

oficina de textos

João Luís F. Batista
Hilton Thadeu Z. do Couto
Demóstenes F. da Silva Filho

Quantificação de recursos florestais

árvores,
arvoredos e
florestas

APRESENTAÇÃO

Ao apresentar *Quantificação de recursos florestais*, ressalto a experiência dos autores, adquirida após anos de atuação na docência, na pesquisa e como profissionais engajados com os aspectos práticos. Essa experiência lhes conferiu conhecimento e credibilidade para preparar esta obra de peso e importância na área de Mensuração Florestal em geral.

Este livro, com mais de 300 páginas, apresenta uma abordagem diferente das demais existentes na área. Primeiramente, ela foi dividida em três partes, “Árvores”, “Arvoredos” e “Florestas”, com conceituações de cada um desses temas. Os capítulos apresentam discussões específicas de cada parte. No fim do livro, são apresentados apêndices sobre temas gerais, como sólidos geométricos; conceitos sobre medição, estimação e predição; e regressão linear.

Diferentemente de outras publicações da área, são usadas nomenclaturas pouco usuais, mas apropriadas, em *Quantificação de recursos florestais*. Assim, na parte intitulada “Árvores”, os autores usam o termo arborimetria; na parte “Arvoredos”, usam o termo arbustimetria; e na parte “Florestas”, empregam a terminologia silvimetria, a qual já é bastante conhecida no meio florestal. Outro aspecto de *Quantificação de recursos florestais* é que a abordagem dos assuntos difere das abordagens encontradas em outros livros de Mensuração Florestal. Além disso, esta obra contém tópicos não cobertos em obras tradicionais dessa área de conhecimento. A forma de abordagem dos assuntos constitui, portanto, um diferencial deste compêndio.

O presente livro é direcionado a estudantes de graduação, pós-graduação, pesquisadores, bem como àqueles que militam dia a dia com medições de árvores, florestas e seus produtos, desde as simples avaliações do conteúdo presente até os processos e técnicas de estimação e predição, tanto em nível de árvore como de povoamentos e florestas. Nesse contexto, envolve as técnicas de modelagem e de amostragem, muito usadas e fundamentais para os engenheiros florestais e outros profissionais que cuidam do manejo florestal visando à sustentabilidade da floresta e do empreendimento florestal como um todo.

Certamente esta importante obra é indispensável a todos os docentes e alunos das áreas de Dendrometria, Crescimento e Produção, Inventário Florestal, Dinâmica e Monitoramento da Floresta e de Povoamentos Florestais, etc. Com certeza vou tê-la em minha biblioteca e recomendá-la a todos os meus orientandos, demais estudantes e profissionais.

Por fim, gostaria de manifestar a honra de ter recebido a incumbência de fazer esta breve apresentação deste livro e parabenizo os autores João Luís F. Batista, Hilton Thadeu Z. do Couto e Demóstenes F. da Silva Filho, professores da Esalq-USP, pelo excelente trabalho, que certamente despendeu muito trabalho, dedicação, perseverança e abnegação, sem o que não se realiza uma tarefa desta grandiosidade.

PROF. DR. SEBASTIÃO DO AMARAL MACHADO
ENGENHARIA FLORESTAL – UFPR

SOBRE ESTE LIVRO

É tão difícil fazer bom uso das regras quanto fazer bom uso dos livros. Pois o apelo aos livros é mais frequentemente um apelo à memória presente e disponível, assim como o apelo às regras é um apelo a um mecanismo cujo funcionamento é assegurado. As regras, como os livros, são auxílios que não devem ser desprezados; elas devem sugerir certos movimentos do pensamento, mas não substituí-los.

LOUIS LAVALLE (1883-1951)
Regras da vida cotidiana

Princípios norteadores

Este livro trata de árvores, arvoredos e florestas na perspectiva da quantificação de seus atributos, ou seja, na perspectiva de medi-los, predizê-los e estimá-los. Não é, portanto, um livro científico, pois não há nenhuma ciência, ou conjunto de ciências, que se ocupe em descrever como as árvores, os arvoredos e as florestas são quantificados. É um livro essencialmente prático, pois seu problema central é como se deve realizar a mensuração, a predição e a estimação dos atributos.

Qualquer problema prático pode ser abordado de duas formas: uma delas é por meio das regras utilizadas para resolvê-lo; a outra é por meio dos princípios que fundamentam e embasam as regras. Nossa abordagem privilegia a exposição e a discussão dos princípios para, com base neles, desenvolver e apresentar as regras. Contudo, este livro é destinado à formação universitária no nível dos cursos de graduação e vários aspectos do nosso problema central requerem embasamento mais profundo que aquele que se pode exigir de bacharéis e engenheiros. No entanto, sempre que possível, foi utilizada a abordagem partindo dos princípios.

O objetivo deste livro não é servir de manual, para que o leitor aprenda regras e procedimentos de quantificação e possa aplicá-los sem que os compreenda. Trata-se de um livro *didático*, no qual o leitor é convidado a entender os princípios que fundamentam as regras de quantificação e, com base neles, saber aplicá-las de modo apropriado, adaptando-as quando uma situação particular o exigir.

Acreditamos que essa abordagem, mais que apropriada, é necessária. Muitas regras tradicionais de quantificação das árvores, dos arvoredos e das florestas foram desenvolvidas pelos fundadores dessa atividade na Europa dos séculos XVIII e XIX e, posteriormente, foram aperfeiçoadas pelos seus seguidores na América do Norte dos séculos XIX e XX. Os tipos de floresta e as condições econômicas e sociais em que esses profissionais trabalharam possuem, sob certos aspectos, várias similaridades com as existentes no Brasil atual. Contudo, sob outros ângulos, as condições são radicalmente distintas. Não é o caso, no entanto, de se rejeitar de antemão tais conhecimentos tradicionais, nem de aceitá-los incondicionalmente. Uma vez aceitos e compreendidos em seus princípios, eles podem ser aperfeiçoados e aplicados adequadamente às condições do presente.

Abordagem de apresentação

Este livro difere da abordagem encontrada na maioria dos livros da literatura nacional e internacional que trata do tema. Embora as diferenças não sejam em conteúdo, mas em *apresentação*, o entendimento dessas é importante para uma leitura frutífera. O primeiro desses aspectos se refere à utilização de palavras e expressões de uso incomum na literatura profissional. O segundo é a maneira distinta de subdividir o tema, no desenvolvimento da sua apresentação. Por fim, o terceiro aspecto é a utilização de uma terminologia técnica consistente, a qual surge naturalmente conforme o tema é subdividido. Essas diferenças se nos mostraram necessárias para alcançar maior clareza e didática na redação do livro.

Os substantivos *quantificação* e *monitoramento*, por exemplo, não são de uso comum na literatura técnica, que prefere as palavras *mensuração* ou *medição* e *inventário contínuo*. A quantificação dos atributos das árvores, dos arvoredos e das florestas não é realizada por um único tipo de operação. Na verdade, três operações distintas são utilizadas de modo complementar no processo de quantificação: medir, prever e estimar. Para o profissional com experiência, essa distinção pode parecer um tanto óbvia e sua explicitação, desnecessária. Nossa experiência no ensino do assunto, no entanto, nos tem mostrado que ela é fundamental para que o aprendiz possa entender as regras e os procedimentos quantitativos. Essa não é uma questão específica dentro do problema da quantificação florestal, mas um fundamento que transpassa todos os aspectos do problema. Por isso, decidimos tratá-la de modo específico num apêndice (Apêndice B). O leitor aprendiz deve deixar a leitura dessa questão para depois de ter lido todo o livro, talvez, como uma preparação para uma segunda leitura. Já o leitor com experiência no assunto provavelmente aproveitará mais se iniciar a leitura do livro por esse apêndice.

A expressão *monitoramento* não é estranha à terminologia técnica florestal, mas foi utilizada de modo mais frequente que o usual. *Monitoramento* é o acompanhamento de alterações ao longo do tempo, por isso essa expressão foi utilizada como sinônimo de acompanhamento quantitativo temporal das alterações dos atributos das árvores, dos arvoredos e das florestas. O seu emprego ocorreu em detrimento de qualquer outro termo ou expressão de uso tradicional, como *inventário*

contínuo, e todos os capítulos que tratam de alterações temporais foram intitulados *monitoramento*.

O leitor também notará que a expressão *inventário florestal* foi utilizada poucas vezes, tendo sido substituída por *levantamento florestal*. A expressão *inventário florestal* é tão popular que passou a designar toda uma área de conhecimento. Nosso entendimento, contudo, é que ela designa apropriadamente apenas os levantamentos voltados à quantificação da produção florestal, sobretudo da produção de madeira. A palavra *levantamento*, como tradução de *survey* no inglês, tem significação mais ampla e pode designar adequadamente qualquer procedimento de obtenção de informações quantitativas sobre as florestas, independentemente do tipo de informação desejada.

O aspecto mais singular da apresentação deste livro é a tríade *árvore–arvoredo–floresta*, a qual indica as três partes do livro, ou os três níveis em que a quantificação é realizada. Sobre árvores e florestas não são necessárias explicações, pois essas palavras são utilizadas da forma convencional encontrada na literatura técnica. O ponto singular são os arvoredos, pois o usual é tratar da quantificação florestal como se ela fosse operada em apenas dois níveis: árvores e florestas.

Embora pouco popular no Brasil, a palavra *arvoredo* não é inédita na literatura florestal. O prof. António Manuel de Azevedo Gomes, catedrático do Instituto Superior de Agronomia (ISA) de Portugal, publicou em 1957 um livro intitulado *Medição dos arvoredos*, mas, posteriormente, em 1963, ele publicou uma monografia chamada *Medição das árvores e dos povoamentos*. Isso sugere que tanto em Portugal quanto no Brasil as palavras *arvoredo* e *povoamento* são tomadas como sinônimos, o que está em acordo com as definições de *arvoredo* encontradas nos dicionários: “aglomeração de árvores” (*Aurélio e Michaelis*) ou “extensa aglomeração de árvores” (*Houaiss*). Mas, neste livro, *arvoredo não é sinônimo* de *povoamento*.

O fato é que os profissionais da quantificação florestal sempre reconheceram uma entidade intermediária entre as árvores e as florestas, ou entre as árvores e os povoamentos florestais, como subdivisões da floresta. Ainda que um tanto etérea, essa entidade está presente na terminologia tradicional na expressão genérica *unidade amostral*, ou nas suas versões particulares como *parcela*, *transecto*, *ponto de Bitterlich* ou *parcela de raio variável*, *linha de Strand* e *parcela de Prodan*. Note-se que todas

essas expressões são perfeitamente compatíveis com a definição *aglomerado de árvores*.

Por outro lado, os estudiosos da ecologia das florestas, particularmente das florestas tropicais, identificam há muito tempo as florestas como um “mosaico de fases estruturais”. Talvez, o primeiro a apresentar claramente esse ideia foi Alex S. Watt, em 1947, mas o conceito também está presente em publicações clássicas como os livros *Tropical rain forest: an ecological study*, de P. W. Richards (1957), *Tropical rain forest of far east*, de T. C. Whitmore (1984), cuja primeira edição é de 1975, *Tropical trees and forests: an architectural analysis*, de F. Hallé, R. A. A. Oldeman e P. B. Tomlinson (1978), e *Forests: elements of Syl-vology*, de R. A. A. Oldeman (1990b). As fases estruturais, também chamadas por alguns autores de *ecounidades*, são as unidades que compõem o mosaico que chamamos de floresta. Mas o que seria uma unidade estrutural ou uma ecounidade senão um aglomerado de árvores que, juntas, possuem uma identidade estrutural?

As unidades amostrais dos profissionais da quantificação e as unidades estruturais dos estudiosos da ecologia são, do ponto de vista empírico, unidades de observação da floresta e, do ponto de vista teórico, unidades de organização do conceito quantitativo ou ecológico que se abstrai da floresta. Essa entidade etérea necessitava de um nome, pois ela é o fundamento tanto da observação quanto da compreensão quantitativa e ecológica da floresta. As unidades amostrais e as unidades estruturais são, em essência, aglomerados de árvores, logo, adotamos a palavra *arvoredo* para designá-las. O conceito de *arvoredo* é tratado em detalhes no Cap. 7.

Na abordagem tradicional de desenvolvimento do tema, centrada nos dois níveis de quantificação, *árvore* e *floresta*, utiliza-se a palavra *Dendrometria*, palavra com origem na língua grega clássica, para designar a medição das árvores, enquanto que a quantificação de atributos das florestas é denominada às vezes *Silvimetria*, palavra de origem latina, e às vezes *Dasometria*, de origem grega.

Ao estabelecermos a tríade *árvore–arvoredo–floresta* para o desenvolvimento do tema, ela se impôs sobre nós. Cada membro da tríade demandou, por questão de justiça terminológica e coerência lógico-cognitiva, uma designação apropriada para a sua quantificação. Para evitarmos confusão e mantermos a clareza na exposição, decidimos, então, adotar três termos técnicos.

Escolhemos cunhar termos com base em palavras do latim clássico. O conjunto das atividades de quantificação dos atributos das árvores individualmente é designado como *Arborimetria*, enquanto a quantificação dos atributos das florestas, como *Silvimetria*, que é um termo tradicional. Já a quantificação dos atributos dos arvoredos é designada como *Arbustimetria*, pois a palavra *arbustum/arbusti* significa, no latim clássico, um local plantado de árvores.

Muitos dirão: “mas *arbustimetria* sugere medição de arbustos!” Olavo Bilac, no seu soneto “Língua Portuguesa”, nos ensina que a nossa língua é “a última flor do Lácio, inculta e bela”. Inculta porque se desenvolveu a partir do latim vulgar, falado pela gente inculta, e não do latim culto, encontrado nas obras dos grandes autores romanos. Sem desprezo à nossa língua, ficamos, nas questões de terminologia técnica, com o latim clássico, culto. *Arbustum/arbusti* é um lugar plantado de árvores. Aquela planta lenhosa que lembra uma árvore, mas é pequena e excessivamente ramificada, é uma *arbuscula/arbusculae*.

Um último comentário sobre terminologia se faz necessário. Não é nossa intenção propor, com este livro, uma nova terminologia para que seja oficializada e incorporada nas atividades profissionais e científicas florestais. Como dissemos, essa terminologia, fundamentada na tríade *árvore–arvoredo–floresta*, se nos impôs pela necessidade de clareza e objetividade na exposição do tema. Acreditamos que ela facilita a leitura do livro e torna a apredizagem mais eficaz, pois a função de qualquer jargão técnico é possibilitar o domínio conceitual sobre uma área de conhecimento. Uma vez que o leitor-aprendiz tenha sucesso na sua aprendizagem, ele estará livre dessa e de qualquer terminologia. O fundamental é que o domínio dos conceitos se faça numa via dupla com a terminologia. Conhecer verdadeiramente um assunto é ser capaz de apresentá-lo de mais de uma maneira. Ser capaz de entender as diferentes maneiras de apresentação de um assunto é um sinal do seu verdadeiro conhecimento.

Livro-texto

Dissemos que este é um livro didático para ensino de graduação. Ele foi concebido como *livro-texto* para duas

disciplinas semestrais sequenciais cobrindo os temas essenciais a respeito da quantificação e monitoramento florestal. A primeira disciplina trataria dos temas de Arborimetria e iniciaria alguns dos temas de Arbustimetria. A segunda disciplina apresentaria os temas remanescentes de Arbustimetria e cobriria todos os temas de Silvimetria.

Como livro-texto, procuramos redigir de modo que a leitura dos capítulos seja autossuficiente para o estudante ter uma boa ideia dos temas e uma compreensão inicial dos conceitos e procedimentos. O encontro entre estudante e professor em sala de aula pode, assim, se tornar uma oportunidade para aprimorar o domínio desses conceitos e procedimentos. Nosso objetivo foi possibilitar que as aulas fossem transformadas de um lugar de simples transmissão de informações para uma oportunidade de resolução de dúvidas e discussão dos temas, inclusive com a possível contestação da abordagem do livro.

É impossível que um único livro seja totalmente autossuficiente. Nosso tratamento dos temas supõe um embasamento mínimo em conceitos de matemática e estatística. Ele não pressupõe o domínio do cálculo diferencial e integral e, sempre que possível, os conceitos quantitativos foram apresentados de modo mais verbal que algébrico. No desenvolvimento de alguns temas, contudo, a apresentação algébrica é inevitável, principalmente na apresentação dos estimadores associados aos diferentes métodos de amostragem da floresta (métodos silvimétricos).

O livro também pressupõe familiaridade com alguns conceitos básicos de silvicultura, manejo florestal e ecologia florestal, pois é impossível tratar de modo realista e prático sobre a quantificação das árvores, dos arvoredos e das florestas, se os estudantes ainda não têm uma certa “cultura florestal”. Deficiências nessa cultura florestal podem ser supridas pelos professores diretamente nas aulas ou pela indicação de uma literatura básica.

Cada capítulo contém comentários e sugestões bibliográficas. Os comentários se referem a alguns pontos específicos do capítulo e buscam dar maior clareza à apresentação dos assuntos. As sugestões bibliográficas visam estimular os leitores a aprofundar seus conhecimentos, orientando-os quanto às publicações mais

adequadas, principalmente livros, para a continuidade dos estudos.

Para auxiliar a compreensão, ao final de cada capítulo é apresentado um “Quadro de conceitos” em que são listados os principais conceitos apresentados no capítulo. O objetivo desse quadro é permitir ao estudante uma rápida revisão do assunto desenvolvido no capítulo procurando verificar quais são as principais dificuldades de compreensão.

Um aspecto muito importante na aprendizagem de métodos quantitativos é o estudo por meio da resolução de problemas. Por isso, com exceção dos capítulos puramente conceituais, todos os demais trazem uma lista de problemas para exercitar as regras de quantificação e os procedimentos de cálculo, bem como para verificar a compreensão dos conceitos e métodos. Em cada problema, é mais importante avaliar se a abordagem e o procedimento estão corretos que se apegar à correção do resultado numérico final.

Agradecimentos

Agradecemos a Deus, que no seu Amor e Sabedoria infinitos, criou os céus e a Terra com ordem e harmonia inigualáveis e semeou no homem o impulso de buscá-lo pelo saber. Sem Ele, não haveria o que saber, não haveria busca e não haveria este livro.

Aos nossos mestres, aqueles que nos iniciaram no caminho do conhecimento e nos ajudaram a germinar a semente da busca do saber. Sem eles, a semente não teria germinado numa plântula viçosa, não teria se desenvolvido numa arvoreta vigorosa e este livro não existiria.

Aos nossos alunos, às várias gerações de jovens que, com seu interesse e suas dificuldades, nos chamaram para a responsabilidade de iniciá-los no caminho do conhecimento, para ajudá-los a germinar as suas sementes da busca do saber. Sem eles, a arvoreta vigorosa não teria se tornado uma árvore frondosa, não teria dado frutos e este livro não existiria.

Aos nossos amigos e familiares, principalmente nossas esposas e filhos, que com seu carinho e afeto nos estimularam, apoiaram e reconfortaram. Sem eles, a semente, a plântula, a arvoreta e a árvore não teriam recebido água e calor para crescer e se desenvolver e este livro não teria existido.

À equipe da Oficina de Textos, que tomou este livro como uma alma e deu-lhe um corpo, para que pudesse ser divulgado e conhecido. Sem ela, os frutos da árvore não teriam sido colhidos e distribuídos, e você, caro leitor, não teria este livro em suas mãos.

Voto

É nosso sincero voto que este livro contribua para melhorar a aprendizagem e o ensino dos métodos de quantificação florestal e que promova o aprimoramento do exercício profissional florestal.

OS AUTORES

Piracicaba, maio de 2014

parte I

ÁRVORES

*Frondi tenere e belle
Del mio platano amato
Per voi risplenda il fato
Tuoni, lampi e procelle*

*Non v'oltraggino mai la cara pace
Ne giunga a profanarvi austro rapace!*

*Ombra mai fu
Di vegetabile
Cara ed amabile
Soave più*



“Ombra mai fu”. Ária da ópera Xerxes (1738), de Handel, com adaptação anônima do libreto de Nicolò Minato (1654): “Belos e suaves ramos / De minha singela árvore amada / Por ti fulgura meu fado / Trovões, raios e tormentas / Jamais perturbam tua majestosa calma / Nem ventos vorazes conseguem profanar-te / Nunca houve uma sombra / De ramos / Mais doce, mais refrescante / Ou mais gentil.”

capítulo 1

ÁRVORES

A árvore é uma planta especial para os humanos. Em muitas culturas, ela é tomada como um símbolo da vida, havendo expressões equivalentes a *árvore da vida* nas culturas hindu, suméria, celta, judaica, cristã e islâmica. Como símbolo da vida, a presença de árvores é vista como um sinal de benção divina que se traduz em abundância, prosperidade e, frequentemente, longevidade. Apesar dos inúmeros produtos e utilidades que se obtém das árvores desde tempos imemoriais, as diferentes culturas sempre parecem ter atribuído a elas um elemento natural que não cede ao controle humano. Seja pelo seu crescimento, que responde mais às condições naturais que ao cultivo humano, seja pela sua longevidade, que compreende diversas gerações humanas, sempre se viu na árvore um elemento imponderável que suscita respeito. Nas mais diversas culturas, a reverência às árvores parece ser o sinal mais evidente de veneração às forças naturais, que em conjunto é chamada de *Natureza*.

O entendimento sobre a vegetação natural se fundamenta na existência das árvores. Uma formação vegetal é dita florestal em função da abundante presença de árvores. As diferentes formações vegetais são descritas com base no comportamento do elemento arbóreo. Começando pela floresta densa, em que as árvores bloqueiam marcadamente a luz do sol, passando às florestas abertas, em que a menor abundância das árvores permite a presença mais intensa da vegetação de baixo porte, em seguida às savanas, onde as ervas tem presença marcante em consequência do grande espaçamento entre árvores, chegando aos campos naturais, dominados pelas ervas em razão da completa ausência das árvores. Acrescente-se o fato de que o mais drástico impacto das atividades humanas é realizado retirando-se as árvores de onde elas ocorrem em abundância — desmatamento — ou plantando-as onde elas estão ausentes — reflorestamento ou revegetação.

Assim, as árvores são centrais em qualquer estudo da natureza e são essenciais nos estudos e levantamento de informação sobre as florestas. Todo estudo ou levantamento sobre uma floresta começa pela observação das árvores e termina pela apresentação de informações, que, em última análise, são abstrações quantitativas ou qualitativas a respeito da presença do elemento arbóreo. Neste capítulo, as árvores são caracterizadas como um tipo específico de planta que, por esta razão, requer métodos e técnicas específicos de observação e medição.

ARBORIMETRIA NÃO DESTRUTIVA

A mensuração não destrutiva das árvores fica restrita àqueles atributos que podem ser observados e medidos quando as árvores estão em pé. Assim, não é necessário o abate da árvore e a obtenção desses atributos não causa impacto marcante na vida da árvore. Por isso, eles são geralmente observados em todas as árvores incluídas num levantamento florestal e são os únicos atributos que podem ser medidos durante o monitoramento das árvores.

Para que a obtenção da informação seja eficiente, é importante que esses atributos sejam observados ou medidos com precisão, mas também com rapidez, de modo que um grande número de árvores possa ser medido em intervalos de tempo relativamente breves. Por isso, a mensuração não destrutiva envolve procedimentos de medição que são conceitualmente simples e operacionalmente práticos.

2.1 Número de troncos e atributos qualitativos

O elemento que caracteriza as árvores é a formação de um ou mais caules lenhosos eretos, isto é, a formação dos troncos. Se alguns atributos se referem à árvore como um todo, outros são observados e medidos nos troncos individualmente, por exemplo, o diâmetro do tronco. A observação das árvores começa, portanto, pela enumeração dos troncos e pela observação de cada um deles. O número de troncos não é um atributo que se registra explicitamente, ele está implícito no fato de que os registros das observações de campo são realizados tronco a tronco, isto é, para cada tronco individualmente.

Vários atributos qualitativos são observados e registrados no campo, de modo que, em todo levantamento florestal, o procedimento de observação das árvores deve ser definido, com o objetivo de padronizar a descrição e o registro dos atributos qualitativos. A definição do procedimento e dos atributos dependem dos objetivos do levantamento e, portanto, não é possível descrever um procedimento único de como fazê-lo. A título de exemplo, o Quadro 2.1 apresenta os atributos qualitativos acompanhados num sistema de monitoramento, no qual se utiliza a remedição anual de parcelas permanentes em que todas as árvores são identificadas por uma pequena placa de metal.

ARBORIMETRIA DESTRUTIVA

Alguns atributos importantes das árvores não podem ser obtidos por medição direta ou indireta sem que a árvore seja destruída. Geralmente, esses atributos se referem à quantidade de madeira ou de produtos madeireiros que se pode obter da árvore. A medição desses atributos requer não só o abate da árvore, mas frequentemente também o desganhamento, o corte do tronco e a separação de seus componentes, como as toras de diferentes espessuras, os ramos grossos e finos e a folhagem.

Sendo a madeira um sólido, sua quantificação deveria ser realizada pela massa. No Sistema Internacional, a grandeza volume é geralmente utilizada para quantificar líquidos e gases. Entretanto, a tradição de medida da produção madeireira de árvores e florestas, que antecede o Sistema Internacional em alguns séculos, se desenvolveu com base na determinação do volume, seja de toras individuais, seja de pilhas de toretes. Mais recentemente, surgiu o interesse em quantificar a produção florestal em massa.

Respeita-se aqui a sequência da tradição, apresentando-se inicialmente a determinação do volume tanto do conteúdo de madeira das árvores quanto dos diversos produtos madeireiros. Expõe-se em seguida a determinação do volume de madeira contido em pilhas de toras e toretes. Discute-se, então, as maneiras de se definir a forma do tronco e conclui-se com a medição da massa de árvores.

3.1 Volume do lenho de árvores

O volume de madeira de uma árvore depende, em última análise, do uso que se dará a ela. O volume útil de madeira de uma árvore quando se pretende produzir madeira serrada é bem diferente do volume útil quando se pretende utilizá-la como lenha. Assim, é comum que se qualifique o volume de madeira em função dos seus fins, por exemplo: volume para serraria, volume para laminação, volume para processamento industrial (polpa de celulose ou chapas) e volume para energia (lenha ou queima em caldeira).

FUNDAMENTOS DE METROLOGIA

Medidas e medições são realidades comuns no dia a dia. Tão comuns que a maioria das pessoas lida com essas noções cotidianamente, mas teria grande dificuldade para definir o que é uma medida ou o que é medir alguma coisa. Entretanto, a mensuração não pode ser tratada como um assunto trivial uma vez que as informações que ela oferece são utilizadas para a tomada de decisões que envolvem riscos de elevadas perdas materiais ou de conclusões científicas equivocadas. Tais riscos raramente se afiguram na utilização direta de medidas simples. Porém, nos procedimentos técnicos e científicos, a praxe é que medidas variadas sejam combinadas num complexo processo quantitativo que gera as informações que são a base das decisões administrativas ou das conclusões científicas.

A tecnologia e a ciência, portanto, não podem prescindir da compreensão mais aprofundada dos procedimentos de mensuração e de manipulação das medidas. Essa compreensão se assenta sobre alguns princípios aplicáveis aos mais variados tipos de medida e de procedimentos mensuracionais, que constituem uma ciência chamada *Metrologia*. Com o objetivo de se desenvolver uma compreensão mais profunda dos processos de mensuração e do tratamento quantitativo das medidas, este capítulo trata dos fundamentos da *Metrologia* e da sua aplicação na *Arborimetria*.

4.1 Conceito de medida

Raramente um livro técnico apresenta uma definição de medida ou do processo de mensuração, mas muitos erros profissionais na prática das engenharias resultam da falta de clareza desse conceito fundamental. A medida é o primeiro elemento em qualquer processo de quantificação e, portanto, estabelece a base para qualquer racionalização ou análise das informações.

Conceito de medida. Dentre os livros de mensuração, o livro de Husch, Miller e Beers (1982) é um dos poucos que trata do conceito de medida. No entanto, ele simplesmente transcreve a definição de Ellis (1966), que desenvolve o conceito de medida com base em fundamentos filosóficos e oferece uma definição rigorosa. Ainda hoje, o livro de Ellis é talvez a principal fonte para a reflexão sobre o conceito de medida e suas implicações para ciência e tecnologia, por isso o tratamento do assunto apresentado fundamenta-se totalmente nele.

MONITORAMENTO ARBORIMÉTRICO

O monitoramento das árvores é o acompanhamento das transformações pelas quais elas passam ao longo do tempo. Embora se tenha exemplificado como certos atributos das árvores mudam com a idade, o tratamento adotado até aqui foi estático, isto é, cada atributo foi tratado como uma medida tomada de forma fixa, sem considerar sua alteração ao longo do tempo. As árvores, contudo, são seres vivos em constante transformação, suas dimensões e proporções estão em contínua modificação.

No Cap. 1, apresentou-se brevemente o crescimento das árvores na perspectiva dos processos fisiológicos e dos tecidos vegetais envolvidos. Neste capítulo, as transformações das árvores serão examinadas do ponto de vista dos componentes da sua estrutura (copa, ramos, tronco), cujo tamanho pode ser medido e o crescimento, acompanhado. O objetivo é tornar operacional o monitoramento dos atributos das árvores que foram tratados nos capítulos anteriores.

5.1 Fases de desenvolvimento

Numa perspectiva operacional de mensuração, acompanhar a transformações das árvores é observar a sua mudança entre e dentro de suas fases de desenvolvimento. Embora o crescimento de uma árvore seja contínuo e a mudança de uma fase de desenvolvimento para outra seja gradual, poucos atributos das árvores podem ser acompanhados e medidos durante toda a sua vida. Por outro lado, a importância de se medir um dado atributo depende da fase de desenvolvimento em questão.

Crescimento e desenvolvimento. É importante distinguir crescimento e desenvolvimento. Entende-se por crescimento o aumento do tamanho das árvores. Desenvolvimento implica não só o aumento do tamanho, mas também a diferenciação dos tecidos e estruturas da árvore de modo a resultar em mudanças sensíveis na sua forma, o que inclui a maturação para a reprodução, com a formação de flores e frutos.

ARBORIMETRIA PREDITIVA

O fato de que algumas das informações mais importantes sobre as árvores, como seu volume ou biomassa, só podem ser obtidas por métodos destrutivos deve ser contornado de alguma forma, do contrário o estudo das florestas, particularmente do seu crescimento, se mostra totalmente inviável.

A solução encontrada é relativamente simples, embora de implementação trabalhosa. Seleciona-se uma amostra de algumas árvores nas quais são efetuadas tanto as medidas não destrutivas, em geral diâmetro e altura, quanto as medidas destrutivas, volume e biomassa. Com base nessa amostra *destrutiva* se constrói uma relação empírica que permita determinar as medidas destrutivas a partir das não destrutivas. A aplicação dessa relação empírica a uma árvore em pé gera uma *predição* da medida destrutiva de interesse. Neste capítulo, serão apresentadas técnicas para predição da altura, volume e biomassa das árvores.

6.1 Predição da altura

Como visto, a altura das árvores não é uma grandeza que necessite de medição destrutiva, mas, comparada à medida do diâmetro do tronco, ela é uma medida que requer instrumentos mais sofisticados e caros e que demanda maior tempo. Na medição não destrutiva de uma parcela no campo, a medição da altura de todas as árvores dentro da parcela exigirá muito mais tempo que a dos diâmetros. Por outro lado, nas florestas plantadas, é comum que exista uma forte relação quantitativa entre a altura total e o *DAP* das árvores. Assim, em muitos levantamentos e inventários florestais, o tempo de medição no campo é reduzido utilizando-se o seguinte procedimento:

- 1] mede-se o *DAP* de todas as árvores da parcela;
- 2] mede-se a altura total de uma amostra das árvores da parcela;
- 3] estima-se a relação entre o *DAP* e a altura total utilizando-se as árvores dessa amostra;
- 4] utiliza-se a relação para prever a altura de todas as árvores da parcela.

Esse procedimento é de aplicação corrente em levantamentos florestais, particularmente no caso de florestas plantadas de rápido crescimento, e ilustra como a construção de relações empíricas aplicadas a povoamentos florestais particulares pode fazer parte dos procedimentos usuais de mensuração de florestas.

parte II

ARVOREDOS

Floret silva nobilis
Floribus et follis. [...]
Floret silva undique.



“*Floret silva nobilis*”. Trecho da cantata *Carmina Burana* (1935/1936), composta por Carl Orff com base em canções profanas datadas dos séculos XI, XII e XIII: “Floresce a nobre floresta / Com flores e folhas. [...]

/ Floresce a floresta em todos os lugares”.

capítulo 7

ARVOREDOS

A primeira parte deste livro tratou da medição das árvores. A árvore foi abordada como o elemento individual de estudo e mensuração, discriminando-se os atributos que podem ser medidos na árvore em pé (medidas não destrutivas) daqueles que requerem o abate da árvore (medidas destrutivas). Contudo, uma floresta não é simplesmente um ajuntamento de árvores. A floresta é um tipo de ecossistema ou de formação vegetal em que as árvores são o elemento fundamental, mas que é muito mais que uma mera coleção de árvores. Até mesmo as florestas plantadas, em sua homogeneidade e simplicidade comparativamente às florestas nativas, são mais complexas que um conjunto de árvores.

Para se realizar estudos e levantamentos quantitativos de informações sobre as florestas, é necessário reconhecer a existência de um componente intermediário entre as árvores e a floresta. Esse componente possui uma existência material, pois pode ser identificado como um aspecto da estrutura espacial da floresta, mas possui também um forte componente arbitrário, pois depende tanto da abordagem teórica quanto da empírica que são escolhidas para realizar o estudo ou levantamento. Ele não é como as árvores, cuja presença é percebida da mesma forma, independentemente da maneira com que se deseja observá-las ou medi-las. A percepção da presença desse componente intermediário na floresta é, em boa parte, moldada pela perspectiva com que se observa a floresta. A melhor forma de entender esse componente é como um *conceito abstrato*, isto é, como um conceito construído separando-se da realidade material, que é a floresta, os atributos e as qualidades de interesse para o estudo.

Infelizmente, não existe na literatura científica florestal e ecológica uma única palavra para designar esse componente. Por ser um conceito abstrato, cada área de pesquisa ou de atividade técnica, quais sejam a ecologia, a silvicultura, o manejo florestal, o inventário florestal, aborda esse componente numa perspectiva distinta e, portanto, utiliza palavras diferentes para representá-lo.

MÉTODOS ARBUSTIMÉTRICOS

Foram vistos vários atributos que podem ser observados e medidos nos arvoredos, mas como os arvoredos são identificados e observados na floresta? Como unidades de observação, os arvoredos têm um aspecto arbitrário que é o método utilizado para delimitá-lo. Em essência, todos os métodos consistem em regras para definição do conjunto de árvores que compõe o arvoredo. Não existe, em princípio, um método que seja sempre superior aos demais, pois cada método possui suas vantagens e desvantagens e a superioridade de um dado método depende dos objetivos do levantamento florestal.

Neste capítulo são apresentados os métodos mais frequentemente utilizados nos levantamentos florestais para definição dos arvoredos como unidades de observação e de amostragem da floresta. Em todos os métodos, existe um ponto central: é a necessidade de que, independente de como o conjunto de árvores que compõe o arvoredo é definido, a agregação da medida da produção das árvores resulte numa medida de produção do arvoredo *expressa por unidade de área*. Assim, os métodos de identificação dos arvoredos são definidos tanto pelas regras de seleção das árvores quanto pelo procedimento de agregação das medidas de produção das árvores.

Métodos arbustimétricos. O mesmo sentido da expressão *métodos arbustimétricos*, aqui utilizada, é com frequência encontrado na literatura técnica florestal brasileira como sendo *métodos de amostragem*. Ver por exemplo, Péllico Netto e Brena (1997) e Sanqueta et al. (2006).

Trata-se de uma expressão problemática, porque sugere uma relação com a teoria de amostragem e, em outras áreas de conhecimento, ela possui sentido muito diverso. Preferiu-se, portanto, cunhar uma expressão tipicamente florestal para expressar a mesma ideia.

9.1 O arvoredo como superfície

A maneira mais simples e direta de se delimitar um arvoredo dentro da floresta é pela demarcação de uma pequena superfície da floresta, formando uma figura geométrica de forma e área conhecida. O arvoredo é definido, assim, como uma pequena parte ou *parcela* da floresta. Ele é composto, portanto, de todas as árvores presentes dentro dessa parcela, as quais são observadas, enumeradas e medidas.

MONITORAMENTO ARBUSTIMÉTRICO

Assim como as transformações que as árvores sofrem ao longo do tempo podem ser monitoradas, também os arvoredos podem ser monitorados nas transformações que sofrem. A base do monitoramento dos arvoredos é o monitoramento das árvores, pois a unidade básica de mensuração são as árvores individualmente, e as medidas dos arvoredos são composições das medidas das árvores. Mas o monitoramento dos arvoredos é também a base do monitoramento da floresta, pois as transformações que ocorrem na floresta ao longo do tempo é resultado da composição temporal e espacial das transformações que ocorrem nos arvoredos individualmente.

Neste capítulo são apresentados os princípios e procedimentos de monitoramento dos arvoredos. Monitorar os arvoredos é acompanhar no tempo um conjunto de árvores, o que implica não só o acompanhamento das transformações das árvores individualmente, mas também das mudanças das relações entre as árvores que compõem o conjunto. Os arvoredos tratados não são as unidades estruturais naturalmente observáveis nas florestas, mas as unidades de observação definidas pelos métodos apresentados no capítulo anterior. Essa abordagem é necessária para que as observações feitas nos arvoredos possam ser posteriormente combinadas para produzir informações sobre a floresta como um todo.

10.1 Fases de desenvolvimento dos arvoredos

Assim como as árvores se desenvolvem ao longo da sua vida, também os arvoredos, como um conjunto de árvores em desenvolvimento, têm um ciclo de vida próprio que se revela ao longo do tempo. O desenvolvimento das árvores é, em grande medida, influenciado pelas condições ambientais do local em que as árvores estão estabelecidas e pelos ciclos climáticos que ocorrem em escalas temporais variadas: ciclos diários, ciclos sazonais ou anuais, ciclos em décadas, em séculos e até ciclos milenares. Influenciando o comportamento das árvores, as condições ambientais e climáticas agem duplamente sobre os arvoredos. Primeiramente, pela influência direta no comportamento de cada árvore que compõe o arvoredo e, em segundo lugar, pela influência das relações e interações entre as árvores do arvoredo.

ARBUSTIMETRIA PREDITIVA

Neste capítulo, são tratados os modelos empíricos utilizados para a predição de atributos e da produção dos arvoredos. Esse é um tema fundamental para o manejo das florestas nativas e plantadas, uma vez que as decisões de manejo só podem ser tomadas com base numa expectativa quantitativa da resposta da floresta a médio e longo prazo às intervenções de manejo. Mas construir e aplicar modelos empíricos que gerem informações úteis ao manejo florestal é um tema extremamente amplo, ao ponto de consistir, por si só, numa área de conhecimento da Engenharia Florestal: a Biometria Florestal.

O objetivo deste capítulo não é, portanto, apresentar um tratamento completo ou mesmo extensivo sobre o tema, mas apresentá-lo de modo que seja possível conhecer dois aspectos que são muito importantes para a mensuração e os levantamentos florestais. O primeiro aspecto é que os modelos preditivos de arvoredo podem ser úteis ao próprio procedimento de mensuração, tornando-o mais eficiente, no sentido de obter informações precisas e de baixo custo de obtenção sobre as florestas. O segundo aspecto é que as informações provenientes dos modelos de predição são complementares àquelas obtidas nos levantamentos florestais, sendo ambas necessárias ao manejo das florestas. Os tópicos apresentados neste capítulo visam, portanto, que o leitor possa, não necessariamente no estudo deste texto, mas no devido tempo, reconhecer e entender esses dois aspectos relativos aos modelos de predição de arvoredos.

11.1 Predição de atributos dos arvoredos

A predição dos atributos dos arvoredos pela Arbustimetria Preditiva consiste na utilização de modelos essencialmente empíricos, que podem ser desenvolvidos e aplicados com base nas informações obtidas pela mensuração dos arvoredos. Para que se entenda o caráter particular desses modelos dentro do contexto mais amplo dos *modelos biométricos florestais* faz-se necessária uma breve explicação dos tipos de modelos biométricos utilizados no estudo e manejo das florestas.

11.1.1 Modelos biométricos florestais

A maneira mais direta para se entender os modelos biométricos florestais é classificá-los de acordo com o seu *nível* e o seu *fundamento teórico* de modelagem.