar ainda mais na estimativa da densidade básica do fuste, uma vez que as melhores posições de amostragem podem variar em função da mesma, assim o uso dos discos mais adequados pode garantir o menor erro da estimativa.

Na Tabela 6 são apresentadas as estimativas dos parâmetros e as estatísticas de ajuste das Equações por Fitofisionomia.

TABELA 6: Equações e estatísticas de ajuste para estimativa da densidade do fuste por fitofisionomia, a partir das melhores posições de amostragem.

TABLE 6: Equations and fit statistics to estimate the stem density by forest types from the best sampling positions.

Fitofisionomia	ND	Modelo/Equação										$S_{yx}$ (g.cm <sup>-3</sup> )	$S_{yx}$ (%)			
		$\beta_0$	+	$\beta_1$	$\rho_{11}$	+	$\beta_2$	$\rho_{12}$	+	$\beta_3$	$\rho_{13}$			+	$\beta_4$	$\rho_{14}$
Cerradão	1	0,1037	+	0,8075	C										0,029	5,10
	2*	0,0320	+	0,4990	B +	0,4576	D								0,021	3,71
	3*	0,0194	+	0,2755	A +	0,4240	C +	0,2555	E						0,013	2,24
	4*	-0,0074 <sup>ns</sup>	+	0,2243	A +	0,3078	B +	0,2736	D +	0,2107	E				0,008	1,43
Cerrado	1*	0,0769	+	0,8715	C										0,028	4,59
	2*	0,0390	+	0,4846	B +	0,4515	D								0,019	3,12
	3*	0,0082	+	0,3048	A +	0,4098	C +	0,2673	E						0,013	2,05
	4*	0,0008 <sup>ns</sup>	+	0,2323	A +	0,2743	B +	0,2724	D +	0,2192	E				0,007	1,21
Decídua	1*	0,0623	+	0,9236	C										0,021	3,10
	2	0,0346	+	0,6682	C +	0,3043	D								0,016	2,36
	3	0,0143 <sup>ns</sup>	+	0,2110	A +	0,4320	C +	0,3338	D						0,010	1,46
	4*	-0,0041 <sup>ns</sup>	+	0,2318	A +	0,2984	B +	0,2399	D +	0,2319	E				0,005	0,75
Ombrófila	1	0,0957	+	0,8037	B										0,031	6,33
	2	0,0396	+	0,4404	B +	0,4766	C								0,021	4,32
	3	0,0235	+	0,2575	A +	0,3500	B +	0,3418	E						0,015	3,09
	4	0,0073 <sup>ns</sup>	+	0,2378	A +	0,2600	B +	0,2186	D +	0,2700	E				0,008	1,64
Semidecídua	1	0,0724	+	0,8589	B										0,031	5,55
	2	0,0078	+	0,4037	A +	0,5631	D								0,020	3,50
	3	0,0050 <sup>ns</sup>	+	0,3042	A +	0,3055	C +	0,3659	D						0,013	2,39
	4	-0,0027 <sup>ns</sup>	+	0,2753	A +	0,2695	C +	0,2536	D +	0,2046	E				0,008	1,48

Em que: ns = parâmetro não significativo a 0,05 de significância, demais parâmetros sem “ns” são altamente significativos a 0,0001; \* = equação estatisticamente idêntica a Equação Geral, em relação ao respectivo número de discos; ND = número de discos.

Quanto à significância dos parâmetros  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  e  $\beta_4$ , associados aos discos das equações apresentadas, todos foram altamente significativos (P-valor < 0,0001), ao contrário de diversos interceptos ( $\beta_0$ ), que, entretanto, foram mantidos por questões já relatadas. Os erros padrões das estimativas ( $S_{yx}$ ) apresentaram praticamente as mesmas proporções estabelecidas nas Equações Gerais para cada número de discos, com exceção da fitofisionomia Ombrófila que apresentou cerca de um ponto percentual de aumento no erro para as estimativas com dois, três e quatro discos. Nota-se também na Tabela 6 que, dentre as 20 equações, apenas nove são estatisticamente idênticas às Equações Gerais correspondentes e, portanto, as 11 demais devem ser priorizadas em detrimento as Equações Gerais quando há identificação da fitofisionomia

estudada, uma vez que, irão garantir estimativas mais precisas da densidade geral do fuste.

A mesma analogia feita para as Equações Gerais quanto aos “pesos” de cada disco podem ser observadas por fitofisionomia. Geralmente os discos centrais tendem a ser mais importantes na estimativa que os discos externos, contudo, há ocorrência de duas exceções: na equação com quatro discos (ACDE) da florestal Semidecídua, o disco A apresenta peso maior (0, 2753) que C, D e E; e inusitadamente, na Ombrófila a equação com quatro discos (ABDE), o disco do topo, E, obteve peso maior que os demais.

Por fim, a análise gráfica de resíduos de cada modelo ajustado por fitofisionomia e por número de discos é apresentada na Figura 3, excluídas aquelas nove que se apresentaram estatisticamente idênticas as Equações Gerais correspondentes.

Em geral, percebe-se um padrão de simetria, com observações distribuídas aleatoriamente, sem tendência, com concentração em torno de dois desvios, sem indícios de dependência ou heterocedasticidade, independentemente da fitofisionomia ou número de discos.

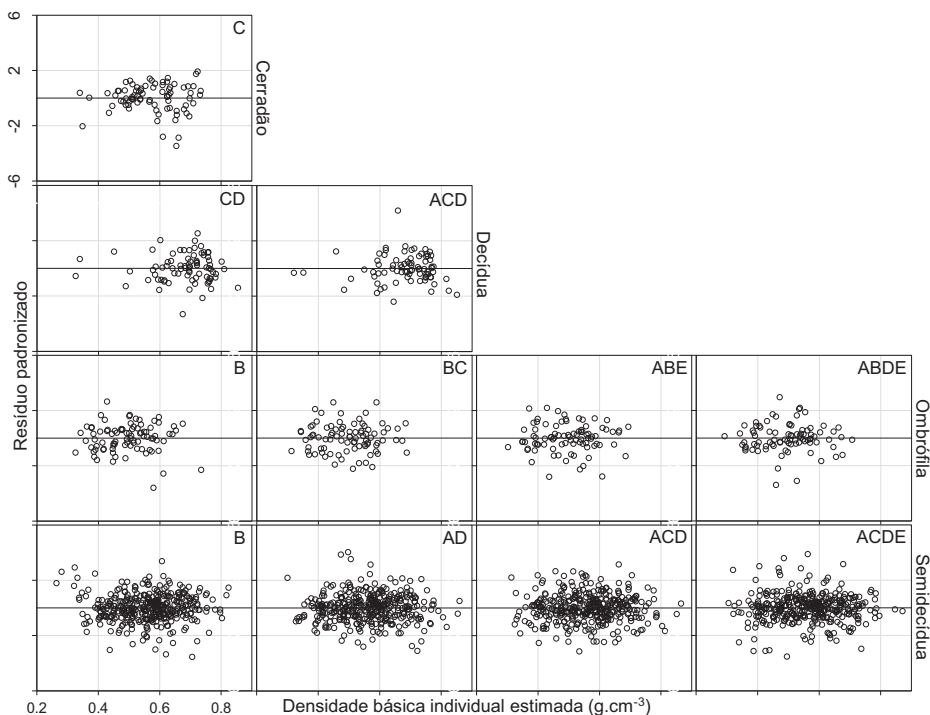


FIGURA 3: Gráficos de resíduos padronizados das Equações por Fitofisionomia, para as combinações de discos estatisticamente distintas das Equações Gerais.  
 FIGURE 3: Standardized residuals plots of Equations by forest types, for the combinations of discs statistically distinct from the General Equations.

As divergências quanto às posições ótimas podem estar associada à composição de espécies, ao porte e forma médios dos indivíduos e a fatores ambientais condicionantes dessas fitofisionomias. Esses fatores influenciam a variabilidade da densidade da madeira uma vez que afetam a taxa de crescimento das espécies florestais (RIGATTO et al., 2004). O efeito no crescimento está relacionado ao impacto sobre os processos fisiológicos das plantas. Como resposta, as árvores adaptam seus processos fisiológicos de acordo com condições ambientais, com reflexo na atividade cambial e na anatomia do lenho (VILLAR et al., 1997). Como a densidade da madeira é resultado da combinação da quantidade e da distribuição dos diferentes

elementos anatômicos (ROQUE e TOMAZELLO FILHO, 2009), as variações edafoclimáticas certamente irão afetá-la de alguma maneira. Como a ocorrência das diferentes fitofisionomias está relacionada a diferentes fatores edáficos, topográficos e climáticos (RODRIGUES et al., 2003; AGNES et al., 2007), espera-se que os mesmos fatores que condicionam as fitofisionomias também reflitam efeitos sobre a densidade da madeira presentes nas mesmas (OLIVEIRA et al., 2012), nesse caso, alterando a distribuição espacial da densidade dentro do fuste e conseqüentemente alterando as posições de amostragem mais correlacionadas com toda a árvore.

#### **4 CONCLUSÕES**

De maneira geral, a melhor posição de amostragem para estimativa da densidade básica do fuste com apenas um disco pode ser efetuada na metade do fuste principal. Utilizando-se dois discos, a estimativa da densidade pode ser obtida com precisão se os mesmos forem amostrados nas posições 25 e 75% da altura. Já com três discos as posições devem ser 0, 50 e 100% da altura. Essas as posições variam significativamente de acordo com a fitofisionomia estudada. A precisão na estimativa da densidade do fuste aumenta com um maior número de discos amostrados, entretanto, é possível estimar com alta precisão a densidade básica do fuste com um número menor de discos, podendo ser utilizado até um único disco, desde que amostrados em posições específicas do fuste e utilizando as equações propostas nesse trabalho de acordo com a fitofisionomia estudada.

## REFERÊNCIAS

- AGNES, C. C. et al. Fatores ecológicos condicionantes da vegetação do cerrado. **Caderno de Pesquisa série Biologia**, v. 19, n. 3, p. 25-37, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: Madeira - Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.
- BENJAMIN, C. A.; BALLARIN, A. W. Avaliação da precisão de amostras retiradas ao longo do fuste das árvores na determinação da densidade básica da madeira de populações florestais. In: EBRAMEM, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** . São Pedro: Unesp, 2006. p. 1 - 15.
- FEARNSIDE, P. M. Quantificação do serviço ambiental do carbono nas florestas amazônicas brasileiras. **O ecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, p. 743-756, 2008.
- FRANCO, E. J. et al. Eficiência na estimativa do peso seco para árvores individuais e definição do ponto ótimo de amostragem para determinação da densidade básica de *Eucalyptus camaldulensis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 77-92. 1998.
- NOGUEIRA, E. M. et al. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': Implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 248, p. 119-135, 2007.
- NOGUEIRA, E.M.; NELSON, B. W.; FEARNESIDE, P. M. Wood density in dense forest in central Amazonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 208, p. 261–286, 2005.
- OLIVEIRA, G. M. V. et al. Efeito do Ambiente sobre a Densidade da Madeira nas Fitofisionomias no Estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 345-352, abr./jun. 2012.
- PÁDUA, F. A.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T. Amostragem da madeira para avaliação da densidade básica em *Eucalyptus*. In: EBRAMEM, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** . São Pedro: Unesp, 2006. p. 1 - 9.



R Development Core Team (2012). **R**: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *pinus taeda* para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 2, p. 267-273, 2004.

RODRIGUES, L. A., et al. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal em Luminárias, MG. **Acta Botanica Brasilica**, Feira de Santana, v. 17, n., p. 71-97, 2003.

ROQUE, R. M.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 273-285, set. 2009.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L.F.; BALBINOT, R.; ZILLIOTO, M.A.B.; GOMES, F. S. (Ed.). **As florestas e o carbono**: [s.n.], 2002, cap. 6, p. 119-140.

SCOLFORO, J. R. S. et al. Estimativas de volume, peso seco, peso de óleo e quantidade de moirões para a candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). **Cerne**, Lavras, v. 10 n. 1, 87-102, jan./jun. 2004.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA A. D.; ACERBI JÚNIOR F. W. **Inventário florestal de Minas Gerais**: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa. Lavras: Editora UFLA, 2008. p. 216.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 789-800, out./dez. 2010.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 1, jan./mar. 2008.

TRUGILHO, P F. Densidade básica e estimativa de massa seca e de lignina na madeira em espécies de *Eucalyptus*. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1228-1239, set./out., 2009.

VALE, T.; MARTINS, I. S.; ARAÚJO, W. L. O. Estudo da densidade de três espécies do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 16, n. 2, p.209-217, maio/ago 1992.

VIEIRA, G.; SANQUETTA, C. R.; BARBEIRO, L. da S. S. Estoque individual de biomassa e carbono em *Nectandra grandiflora* Nees (canela-amarela). **Floresta**, Curitiba, PR, v. 39, n. 3, p. 547-554, jul./set. 2009.

VILLAR, P. et al. Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. **Trees-Structure and Function**, v. 12, n. 2, p. 90-96, 1997.

VISMARA, E. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. Piracicaba, 2009. 102 p. : il. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.

WOLFINGER, R. Covariance structure selection in general mixed models. **Communications in Statistics - Simulation**, Ontario, v. 22, n. 4, p. 1079-1106, 1993.

WOODCOCK, D.W. Wood specific gravity of trees and forest types in the Southern Peruvian Amazon. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 30, n.4, p. 589-599. 2000.

**(VERSÃO PRELIMINAR)**

**ARTIGO 3    Estrutura de dependência espacial da densidade da madeira  
e relações com variáveis ambientais**

O presente artigo trata-se de uma versão preliminar e poderá sofrer alterações a critério do corpo editorial da revista, a qual ainda será definida. Tendo como autor e coautores: Gabriel Marcos Vieira Oliveira, José Márcio de Mello, Carlos Rogério de Mello, Paulo Ricardo Gherardi Hein, Antônio Carlos Ferraz Filho e José Roberto S. Scolforo. Sendo, portanto, apresentado a seguir conforme será submetido.

## ESTRUTURA DE DEPENDÊNCIA ESPACIAL DA DENSIDADE DA MADEIRA E RELAÇÕES COM VARIÁVEIS AMBIENTAIS

### RESUMO

Estudos do efeito do ambiente sobre a densidade de madeiras de florestas nativas tropicais são raros e pouco conclusivos. Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar a possível dependência espacial da densidade da madeira no Estado de Minas Gerais, gerando um mapa de distribuição espacial e identificar possíveis correlações com variáveis climáticas. Os dados são provenientes do Inventário Florestal de Minas Gerais e são compostos de 1.988 árvores cubadas em todo o território, das quais, foram retirados discos para determinação da densidade da madeira. As variáveis ambientais foram obtidas a partir dos dados do Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais. Na análise espacial, foi utilizada a densidade das árvores nos respectivos locais de amostragem, totalizando 44 pontos amostrais georreferenciados. Os dados foram submetidos à análise exploratória, variografia, validação cruzada, seleção de um modelo e por fim krigagem ordinária. A relação entre a densidade e os fatores ambientais foi estabelecida a partir de uma matriz de dispersão, correlação linear e regressão. Os resultados mostraram que a densidade da madeira possui alto grau de dependência espacial, chegando a 96%, e alta continuidade com um alcance de 228 km. O padrão encontrado de distribuição descreve um gradiente contínuo de 491 Kg.m<sup>-3</sup> a 671 Kg.m<sup>-3</sup>, sendo possível observar padrões correlatos com as variáveis ambientais. Foram encontradas correlações de -0,57; 0,63 e 0,83, da densidade, com a precipitação, temperatura e evapotranspiração médias anuais, respectivamente. Pôde-se concluir que a densidade da madeira relaciona-se fortemente com fatores climáticos, de modo que, florestas sujeitas a menor precipitação, maior temperatura e maior evapotranspiração apresentarão as maiores densidades da madeira, sugerindo, supostamente, um mecanismo fisiológico de melhoria da eficiência no uso da água.

**Palavras-chave:** biomassa, variáveis climáticas, geoestatística, Inventário Florestal de Minas Gerais.

## SPATIAL DEPENDENCE STRUCTURE OF THE WOOD DENSITY AND RELATIONS WITH ENVIRONMENTAL VARIABLES

### ABSTRACT

Studies on the environmental effect over the density of wood from tropical native forests are rare and little conclusive. Therefore, the objective of this work was to identify a possible spatial dependence of wood density in the state of Minas Gerais, Brazil, generating a spatial distribution map and identify possible correlations with climatic variables. The data derived from the Forest Inventory of Minas Gerais and are comprised of 1988 trees scaling in all the territory, of which were removed discs to determine wood density. The environmental variables were obtained from the data of the Economic Ecological Zoning of Minas Gerais. In the spatial analysis, we used the density of trees in their respective sampling locations, totalizing 44 georeferenced sampling points. The data were submitted to exploratory analysis, variography, cross validation, selection of a model and, finally, ordinary kriging. The relation between the density and the environmental factors was established from a dispersion matrix, linear correlation and regression. The results showed that the wood density presents high degree of spatial dependence, reaching 96%, and high continuity with a range of 228 km. The distribution pattern found describes a continuous gradient of 491 kg.m<sup>-3</sup> to 671 kg.m<sup>-3</sup>, being possible to observe patterns correlated with the environmental variables. We found correlations of -0.57, 0.63 and 0.83, of density with average annual precipitation, temperature and evapotranspiration, respectively. We may conclude that the wood density is strongly related to climatic factors, in a way that, forests subjected to lower precipitation, higher temperature and higher evapotranspiration will present the highest wood densities, supposedly suggesting a physiological mechanism to improve the efficiency of water use.

**Keywords:** Biomass, climatic variables, geostatistics, Forest Inventory of Minas Gerais.

### 1 INTRODUÇÃO

A densidade da madeira em estudos de florestas nativas, excetuando a área de tecnologia da madeira, sempre assumiu papel secundário na estimativa

de outras variáveis a elas relacionadas, comportando-se como item simplesmente metodológico nas pesquisas. Uma melhor abordagem da densidade começa a surgir, a partir de estudos da produtividade do sistema florestal, estudos de fluxos de energia, ciclagem de nutrientes, sobretudo aqueles ligados ao ciclo global do carbono (BONTEMPS et al., 2013; HIGUCHI et al., 1998; KANTAVICHAI; BRIGGS; TURNBLOM, 2010; SILVEIRA, 2010; SOARES; LEITE; GÖRGENS, 2005).

A biomassa e o carbono tornaram-se variáveis de destaque nas pesquisas a partir do estabelecimento de relações com inúmeras variáveis dendrométricas, edafoclimáticas e bióticas, para estabelecimento de métodos, buscando quantificações, estimativas e entendimento dessas variáveis (SILVEIRA, 2008). No entanto, a densidade da madeira, que é uma variável imprescindível nesse processo quando se envolve técnicas volumétricas não tem sido devidamente estudada.

A explicação plausível para que a densidade seja abordada dessa forma é sua grande variabilidade em todos os âmbitos, tornando-a de difícil previsão e, conseqüentemente, de difícil modelagem, além do custo de sua determinação do ponto de vista técnico, logístico, metodológico e financeiro (DOWNES et al., 1997; NOGUEIRA et al., 2007).

O desenvolvimento de estudos capazes de viabilizar estimativas dessa variável e de entender suas relações, não só dendrométricas, mas também, espaciais e ambientais é fundamental para compreender o comportamento das florestas nativas diante da diversidade de condições dos ambientes. Autores relatam importantes influências ambientais que podem induzir padrões de densidade da madeira, entretanto, geralmente, se limitam a espécies em plantios comerciais (ANTONOVA; STASOVA, 1997; BERGÈS; NEPVEU; FRANC, 2008; FILIPESCU et al., 2014; KANTAVICHAI; BRIGGS; TURNBLOM, 2010; RIGATTO; DEDECEK; MATOS, 2004; ROQUE; TOMAZELLO-

FILHO, 2009; TROVATI; FERRAZ, 1984). Estudos do efeito do ambiente sobre a densidade de madeiras de espécies nativas tropicais são raros, pouco conclusivos e restritos a uma única espécie e, eventualmente, a pequenos grupos de espécies (BAKER et al., 2004; CHAVE et al., 2006; MULLER-LANDAU, 2004; OLIVEIRA et al., 2012). Segundo Nogueira et al. (2007), estudos têm, geralmente, assumido que a variação na densidade da madeira nos ambientes nativos é puramente advinda da variação na composição de espécies. No entanto, assim como Chave et al. (2006) afirmaram, as variações de determinados fatores ambientais conduzem a padrões espaciais de densidade da madeira. Oliveira et al. (2012) relatam uma relação teórica coerente da densidade da madeira com as características ambientais. Ambientes favoráveis ao desenvolvimento das espécies apresentam maior concentração de indivíduos de densidade da madeira mais baixa, assim como, o inverso para ambientes desfavoráveis.

Dados de densidade da madeira obtidos por meio de inventário florestal em grandes áreas nativas, confrontados com dados de zoneamento climático por meio de técnicas geoestatísticas, podem ser uma estratégia metodológica eficiente para comprovação dos padrões expressos na literatura, uma vez que, a geoestatística se consolidou como um conjunto de métodos robustos na detecção de estruturas de dependência espacial na área florestal (GUEDES et al., 2012; KANEGAE-JÚNIOR et al., 2007; MELLO et al., 2005, 2009).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi identificar a suposta estrutura de dependência espacial da densidade da madeira em florestas nativas no Estado de Minas Gerais, gerar um mapa de distribuição dessa variável e identificar suas possíveis correlações com variáveis ambientais.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Densidade da madeira

Os dados são provenientes do Inventário Florestal de Minas Gerais (SCOLFORO; OLIVEIRA; ACERBI-JÚNIOR, 2008), um projeto realizado pelo governo do Estado de Minas Gerais em parceria com a Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram utilizados dados de 1988 árvores cubadas em todo o estado, georreferenciadas, com diâmetro maior que 5,0 cm, distribuídas em oito classes de diâmetro e altura, em 24 diferentes bacias e sub-bacias hidrográficas e em todas as fisionomias florestais ocorrentes. O número de árvores cubadas foi proporcional à Densidade Relativa das espécies obtidas no Inventário Florestal de Minas Gerais. Esse critério foi aplicado às quatro espécies que apresentaram maior Densidade Relativa, e as demais agrupadas e computadas como miscelânea.

O procedimento de cubagem foi executado segundo o método de Huber. Após a cubagem, foram retirados cinco discos de madeira com espessura de 3,0cm com casca, nas alturas correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial da árvore, até o diâmetro de 3,0cm. Posteriormente, foram retiradas duas cunhas opostas em relação à medula de cada um dos cinco discos de madeira. A densidade básica de cada cunha foi obtida pela Equação 1, seguindo o procedimento descrito pela NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003).

$$\rho = m_s / v_v \quad (1)$$

Em que:  $\rho$  = densidade básica ( $\text{Kg.m}^{-3}$ );  $m_s$  = massa seca (Kg); e  $v_v$  = volume verde ou saturado ( $\text{m}^3$ ).

A densidade básica de cada disco foi obtida a partir da média entre as duas cunhas e a densidade básica geral do fuste da árvore foi calculada pela



média aritmética entre as densidades dos cinco discos. Foi utilizada a média aritmética em função dos estudos desenvolvidos por Vismara (2009), que demonstrou que esta estima melhor a densidade básica da árvore do que a média ponderada, tendo como parâmetro a densidade obtida por gravimetria, a qual é tida como mais precisa do que aquela obtida por volumetria.

## **2.2 Variáveis ambientais**

Variáveis ambientais foram obtidas a partir dos dados climáticos do Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do Estado de Minas Gerais a partir de 39 estações climatológicas. As variáveis utilizadas foram: Precipitação (mm/ano), Temperatura (°C) e Evapotranspiração Potencial – ETP (mm/ano), obtidas a partir de dados de Normais Climatológicas correspondentes ao período de 1961 a 1990. Os mapas climáticos foram estimados para todo o Estado por interpolação espacial com o uso de Cokrigagem com auxílio das variáveis: Altitude, Longitude e Latitude (OLIVEIRA; CARVALHO, 2008), conforme Figura 1.

## **2.3 Análise espacial**

A média da densidade da madeira das árvores cubadas nos respectivos locais agrupados de cubagem foi utilizada como unidade amostral na análise espacial, totalizando 44 pontos amostrais, cada um contendo 17 a 126 árvores. As coordenadas geográficas desses pontos corresponderam à posição média geográfica entres as observações, resultando na distribuição expressa na Figura 1. Foi adotado o Sistema de Coordenadas Projetadas Albers (métrico) sob *datum* South American, 1969.

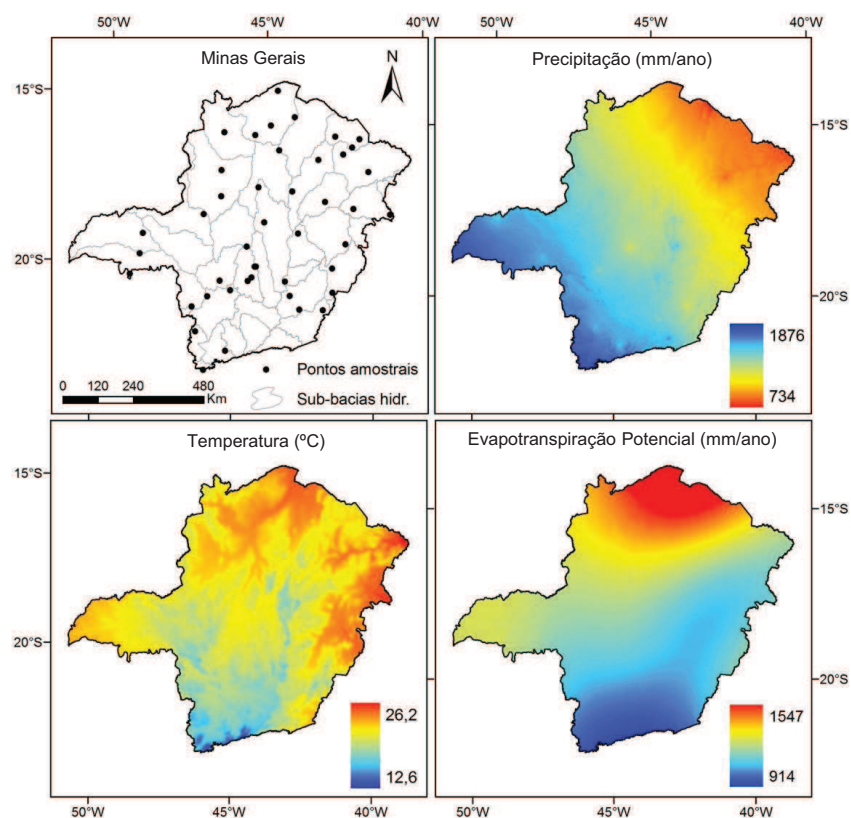


Figura 1. Distribuição dos pontos amostrais de cubagem e distribuição espacial contínua (*rasters*) das variáveis climáticas no Estado de Minas Gerais.

Os dados foram submetidos a análises exploratórias por meio de gráficos de dispersão da variável em relação à longitude (X) e latitude (Y) e histogramas de frequência com o intuito de verificar possíveis observações discrepantes, normalidade e/ou tendências que pudessem interferir nas análises.

A estrutura de dependência espacial da variável foi estabelecida conforme semivariograma experimental a partir do estimador de semivariância  $\hat{\gamma}(h)$  (Equação 2) em função da distância ( $h$ ), conforme proposto por Journel e Huijbregts (1978).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (2)$$

Sendo,  $\hat{\gamma}(h)$  = estimador da semivariância para cada distância  $h$ ;  $N(h)$  = número de pares de pontos separados pela distância  $h$ ;  $Z(x)$  = valor da variável regionalizada no ponto  $x$ ; e  $Z(x+h)$  = valor no ponto  $x+h$ .

Na modelagem da continuidade espacial, foram testados os modelos teóricos: Esférico, Exponencial e Gaussiano, descritos por Journel e Huijbregts (1978). Os modelos constam na Tabela 1 e foram ajustados pelo método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e Mínimos Quadrados Ponderados (MQP).

Tabela 1. Modelos autorizados testados.

Modelo	Forma
Esférico	$\gamma(h) = \tau^2 + \sigma^2 \left[ 1,5 \left( \frac{h}{\phi} \right) - 0,5 \left( \frac{h}{\phi} \right)^3 \right]$
Exponencial	$\gamma(h) = \tau^2 + \sigma^2 \left[ 1 - \exp \left( -\frac{h}{\phi} \right) \right]$
Gaussiano	$\gamma(h) = \tau^2 + \sigma^2 \left[ 1 - \exp \left( -\frac{h}{\phi} \right)^2 \right]$

Em que:  $h$  = distância (m);  $\tau^2$  = efeito pepita;  $\sigma^2$  = contribuição;  $\phi$  = alcance (m).

Para a seleção do modelo mais adequado e para o método de ajuste que melhor descreve a continuidade espacial da densidade da madeira, foram calculadas as estatísticas de erros: Erro Padrão Médio – EPM (Equação 3), Erro Médio Reduzido – EMR (Equação 4) e Desvio Padrão do Erro Médio Reduzido – DPEMR (Equação 5) obtidas a partir do procedimento de Validação Cruzada (Tabela 2).

Tabela 2. Estatística de erros da Validação Cruzada.

<b>Estatística</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Equação</b>
Erro Padrão Médio	$EPM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{\sigma}^2(x_i)}{n}}$	(3)
Erro Médio Reduzido	$EMR = \frac{\sum_{i=1}^n [(Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)) / \hat{\sigma}(x_i)]}{n}$	(4)
Desvio Padrão do Erro Médio Reduzido	$DPEMR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)) / \hat{\sigma}(x_i)]^2}{n}}$	(5)

Em que:  $\hat{\sigma}^2(x_i)$  = variância estimada da variável no ponto  $x_i$ ;  $Z(x_i)$  = valor observado da variável  $Z$  no ponto  $x_i$ ;  $\hat{Z}(x_i)$  = valor estimado da variável  $Z$  no ponto  $x_i$ ;  $\hat{\sigma}(x_i)$  = desvio padrão da variável no ponto  $x_i$ ;  $n$  = número de observações.

O modelo com os melhores indicativos de ajuste, indicado por menor EPM, menor EMR e DPEMR mais próximo de uma unidade, foi utilizado para espacialização da densidade da madeira para todo o Estado por meio de krigagem ordinária, cujo estimador é dado pela Equação 6 (MATHERON, 1963).

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot \hat{Z}(x_i) \quad (6)$$

Em que:  $\hat{Z}(x_0)$  = estimador do valor de  $Z$  na posição  $x_0$  não amostrada;  $n$  = número de pontos amostrais vizinhos utilizados para a predição do valor não amostrado  $\hat{Z}(x_0)$  (vizinhança da krigagem);  $\lambda_i$  =  $i$ -ésimo peso atribuído a cada  $i$ -ésima observação da variável  $Z$  na posição  $x_i$ ;  $\hat{Z}(x_i)$  = definido pelo semivariograma.

Todos os cálculos e procedimentos descritos foram executados utilizando o *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014), por meio do pacote *geoR* (RIBEIRO-JÚNIOR; DIGGLE, 2001) e do *software* ArcGIS (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE- ERSI, 2001).

#### 2.4 Relação entre a densidade da madeira e fatores ambientais

As relações entre a densidade da madeira, espacializada por meio de krigagem, e os *rasters* dos fatores ambientais (precipitação, temperatura, evapotranspiração potencial) foram comparadas a partir do zoneamento de cada uma dessas variáveis, ao nível das 40 sub-bacias hidrográficas de Minas Gerais, conforme esquema apresentado na Figura 2.



Figura 2. Esquema do zoneamento aplicado às variáveis de estudo.

A análise da relação entre as variáveis foi verificada a partir de uma matriz de dispersão, correlação linear de Pearson e regressão linear simples, tal que:  $\rho \sim f$  (precipitação, temperatura, evapotranspiração potencial). Esses modelos de regressão foram ajustados pelo método dos MQO (CHARNET et al., 1999).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise exploratória de dados não foi detectado nenhum valor discrepante ou problemas de normalidade que pudessem interferir nos demais procedimentos, entretanto, foi detectada tendência da variável de interesse com a latitude (coordenada Y), conforme se observa na Figura 3a. Trata-se de uma tendência de primeira ordem, ou ainda, uma tendência de aumento linear da densidade da madeira com o aumento latitudinal. Tal tendência deve ser corrigida já que afeta negativamente a análise da estrutura da dependência espacial, criando um falso efeito de dependência, muitas vezes não sendo possível a detecção de um patamar na análise do semivariograma (GONÇALVES; FOLEGATTI; MATA, 2001; STARKS; FANG, 1982).

A correção da tendência de primeira ordem foi dada pela equação:  $\rho = \beta_0 + \beta_1 X + \beta_2 Y$ , tal que,  $\rho = 406,2 - 3,04 \cdot 10^{-5} \text{Coord.X} + 1,54 \cdot 10^{-4} \text{Coord.Y}$ , com  $\beta_0$  e  $\beta_2$  altamente significativos ( $p$ -valor  $\sim 0$ ) e  $\beta_1$  não significativo ( $p$ -valor = 0,289), conforme esperado. Na Figura 3b, observa-se que a dispersão dos resíduos após a remoção eliminou o efeito de tendência com a latitude (Y) e ainda contribuiu com a normalidade, garantindo que a análise da dependência espacial fosse a mais adequada possível, além de tornar mais evidente a estacionariedade das distribuições (GONÇALVES; FOLEGATTI; MATA, 2001).

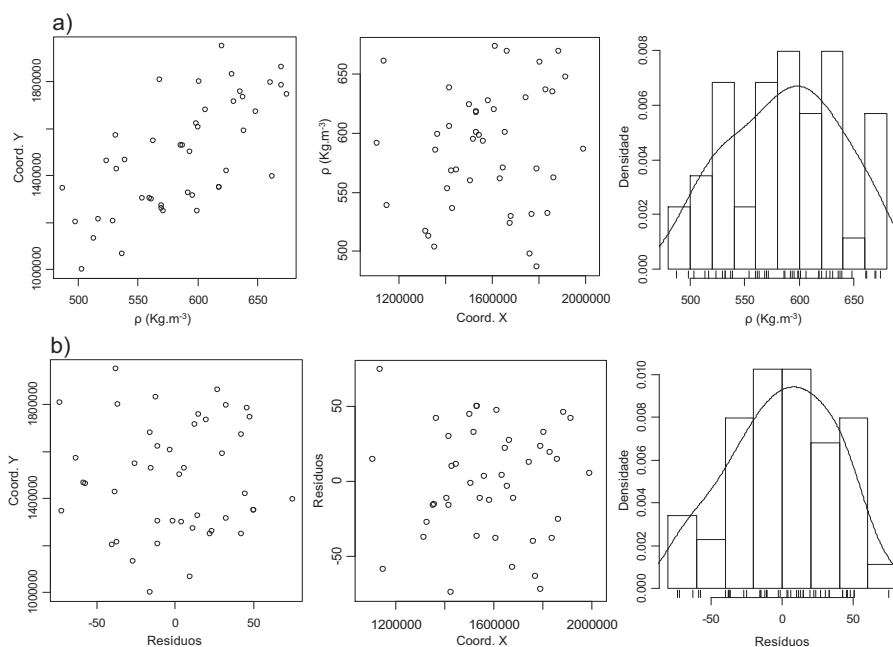


Figura 3. Gráficos “a” de dispersão da variável em função da latitude (Y), longitude (X) e densidade de probabilidade e gráficos “b” dispersão dos resíduos em função da latitude (Y) e longitude (X) e densidade de probabilidade, após remoção de tendência.

O semivariograma apresentado na Figura 4 detectou considerável correlação espacial da variável de interesse após remoção da tendência, uma vez que, há aumento contínuo da semivariância à medida que se aumenta a distância, seguida de uma tendência de estabilização (MELLO et al., 2005), portanto, a densidade da madeira não possui distribuição aleatória. Quanto ao ajuste do semivariograma experimental as estatísticas de erros da validação cruzada sugeriram o Modelo Exponencial, ajustado pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO), como o mais adequado para representar a estrutura de dependência espacial já que apresentou as melhores estatísticas. Os parâmetros ajustados do modelo e as estatísticas da validação cruzada estão contidos na Tabela 3.

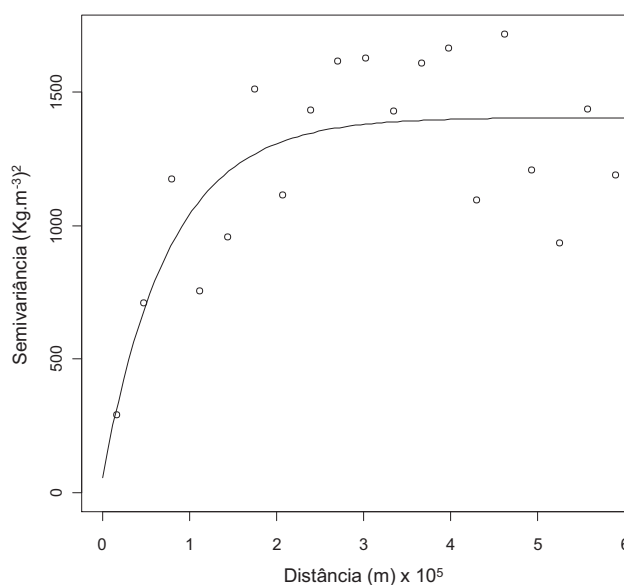


Figura 4. Semivariograma experimental da densidade da madeira.

Tabela 3. Parâmetros ajustados do Modelo Exponencial e estatísticas da Validação Cruzada.

Ajuste		Validação Cruzada	
Parâmetro	Valor	Estatística	Valor
Efeito pepita ( $\tau^2$ )	56,07	EPM	33,222
Contribuição ( $\sigma^2$ )	1348,07	EMR	0,029
Alcance assintótico ( $\phi$ )	228386,2	DPEMR	1,068

O efeito pepita ( $\tau^2$ ) de 56,07 indica que a variação não estruturada do fenômeno estudado apresentou um efeito muito pequeno, o que sugere um processo de inferência adequado (MELLO et al., 2009; VIEIRA, 2000). A contribuição ( $\sigma^2$ ) de 1348,07 indica que 96% da variação total ( $\tau^2 + \sigma^2$ ) pode ser explicada pelo componente espacial, ou ainda, quase toda variabilidade detectada foi decorrente da distribuição espacial da variável, correspondendo a um alto grau de dependência espacial (BIONDI; MYERS; AVERY, 1994). O



alcance mostra que a distância máxima que a densidade da madeira está correlacionada espacialmente é de 228,4 Km. A partir desse ponto as observações podem ser consideradas independentes (MELLO et al., 2009). Trata-se de um alcance grande para uma variável dendrométrica, entretanto, considerando a dimensão do Estado de Minas Gerais, representa cerca de um terço da distância máxima, o que indica alta heterogeneidade dos pontos amostrais (YAMAMOTO, 2001).

Por meio da validação cruzada obteve-se um Erro Padrão Médio (EPM) de 33,22 Kg.m<sup>-3</sup>, o qual comparado à média da densidade da madeira, que foi de 574,18 Kg.m<sup>-3</sup>, sugere um erro médio da estimativa de apenas 5,78%, consistindo num erro baixo que indica boa precisão na estimativa da variável em questão. Assim como o Erro Médio Reduzido de 0,029 indica que a média dos erros padronizados foi muito próxima de zero. O Desvio Padrão do Erro Médio Reduzido (DPEMR) de 1,068 apresentou-se muito próximo de uma unidade indicando que não há desvios na estimativa da variabilidade, o valor muito acima da unidade indicaria subestimativa da variabilidade e vice-versa (ESRI, 2013).

A partir do modelo ajustado ao semivariograma e após atestado seu desempenho, foi executado o procedimento de krigagem ordinária da densidade da madeira para o Estado de Minas Gerais para obtenção de um mapa para descrever a distribuição espacial da variável (Figura 5).

O padrão encontrado descreve um gradiente claro e contínuo da variável, sendo possível observar padrões de concentração. Tem-se que o norte e nordeste do estado apresentam os extremos de densidade média da madeira, chegando a 671 Kg.m<sup>-3</sup>, ao contrário do sul, sudeste, sudoeste e leste que apresentaram os mais baixos valores até 491 Kg.m<sup>-3</sup>.

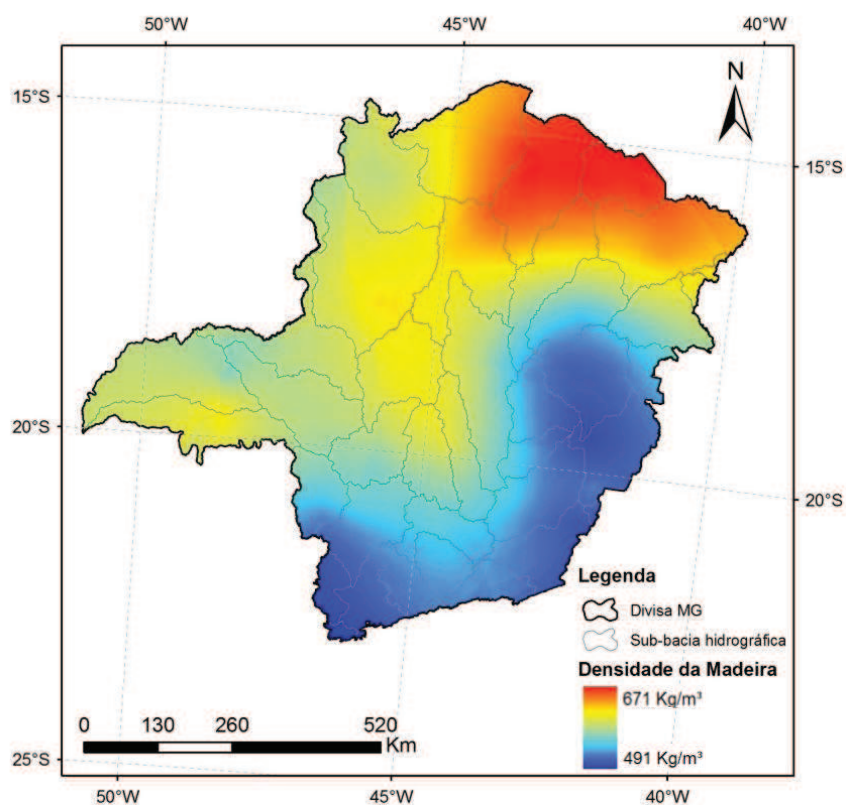


Figura 5. Distribuição espacial da média da densidade da madeira no Estado de Minas Gerais.

### 3.1 Relações da densidade da madeira com as condições climáticas

Uma das explicações plausíveis para o padrão encontrado pode estar associada a fatores climáticos. Pressupõe-se que fatores ambientais influenciem a variabilidade da madeira já que afetam a taxa de crescimento das espécies florestais com consequente impacto sobre os processos fisiológicos, com reflexo na atividade cambial e na anatomia do lenho. Como a densidade da madeira é resultado da combinação da quantidade e da distribuição dos diferentes elementos anatômicos, as variações climáticas certamente irão afetá-la

(ANTONOVA; STASOVA, 1997; RIGATTO; DEDECEK; MATOS, 2004; ROQUE; TOMAZELLO-FILHO, 2009; VILLAR et al., 1997). Oliveira et al. (2012) descreveram uma relação teórica plausível da densidade da madeira com as características ambientais que condicionam as diferentes fitofisionomias no estado de Minas Gerais.

Apenas por análise visual da distribuição espacial da densidade da madeira (Figura 5) comparada à distribuição da precipitação, temperatura e ETP representados na Figura 1, é possível identificar que existe uma relação importante da densidade da madeira com essas variáveis climáticas. Observa-se, por exemplo, que na região Norte e Nordeste, onde estão concentradas as maiores médias de densidade, também estão concentradas as menores precipitações, maiores temperaturas e maior ETP. Estas regiões coincidem com as florestas estacionais decíduais, as quais possuem uma estação climática caracterizada por longo período biologicamente seco. No Sul e Sudeste, estão concentradas as menores médias de densidade da madeira, as maiores precipitações, menores temperaturas e menores ETP e que coincidem com as florestas ombrófilas, as quais possuem uma situação biológica, praticamente, sem períodos secos (VELOSO; RANGEL-FILHO; LIMA, 1991). Assim, florestas ombrófilas e decíduais apresentam condições ambientais absolutamente opostas, sendo que a primeira apresenta características favoráveis à atividade fisiológica das plantas, corroborando com densidades da madeira substancialmente mais baixas. A floresta decidual, com condições opostas, apresenta densidades mais altas (OLIVEIRA et al., 2012; ROQUE; TOMAZELLO-FILHO, 2009).

A análise quantitativa das relações encontradas foi representada por meio de uma matriz de dispersão, correlação linear de Pearson ( $r$ ) e regressão na Figura 6, a qual confirma e dimensiona as tendências sugeridas anteriormente.

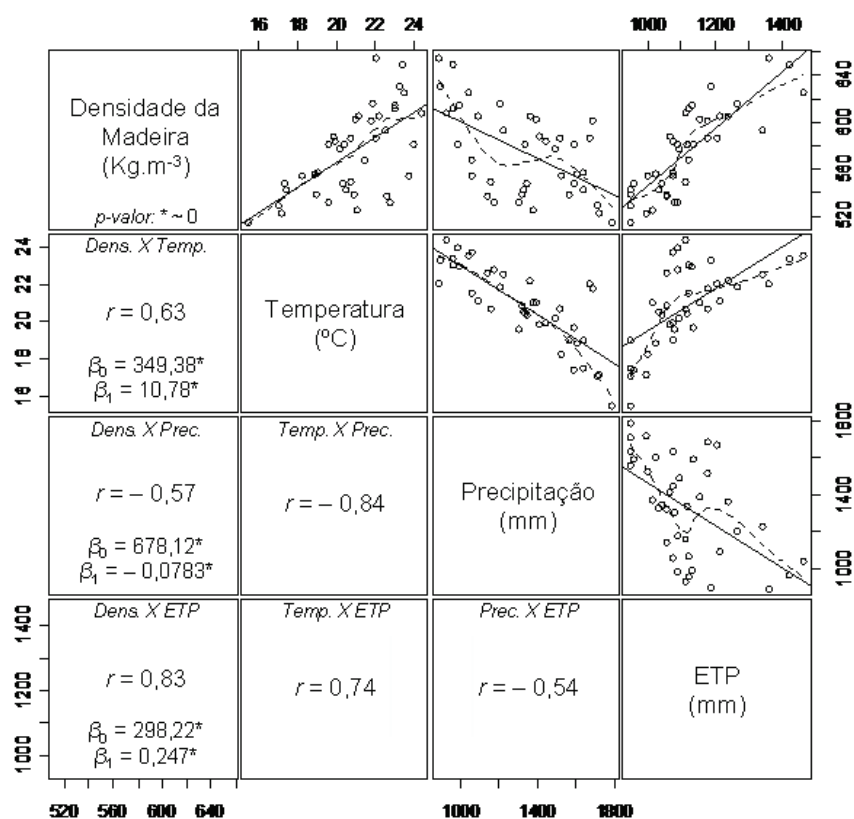


Figura 6. Matriz de dispersão, correlação linear de Pearson e parâmetros de regressão.

Foi encontrada uma correlação de 0,63 da densidade da madeira com a temperatura, o que permitiu uma tendência linear altamente significativa ( $p$ -valor  $\sim 0$ ), chegando a 40% de explicação ( $r^2$ ), valor esse que pode ser bem razoável, considerando a grande heterogeneidade da variável em questão e sua não correlação com variáveis dendrométricas tradicionais (NOGUEIRA et al., 2007). Dessa forma, espera-se que uma diferença de 1,0°C na temperatura média anual entre regiões provoque variações de 10,78  $\text{Kg.m}^{-3}$  ( $\beta_1 = 10,78$ ;  $p$ -valor  $\sim 0$ ) na média de densidade das madeiras. A correlação de  $-0,57$  com a precipitação, apesar de moderada, também resultou em uma regressão altamente significativa

( $p$ -valor  $\sim 0$ ), permitindo inferir que, a cada 100 mm de aumento na precipitação média anual entre regiões, a densidade da madeira é reduzida em  $7,83 \text{ Kg.m}^{-3}$  ( $\beta_1 = -0,0783$ ;  $p$ -valor  $\sim 0$ ), nesse caso a explicação chegou a 32 % ( $r^2$ ). As correlações sugerem que há um aumento proporcional e mais pronunciado da densidade da madeira com temperatura e inversamente proporcional e menos evidente com a precipitação. Filipescu et al. (2014) detectaram, em estudos de densidade específica de anéis de crescimento, um ligeiro aumento da densidade com o aumento da temperatura média e redução com a precipitação total, sugerindo também que a densidade parece ser mais sensível a variações de temperatura, do que mudanças na precipitação. Além disso, temperaturas mais elevadas também podem levar a um aumento da fotossíntese e aumento na fixação de carbono (KANTAVICHAI; BRIGGS; TURNBLOM, 2010) e, conseqüentemente, maior densidade da madeira.

A mais considerável correlação de 0,83 foi encontrada com a ETP, sugerindo que, maiores valores dessa variável acarretam consideráveis aumentos na densidade média da madeira nos ambientes. Os parâmetros da regressão altamente significativos ( $p$ -valor  $\sim 0$ ), com  $\beta_1 = 0,247$ , indicam que a cada 100 mm de ETP, a densidade média da madeira seria acrescida em  $24,7 \text{ Kg.m}^{-3}$ , atingindo 69% de explicação ( $r^2$ ). Supondo uma floresta que se encontre em uma região com ETP média anual de 1.000 mm e outra com 1.500 mm, espera-se que a diferença de densidade média seja da ordem de  $123,5 \text{ Kg.m}^{-3}$ .

Simplificadamente, a ETP é a capacidade máxima de água que pode ser perdida em forma de vapor por evaporação do solo (saturado com água) e por transpiração da vegetação que o cobre totalmente (PENMAN, 1956). Dessa maneira, as regiões com maior potencial de perda de água por evapotranspiração também tendem a ser as de maior déficit hídrico e aridez no Estado de Minas Gerais, conforme observado em Oliveira e Carvalho (2008). A maior correlação da densidade com a ETP e temperatura do que com a precipitação permite inferir

que o déficit hídrico tem efeito mais limitante sobre as respostas fisiológicas das plantas do que o excedente hídrico, assim como sugerido por Beedlow et al. (2013). Déficit esse que pode propiciar divisão celular menos intensa e a regulação das funções que dependem da água e conseqüente concentração de esforços em atividades tais como o espessamento da parede celular para melhorar o desempenho do uso da água na planta. Segundo Nogueira et al. (2007), longos períodos de seca e a magnitude do estresse hídrico poderiam afetar a densidade da madeira. Isso aconteceria porque a densidade da madeira determina a variação de um conjunto de características relacionadas à eficiência e integridade do transporte de água no xilema, a regulação do equilíbrio hídrico e evita a perda de turgor (HACKE et al., 2001; MEINZER, 2003). O ganho de resistência à cavitação com o aumento da densidade da madeira parece estar associado a um menor esforço na condutividade hidráulica.

O estresse hídrico também afeta a condutância estomática, uma vez que, a disponibilidade de água modifica o turgor das células do estômato, afetando a dinâmica de abertura e fechamento e, conseqüentemente, a redução da transpiração e o desenvolvimento da planta (TAIZ; ZEIGER, 2009), o qual pode ser traduzido em divisão celular. Segundo Nogueira et al. (2007), é coerente inferir que o aumento da resistência à cavitação seria uma característica vantajosa para plantas que crescem em regiões áridas. Da mesma maneira que Domec e Gartner (2002) afirmaram que elementos anatômicos mais largos e com paredes celulares mais finas representam tecidos altamente eficazes quanto à condutividade hidráulica, enquanto elementos mais estreitos com paredes mais espessas são indicadores de resistência à obstrução dos vasos e propícios ao armazenamento de água em condições de estresse hídrico.

Por análise das correlações da Figura 6, foi possível notar que as variáveis ambientais são correlacionadas estatisticamente entre si, indicando multicolinearidade, o que impossibilita separar com precisão os efeitos dessas

variáveis sobre a densidade da madeira. Portanto, não foi possível ajustar modelos à combinação dessas variáveis sem que houvesse quebra nos pressupostos da regressão. Apesar da análise feita individualmente, é importante salientar que essas variáveis climáticas não ocorrem independentes e são resultados das interações entre si e com inúmeros fatores de maneira dinâmica e integrada. A diversidade de interações entre fatores ambientais e as respectivas respostas das espécies resultam em uma heterogeneidade ambiental que determina a formação de um contínuo de *habitats* fazendo com que cada local tenha características próprias, possibilitando observar os padrões expressos anteriormente (MACHADO et al., 2008; RODRIGUES et al., 2003).

Portanto, de maneira ampla e independente, quanto menor a precipitação, maior a temperatura e maior a ETP, maior será a densidade média da madeira nas florestas nativas no Estado de Minas Gerais, coincidindo assim com fatores ambientais adversos ao crescimento das espécies florestais, em que, a atividade fisiológica e cambial das plantas é reduzida, induzida, sobretudo por deficiência hídrica. Por outro lado, baixas densidades da madeira estão associadas a ambientes favoráveis ao crescimento, com disponibilidade e boa distribuição hídrica, temperaturas menos elevadas e, portanto, ambientes menos áridos. O que pode ser atribuído à divisão celular mais intensa, não acompanhada de um espessamento proporcional da parede celular (BAKER et al., 2004; BERGÈS; NEPVEU; FRANC, 2008; MULLER-LANDAU, 2004; ROQUE; TOMAZELLO FILHO, 2009).

Além dos resultados expressos, as relevantes tendências encontradas podem contribuir para o entendimento da dinâmica do comportamento das florestas nativas frente à diversidade de condições de crescimento, para estudos de biomassa e carbono, possuindo também potencial à aplicação com fins bioenergéticos. Além disso, as relações encontradas da densidade da madeira com os fatores climáticos podem ser de grande importância no resgate de

informações de eventos climáticos históricos quando das formações florestais e também pode ser um potencial indicador dos efeitos das mudanças climáticas.

#### **4 CONCLUSÕES**

- A densidade da madeira possui dependência espacial de alta continuidade, permitindo gerar um mapa da distribuição dessa variável por meio da krigagem.
- A densidade da madeira correlaciona-se fortemente com fatores climáticos, de modo que, florestas tropicais sujeitas a menor precipitação, maior temperatura e conseqüentemente maior evapotranspiração, apresentarão as maiores médias de densidade da madeira quando comparadas a florestas em condições opostas.
- O aumento da densidade da madeira em condições ambientais desfavoráveis à sobrevivência de espécies florestais, sobretudo déficit hídrico, sugere, supostamente, um mecanismo fisiológico de melhoria da eficiência no uso da água.



## REFERÊNCIAS

ANTONOVA, G.F.; STASOVA, V.V. Effects of environmental factors on wood formation in larch (*Larix sibirica* Ldb.) stems. **Trees - Structure and Function**, Berlin, v. 11, n. 8, p. 462-468, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003. 6 p.

BAKER, T. R. et al. Variation in wood density determines spatial patterns in Amazonian forest biomass. **Global Change Biology**, Oxford, v. 10, n. 5, p. 545-562, 2004.

BEEDLOW, P. A. et al. The importance of seasonal temperature and moisture patterns on growth of Douglas-fir in western Oregon, U.S.A. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 169, n. 1, p. 174-185, 2013.

BERGÈS, L.; NEPVEU, G.; FRANC, A. Effects of ecological factors on radial growth and wood density components of sessile oak (*Quercus petraea* Liebl.) in Northern France. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, n. 3/4, p. 567-579, 2008.

BIONDI, F.; MYERS, D. E.; AVERY, C. C. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v.24, n.7, p.1354-1368, 1994.

BONTEMPS, J. D. et al. When tree rings behave like foam: moderate historical decrease in the mean ring density of common beech paralleling a strong historical growth increase. **Annals of Forest Science**, Les Ulis, v. 70, n. 4, p. 329-343, June 2013.

CHARNET, R. et al. **Análise de modelos de regressão linear**. Campinas: UNICAMP, 1999. 368 p.

CHAVE, J. et al. Regional and phylogenetic variation of wood density across 2,456 neotropical tree species. **Ecological Applications**, Tempe, v. 16, n. 6, p. 2356-2367, 2006.

DOMEC, J. C.; GARTNER, B. L. How do water transport and water storage differ in coniferous earlywood and latewood? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 1, p. 2369-2379, 2002.

DOWNES, G. M. et al. **Sampling plantation eucalypts for wood and fiber properties**. Melbourne: CSIRO, 1997. 126 p.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Cross validation: geostatistical analyst**. Redlands: ArcGIS Resources, 2013. Disponível em: <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.html#/00300000000z000000>>. Acesso em: 3 ago. 2014.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. **Using ArcGIS geostatistical analyst**. Redlands, 2001. 300 p.

FILIPESCU, C. N. et al. Modeling regional and climatic variation of wood density and ring width in intensively managed Douglas-fir. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 44, n. 1, p. 220-229, 2014.

GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; MATA, J. D. V. Análises exploratória e geoestatística da variabilidade de propriedades físicas de um Argissolo Vermelho. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 23, n. 5, p. 1149-1157, 2001.

GUEDES, I. C. L. et al. Técnicas geoestatísticas e interpoladores espaciais na estratificação de povoamentos de *Eucalyptus* sp. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 541-550, jul./set. 2012.

HACKE, U. G. et al. Trends in wood density and structure are linked to prevention of xylem implosion by negative pressure. **Oecologia**, Berlin, v. 126, n. 1, p. 457-461, 2001.

HIGUCHI, N. et al. Biomassa da parte aérea da vegetação de floresta tropical úmida de terra-firme da Amazônia Brasileira. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 28, n. 1, p. 153-165, 1998.

JOURNEL, A. G.; HUIJBREGTS, C. J. **Mining geostatistics**. London: Academic, 1978. 600 p.

KANEGAE-JÚNIOR, H. et al. Avaliação da continuidade espacial de características dendrométricas em diferentes idades de povoamentos clonais de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 5, p. 859-866, set./out. 2007.

KANTAVICHAI, R.; BRIGGS, D.; TURNBLOM, E. Modeling effects of soil, climate, and silviculture on growth ring specific gravity of Douglas-fir on a drought-prone site in western Washington. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 259, n. 1, p. 1085-1092, 2010.

MACHADO, E. L. M. et al. Efeitos do substrato, bordas e proximidade espacial na estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 31, n. 2, p.287-302, abr./jun. 2008.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**, Littleton, v.58, p.1246-1266, 1963.

MEINZER, F. C. Functional convergence in plant responses to the environment. **O ecologia**, Heidelberg, v. 134, n. 1, p. 1-11, 2003.

MELLO, J. M. et al. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.69, p.25-37, dez. 2005.

MELLO, J. M. et al. Continuidade espacial para características dendrométricas (número de fustes e volume) em plantios de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v.33, n.1, p.185-194, 2009.

MULLER-LANDAU, H. C. Interspecific and intersite variation in wood density of tropical trees. **Biotropica**, Washington, v. 36, n. 1, p. 20-32, 2004.

NOGUEIRA, E. M. et al. Wood density in forests of Brazil's 'arc of deforestation': implications for biomass and flux of carbon from land-use change in Amazonia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 248, n. 3, p. 119-135, Sept. 2007.

OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. M. T. **Zoneamento ecológico-econômico do Estado de Minas Gerais**: componentes geofísico e biótico. Lavras: UFLA, 2008. 161p.

OLIVEIRA, G. M. V. et al. Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira em diferentes fitofisionomias do estado de Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 2, p. 345-352, abr./jun. 2012.

PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 4, p. 9-29, 1956.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2014. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 10 ago. 2014.

RIBEIRO-JÚNIOR, P. J.; DIGGLE, P. J. geoR: a package for geostatistical analysis. **R-News**, Pelotas, v.1, n.2, p.15-18, 2001.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de pinus taeda para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 2, p. 267-273, mar./abr. 2004.

RODRIGUES, L. A. et al. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal em Luminárias, MG. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 71-97, jan./mar. 2003.

ROQUE, R. M.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da estrutura anatômica do lenho de árvores de *Gmelina arborea* em diferentes condições de clima e de manejo na Costa Rica. **Scientia Forest**, Piracicaba, v. 37, n. 83, p. 273-285, set. 2009.

SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; ACERBI JÚNIOR, F. W. **Inventário florestal de Minas Gerais: equações de volume, peso de matéria seca e carbono para diferentes fisionomias da flora nativa**. Lavras: UFLA, 2008. 216 p.

SILVEIRA, P. Estimativa da biomassa e carbono acima do solo em um fragmento de floresta ombrófila densa utilizando o método da derivação do volume comercial. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 4, p. 789-800, out./dez. 2010.

SILVEIRA, P. et al. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 1, p. 185-206, jan./mar. 2008.

SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; GÖRGENS, E. B. Equações para estimar o estoque de carbono no fuste de árvores individuais em plantios comerciais de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 711-718, ago. 2005.

STARKS, T. H.; FANG, J. H. The effect of drift on the experimental semivariogram. **Mathematical Geology**, New York, v. 14, n. 4, p. 309-319, 1982.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

TROVATI, L. R.; FERRAZ, E. S. B. Influência da precipitação e da temperatura na densidade dos anéis de crescimento de *Pinus oocarpa*. **IPEF**, Piracicaba, n. 26, p. 31-36, abr. 1984.

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, 1991. 124p.

VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Ed.). **Tópicos em ciências do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2000.v. 1, p. 1-54.

VILLAR, P. et al. Stem xylem features in three *Quercus* (Fagaceae) species along a climatic gradient in NE Spain. **Trees-Structure and Function**, Berlin, v. 12, n. 2, p. 90-96, 1997.

VISMARA, E. S. **Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

YAMAMOTO, J. K. **Avaliação e classificação de reservas minerais**. São Paulo: USP, 2001. 226 p.

**(VERSÃO PRELIMINAR)**