

## **MÉTODOS E TÉCNICAS DE DIAGNOSE DE IDENTIFICAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DE ÁRVORES TROPICAIS**

**Gilmara Pires de Moura Palermo<sup>1</sup>**  
**João Vicente de Figueiredo Latorraca<sup>1</sup>**  
**Heber dos Santos Abreu<sup>1</sup>**

### **RESUMO**

**P**ara análise do crescimento do xilema de espécies tropicais é necessário muitas vezes lançar mão de ferramentas que auxiliam na identificação precisa dos anéis de crescimento. Para avaliar o crescimento de uma árvore a dendrocronologia, utiliza métodos e técnicas, divididos em dois grupos, ou seja, método estático, que utiliza das técnicas desenvolvidas na anatomia de madeira, datação por radiocarbono, mensuração da largura do anel de crescimento, etc. e o método dinâmico que utiliza das técnicas de investigação fenológica, mensuração do diâmetro de crescimento por dendrômetro de faixa e mensuração da atividade cambial por resistência elétrica com um sigometrômetro. Estes métodos associados às técnicas auxiliam na identificação da periodicidade das zonas de crescimento e possibilita estimar a idade real da árvore. Em árvores tropicais com falsos anéis, anéis incompletos ou perdidos, para se comprovar exata periodicidade do crescimento ambos os métodos e várias técnicas podem ser combinados entre si.

**Palavras-chaves:** Anéis de crescimento, madeiras tropicais, dendrocronologia

### **ABSTRACT**

## **METHODS AND TECHNIQUES OF DIOGNOSIS IN THE GROWTH RING IDENTIFICATION OF TROPICAL TREES**

Some tools for exact identification of the growth rings in the tropical species are necessary. In the evaluation of tree growing by dendrochronology two methods (static and dynamic methods) could be applied. Those methods can be carried out by several techniques. For the static methods, the techniques of wood anatomy, radiocarbon dating, ring-width analysis, etc. and for the dynamic methods the techniques of phenological investigations, measurement of diameter growth by dendrometer bands and measurement cambial active by electric resistance with a shigometer are applied. Those methods are useful for identification of the peridiocity of the growth zone, contributing for estimation of the real age of the tree. Tropicals trees develop normal and false rings (interrupted and indistinct). For exact comprovation of growth rings combined different methods can be applied.

**Key words:** growth rings, tropical wood, dendrochronology

---

<sup>1</sup> Departamento de Produtos Florestais/IF - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-Rio de Janeiro, Cep: 23890-000

**Recebido para publicação em 2002.**

## INTRODUÇÃO

Os vegetais se utilizam do processo fotossintético para formação e manutenção da vida no aspecto mais amplo da fisiologia, bioquímica, morfologia e anatomia. Mediante a presença de luz a planta transforma  $\text{CO}_2$  e  $\text{H}_2\text{O}$  em substâncias energéticas. A quantidade fotossintética disponível, o padrão de distribuição do incremento, ou seja, a formação de tecidos novos em diferentes partes da árvore (tronco, ramos, folhas, raízes, etc) e a taxa de transformação de produtos armazenados que controlam o crescimento têm sido tratado com base nos estudos de crescimento por Baker (1950), que define três fatores, entre os quais depende o crescimento. Para ele, o crescimento de uma árvore pode ser compreendido em três estágios de desenvolvimento: estágio inicial ou jovem (de crescimento lento), estágio de incremento rápido (crescimento rápido) e estágio de maturação (crescimento lento e regressivo). Segundo Worbes (1995) para avaliar o crescimento de uma árvore a dendrocronologia utiliza-se de métodos e técnicas que possibilitam a datação de uma determinada árvore. Por exemplo, a partir da contagem e mensuração da largura dos anéis de crescimento é possível determinar a velocidade de crescimento das mesmas, bem como estimar a idade adequada de abate. Recentemente pesquisadores usaram a dendrocronologia como uma valiosa ferramenta para obter informação adequada ao manejo, conservação dos recursos naturais e também para avaliar a qualidade da madeira.

A aplicação da dendrocronologia tem auxiliado a climatologia e a ciência do solo. Pesquisas sobre a existência de anéis anuais em espécies lenhosa de zonas climáticas temperadas e semi-áridas vêm sendo executadas já algum tempo. Para determinadas espécies de regiões tropicais, existe a dificuldade de se determinar com exatidão a idade das árvores através dos anéis de crescimento, pois muitas vezes, esses anéis são indistintos, e mesmo quando aparentes podem não expressar a idade real da árvore. Devido a essa dificuldade de análise,

vários métodos e técnicas podem ser utilizados para facilitar os estudos relacionados ao crescimento de uma árvore.

Os vegetais como qualquer ser vivo, estão sujeitos às pressões do meio ambiente, quer sejam, nutricionais, climáticas, atmosféricas ou de natureza desconhecida, que afetam os mecanismos de produção de biomassa. As flutuações climáticas as quais as plantas estão sujeitas podem ser diagnosticada através da formação de anéis anuais de crescimento e tem grande importância de caráter informativo. Ferraz (1996) comparando as variações de densidade da madeira, ou a largura dos anéis com os registros pluviométricos observou uma forte correlação entre eles. Importantes fatores de impacto de origem sazonal como baixa temperatura no inverno em zonas temperadas, seca e inundação nos trópicos conduzem às plantas a inatividade fisiológica atribuída a dormência cambial tendo como consequência a formação de zonas de crescimento morfológica e quimicamente diferenciadas.

Segundo Worbes (1995), um período de seca anual com uma extensão de dois para três meses e uma precipitação mensal inferior a 60 mm são capazes de induzirem a formação de anéis no lenho de árvores tropicais. A formação de dois anéis por ano foi registrada por Jacoby (1989) e Gourlay (1995) em madeiras de árvores crescidas em regiões com duas estações secas no Leste da África. Um caso extraordinário é formação de anéis anuais causados por inundação anual de grandes rios nos trópicos, tais como, Rio Amazonas e Rio Negro (Worbes, 1985 e 1989). Segundo o mesmo autor, o longo período de duração da inundação e elevação do nível do espelho d'água resultam em condições de anoxia sobre os sistemas radiculares de plantas de contorno. Para ele, a redução da atividade da raiz e o déficit hídrico podem provocar a dormência cambial e consequentemente a formação dos anéis de crescimento.

Deste modo, este trabalho, apresenta uma revisão sobre os vários métodos que podem ser utilizados na identificação dos anéis de crescimento,

e desta forma, determinar a sistemática de crescimento de plantas que crescem em regiões tropicais.

## **1 Métodos para Investigação do Ritmo de Crescimento em Árvores Tropicais**

### **1.1 Método Dinâmico**

#### **1.1.1 Análise por Investigação Fenológicas**

Killmann & Hong (1995) definem fenologia como estudo de fenômenos que ocorrem periodicamente, tal como troca de folhas, flores e frutos e que podem ser visualmente detectado. Worbes (1995), destaca que observações fenológicas conduz a um primeiro diagnóstico do ritmo de crescimento de uma espécie arbórea. As características fenológicas são muito utilizadas quando se deseja avaliar as características de vegetação, tais como: floresta permanente, semi-decídua e decídua, associada a grande escala de zonas climáticas. Ela fornece informações sobre as diferentes estratégias de crescimento adotadas pelas espécies decíduas e não decíduas que vivem em um mesmo ecossistema (Franco, 1979). A queda das folhas em árvores dos trópicos está correlacionada com a ocorrência da estação seca, até mesmo se períodos de baixa precipitação não são diagnosticados durante todo o ano (Medway, 1972). Em florestas de planícies inundadas, por exemplo, a queda máxima de folhas ocorre dentro do período de inundação. Há registro de que durante a estação seca, no período livre de inundação, ocorre também queda de folhas.

As observações fenológicas são de grande utilidade para localizar um período de estacionamento de crescimento, a partir do qual produz uma certa característica anatômica que caracteriza a dormência ou a diminuição do ritmo de crescimento. Para se obter resultados com confiabilidade, as observações fenológicas devem ser acompanhadas da análise dos anéis de crescimento, que é feita mediante a retirada de pequenas amostras, através de um trado (método não-destrutivo), que permite quantificar essas observações.

#### **1.1.2 - Análise por Dendrômetro de Faixa**

O dendrômetro de faixa, têm sido utilizado como monitor e registra o crescimento de árvores praticamente em todas as escalas de tempo, de hora em hora e anualmente. O objetivo principal de sua utilização é obter um grande conhecimento das interações entre os mecanismos fisiológicos e ambientais, por exemplo, se o crescimento durante uma semana muito fria, está sendo grande, retardado ou nulo. Ele, é um aparelho que se constitui de uma fita metálica graduada (fita diamétrica ou fita métrica), com uma abertura regulável para diversos diâmetros das árvores. Esse aparelho fixado no tronco da árvore viabiliza o diagnóstico do crescimento contínuo em diâmetro (permite verificar seguidamente as variações da circunferência com uma precisão de 0,2 mm) e vislumbra a atividade cambial da mesma ao longo do(s) ano(s).

A comparação dos resultados com a mensuração dos dados climáticos da região resultam em informações que possibilita traçar o ritmo de crescimento de uma determinada árvore. Segundo Worbes (1995) a mensuração dendrométrica de diferentes árvores na floresta do caparaó (situado ao oeste do pantanal, na Venezuela), mostrou que as espécies decíduas, tal como *Cedrela odorata* (Meliaceae), teve um longo período de dormência cambial durante o período seco, embora espécies não caducifólias, tal como *Cordia alliodora* (Boraginaceae), apresentou um crescimento mais constante, com apenas uma pequena interrupção no processo de crescimento.

#### **1.1.3 - Ferimento Cambial**

A técnica do ferimento cambial foi desenvolvida por Mariaux (1967) e prevê exata informação do ritmo de crescimento. Este método consiste em provocar ferimentos no cambio de alguns centímetros quadrados, denominados de “Janelas de Mariaux”. Na árvore, ao nível do DAP, com uma serra bem fina, faz-se dois cortes paralelos, separados 25mm um do outro e delimita-se o retângulo a ser retirado. Os cortes devem ser suficientemente profundo, ultrapassando a casca e penetrando

dentro da madeira. Em seguida, é feita uma segunda incisão, aproximadamente 1cm de distância da primeira, formando uma lingueta vertical de cada lado da casca. No momento da retirada da lingueta, o pedaço de madeira deve estar aderente a casca. São realizadas no mínimo duas janelas a cada período pré-determinado, feitas à mesma altura na árvore, a uma certa distância uma da outra. Essa operação deixará na madeira uma cicatriz onde a data será conhecida. Mesmo se a madeira demonstrar tendência a se necrosar ligeiramente antes que a almofada cicatricial a proteja, os lados da ferida, determina com um bom grau de precisão o limite entre a madeira formada antes e depois da intervenção. Utilizando das cicatrizes feitas em períodos determinados, torna-se possível, pela observação de uma seção transversal do tronco determinar com precisão o respectivo incremento periódico. Incisões feitas em diferentes estações durante o ano, pode dar informação sobre a formação de diferentes tecidos que depende das condições climáticas correspondente. Por exemplo em *Cedrela odorata*, uma faixa de tecido parenquimático foi formado, após o ferimento, no começo do período seco (Worbes,1995) .

Mariaux (1969), estudando a periodicidade dos anéis na madeira de limba (*Terminalia superba* Engl. & Diels), decidiu praticar uma única incisão anualmente, no período de maior chance de resposta da árvore, a principal estação seca, e que para a limba corresponde o período de queda das folhas.

#### **1.1.4 - Mensuração da Atividade Cambial com Uma Shigometer**

A Shigometer é um aparelho utilizado para medir a resistência elétrica de uma determinada zona cambial. Mensuração da resistência elétrica da zona cambial com uma shigometer tem sido usado para descrever a atividade cambial (Shigo & Shortle, 1985). De acordo com Worbes (1995), mensuração feita com uma shigometer em árvores que cresciam em floresta inundada da Amazônia mostrou pequena atividade cambial (igual a alta resistência elétrica), durante o período de inundação quando

comparado ao período sem inundação. De qualquer maneira, a atividade cambial aumenta, aparentemente, no final do período de inundação. Durante este período as árvores florescem e frutificam. Os valores de baixa resistência elétrica no final do florescimento refletem possivelmente a mobilização de carboidratos dos tecidos de armazenamento do xilema. Embora a utilização do shigometer prever uma boa indicação da atividade cambial, mais investigações são necessárias para uma correta interpretação dos resultados.

### **1.2 Método Estático**

As técnicas de análise descritas acima dão uma primeira indicação do ritmo de crescimento das árvores. Quando se quer obter informação adicional como a razão de crescimento e interpretação do comportamento de crescimento em conexão com fatores ecológicos, é necessário investigar a estrutura dos anéis, usando para isso outras técnicas dendrocronológicas. Problemas como zonas de crescimento parcialmente indistintas e junção de anéis, freqüentemente requer a investigação de discos retirados da árvore. A análise do crescimento é apenas possível em espécies arbóreas com anéis bem distintos e que apresentam formação concêntrica, como por exemplo em *Cedrela odorata*, *Tectona grandis*, ou algumas espécies de coníferas. Em todos os casos, a superfície das amostras de madeira deve ser preparada adequadamente, com intuito de aumentar a visibilidade do incremento da zona de crescimento. O melhor resultado é encontrado após lixamento do disco de madeira, com uma lixa de granulação do tipo 400-600 grana. O umidecimento também melhora o contraste e destaca os limites dos anéis.

#### **1.2.1 Anatomia da Madeira**

O estudo anatômico da madeira se faz necessário quando se deseja definir a estrutura das zonas de crescimento e limite do anel. Segundo Coster (1927-1928), citado por Worbes (1989) é possível definir quatro tipos básicos de formação de anéis de crescimento:

a) Na maioria dos casos em que o limite da zona de crescimento é marcada por várias fileiras de fibras com diâmetro radial curto e paredes espessas. A diminuição do diâmetro das fibras e espessamento das paredes é responsável pela diferença de densidade do lenho inicial e do lenho tardio na madeira. Exemplos distintos deste tipo pode ser encontrado em Anonaceae, Lauraceae, Euphorbiaceae e outras famílias.

b) Limites formados por faixas de parênquima marginal unisseriado e multisseriado, com células muitas vezes preenchidas com várias substâncias amorfas e cristalinas. Isto pode ser observado em muitas Leguminosae e Euphorbiaceae.

c) Várias famílias apresentam uma zona de crescimento que é caracterizada pela alteração no espaçamento das faixas tangenciais de um parênquima axial. Em Sapotaceae, Moraceae, Euphorbiaceae e Lecithidaceae, uma larga faixa de tecido fibroso marca o início de uma zona de crescimento.

d) Algumas árvores tropicais apresentam estrutura de anéis porosos, ou seja, concentração ou maior dimensão dos poros no início do período vegetativo. Exemplo *Cedrela fissilis*, Meliaceae.

Segundo Burger & Richter (1991), o alargamento dos raios nos limites dos anéis de crescimento (aspecto apenas visível sob microscópio) também auxilia na definição do anel de crescimento.

As características descritas acima freqüentemente ocorrem em diferentes combinações, dependendo da estrutura específica da madeira de uma determinada espécie. Particulares tipos de anéis são freqüentes em certas famílias. Por exemplo, a zona de crescimento de todas as Leguminosae são separadas por faixa de parênquima marginal, embora, em várias espécies, pode-se encontrar estrutura adicional na formação da zona de crescimento. Segundo Worbes (1989) muitos trabalhos dendrocronológicos ficam impedidos de serem realizados, pelo fato da estrutura da madeira variar consideravelmente dentro de uma espécie dependendo das condições

de crescimento da árvore. Estudo feito pelo mesmo autor em espécie de *Piranthea trifoliata*, mostrou que a espécie apresenta distinta zonas de crescimento quando jovem, sendo que essas zonas correspondem ao crescimento do tipo b e c, descrito acima. Porém, a mesma espécie apresentou anéis indistintos em madeira de uma árvore velha que cresceu em uma floresta densa de altitude e que raramente tinha sido inundada.

### 1.2.2 - Contagem de Anéis

A contagem dos anéis também é adotada como técnica para determinação da idade. A partir de uma comparação entre o número de anéis e a idade da árvore é possível comprovar a natureza periódica do anel. Portanto, determinação precisa da idade da árvore através da contagem de anéis somente é possível para árvores, onde se tem conhecimento da época de plantio, árvores de jardins Botânicos e algumas vezes para árvores de florestas natural, quando no local existe pessoas que fornecem informações seguras (Worbes, 1995).

### 1.2.3 - Datação por Radiocarbono

A técnica de radiocarbono tem sido considerada uma ferramenta segura para datação de zonas de crescimento, quando não é possível o uso de ferimento cambial. Os testes feitos com armas nucleares nos anos de 1950 e inícios de 1960, fizeram com que grandes quantidades de radiocarbono fossem adicionadas na atmosfera. Esta entrada artificial de  $^{14}\text{C}$  causou um aumento da razão  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  no  $\text{CO}_2$  atmosférico. As 404 explosões nucleares realizadas acima do solo no ano de 1960 quase dobrou o nível de  $^{14}\text{C}$  na atmosfera, ocasionando um substancial desequilíbrio de  $^{14}\text{C}$  entre atmosfera, biosfera e superfície dos oceanos. Após a proibição de testes nucleares, o nível de  $^{14}\text{C}$  diminuiu constantemente devido o processo de transferência para superfície dos oceanos e a assimilação de radiocarbono pelas plantas. Desta forma, os testes nucleares podem ser usados como um traço artificial para datar árvores ou material orgânico de qualquer parte do globo terrestre e que viveu naquela época.

Rafter & O' Brien (1970); Nydal & Lövseth (1983) e Levin et al. (1985), determinaram o nível de radiocarbono no ar em diferentes latitudes entre os anos de 1955-1980 e obtiveram uma curva do nível de radiocarbono presente na atmosfera. A comprovação da periodicidade do crescimento é feita pela diferença na concentração de radiocarbono da amostra de madeira em comparação com a curva do nível de radiocarbono presente na atmosfera, permitindo a datação da amostra e se os anéis são anuais. Worbes & Junk (1989), estudando dois discos de *Swartzia laevicarpa* e *Rourea* sp., que foram seccionados anel por anel para compilar uma série anual contínua do conteúdo de radiocarbono presente na madeira no período de 1952 a 1982, pode concluir que o conteúdo de radiocarbono dos anéis acompanhavam o conteúdo de carbono da atmosfera e comprovou a existência de anéis anuais em árvores de floresta inundada da Amazônia.

#### **1.2.4 - Cicatrizes Provocadas por Fogo**

Anéis indicadores são zonas de crescimento com notáveis propriedades que os diferenciam de outros anéis adjacentes. Pequenos anéis conspicuos ou anéis largos, assim como anel com densidade oscilante, podem ser classificados como um indicador de idade. A ocorrência de indicadores de idade possibilita o cruzamento de dados de diferentes amostras, devido os anéis serem formados em resposta a um evento externo que afetou todas as árvores do mesmo modo. Portanto, cicatrizes naturais que ocorrem na madeira como resultados de injúrias cambial, também podem ser utilizadas como indicadores de idade. Investigações realizadas na Venezuela, que tinham sido freqüentemente afetadas pelo fogo, mostraram numerosas cicatrizes provocadas pelo mesmo (Worbes, 1996). Essas cicatrizes podem aparecer em algumas árvores, como injúrias mecânicas na madeira, porém, outras árvores quando atacadas pelo fogo podem reagir formando faixas de parênquima traumático (canais traumáticos), provavelmente induzido por injúrias no anel. Juntamente com os dados sobre o fogo, as

cicatrizes servem para datar as zonas de crescimento adjacentes.

#### **1.2.5 Análise da Largura dos Anéis**

Esta técnica é freqüentemente utilizada em plantas de zonas temperadas. A mensuração da largura dos anéis, geralmente é feita com ajuda de uma lente objetiva e de uma mesa de medição. O padrão da largura do anel difere individualmente, até mesmo em árvores da mesma espécie, quando o crescimento é influenciado por fortes fatores ou eventos climáticos. Pela comparação do padrão da largura do anel entre árvores e fragmentos de madeira existente em uma determinada área é possível descobrir o ano em que cada anel foi formado, tanto em árvores vivas, como em árvores mortas. Segundo Eckstein et al (1981), citado por Worbes (1995), as curvas da largura dos anéis de crescimento (crossdating ou datação cruzada), dá a primeira indicação da oscilação externa, que desencadeou o ritmo de crescimento. A comparação de uma série dessas diferentes curvas, possibilita traçar um crossdating médio (curva média da largura dos anéis), capaz de identificar um padrão único de anéis largos e estreitos (Pilcher, 1990). Essas curvas médias dos anéis crossdated podem ser utilizadas para uma espécie ou em outras espécies, desde que as mesmas apresentem o mesmo padrão de crescimento. Segundo Cook & Briffa (1990) para comparação dessas curvas com eventos climáticos, a curva de largura dos anéis pode ser transformada em uma curva índice. Segundo Jacob & D' Arrigo, 1990, citado por Worbes (1995), a partir de um somatório mensal da precipitação, é possível construir uma série de tempo de dados mensais de precipitação que podem ser comparados com a série de tempo dos anéis de árvore por análise de regressão, e mostrar a influência de uma simples precipitação mensal na largura do anel. Berlage (1931), mostrou boa correlação entre o comprimento da estação seca e a variação da largura dos anéis em *Tectona grandis*, de Java. A duração do período seco pôde ser estimado indiretamente da precipitação mensal durante a estação seca e a

estação chuvosa.

Segundo Worbes (1989), os problemas enumerados abaixo, restringem a utilização deste método para árvores oriundas de região tropical.

a) Em muitas espécies arbóreas, uma zona de incremento pode variar sua largura consideravelmente em diferentes regiões do tronco, fazendo com que resultados da mensuração da largura do anel possa ser diferente, dependendo do raio selecionado.

b) Em árvores velhas, raio mais curto observado em seção do tronco, mostra um pequeno número de anéis quando comparados a um raio comprido, pois vários anéis são perdidos.

### 1.2.6 Densitometria por Raio X

O Raio X é uma onda eletromagnética de comprimento da ordem de  $1\text{Å}$  e foi descoberta por Röntgen em 1895. Por ser o Raio X uma onda eletromagnética, não possui carga elétrica e nem massa. Segundo Tipler (1995) o que Röntgen observou foi que um determinado elétron, ao perder velocidade de forma brusca, emita uma radiação. Por desconhecer sua natureza Röntgen denominou essas radiações de Raio X. Assim, uma das maneiras de produzir o Raio X é provocar uma desaceleração de elétrons por meio de barreiras ou alvos. Este fenômeno ocorre geralmente para 1% dos elétrons desacelerados, sendo que 99% destes contribuem apenas para elevar a temperatura do alvo. O instrumento capaz de produzir este efeito é chamado de *Tubo de Raio X* e a radiação produzida é também denominada de radiação de freamento ou radiação *Bremsstrahlung*.

A densitometria de Raio X foi originalmente aplicado para espécies tropicais para identificar o limite dos anéis, quando os mesmos ficavam difíceis de serem observados microscopicamente. Este método baseia-se na diferença de densidade entre o lenho inicial e o lenho tardio. Segundo Gourlay (1995), embora a densitometria de Raio X auxilie na determinação dos anéis de crescimento, a metodologia não conseguiu produzir imagens precisas que possibilitassem a determinação exata

da idade de *Acacia* sp. Isto porque *essa espécie* possui uma madeira de densidade alta e presença de goma, que contribuíram para a não definição do anel de crescimento.

Vetter & Batosso (1989), observando anéis de espécies arbóreas de florestas de terra firme, da região Norte do Brasil, através do método de densitometria de Raio X, raio-gama e datação por radiocarbono, concluiu que a aplicação da técnica de densitometria de Raio X na seção transversal de algumas espécies não apresentou nenhum resultado satisfatório quando comparado a anatomia da madeira e mensuração dendrométrica.

Este resultado é devido a complexa estrutura de madeiras de alta densidade, que apresentam zonas fibrosas alternadas com parênquima e vasos, causando oscilações rápidas nas variações da densidade inter-anelar, que são muitas vezes, não distinguíveis das variações da densidade no limite do anel. De numerosas investigações feita em zona temperada tornou-se conhecido que a série anual de variação da densidade da madeira, contém um forte sinal climático. Por isso, foi construído um equipamento para mensurar a densidade, que permite a direta observação do limite do anel, a partir de fotografia de Raio X (Worbes, 1995).

### 1.2.7 Densitometria por Raio $\gamma$

Sendo também uma onda eletromagnética a radiação gama possui as mesmas características e propriedades do Raio X. A diferença básica entre esses dois tipos de radiação está na sua origem, ou seja, na maneira como são produzidas. A radiação gama se origina no núcleo atômico. Na natureza a maioria dos átomos dos elementos químicos encontram-se na forma estável. Porém, alguns átomos, principalmente de elementos de massa atômica elevada como o rádio, o tório, o urânio, dentre outros, são isótopos radioativos. Por exemplo, alguns isótopos radioativos emitem radiação gama com altíssimas energias, como os casos do  $^{60}\text{Co}$  e o  $^{137}\text{Cs}$ . Essas radiações possuem grande poder de penetração no meio material,

necessitando, em laboratório, quase sempre da utilização de blindagens especiais com chumbo. Os isótopos radioativos, sofrem transformação espontânea e um elemento se transforma em outro elemento. Este processo é denominado de desintegração radioativa ou decaimento radioativo.

A desintegração radioativa consiste na emissão de uma partícula do núcleo do átomo que pode ser uma partícula alfa ou beta. Em muitos casos, as emissões das partículas carregadas do núcleo vem acompanhadas de emissão de radiação gama, e os novos elementos formados, muitas vezes são também radioativos. Geralmente se tem várias transformações radioativas até atingir um nuclídeo estável.

Os isótopos radioativos podem ser utilizados para várias finalidades. Através da radiação gama do  $^{137}\text{Cs}$  vários pesquisadores conseguiram localizar pontos de podridão interna em árvores em pé, defeitos internos, determinaram densidade, umidade e qualidade da madeira. Um dos primeiros a utilizar isótopos radioativos no controle da qualidade da madeira foi Lakatos (1956), citado por Ferraz (S/D), que observou a relação entre a densidade e a atenuação da radiação gama.

Esse método apresenta diversas limitações, devido a alta energia da radiação gama do  $^{137}\text{Cs}$  (600 KeV) em comparação com a baixa densidade do material (madeira). Parrish (1961), citado por Ferraz, estudando tal limitação, testou vários isótopos radioativos com radiação gama de energias diferentes e recomendou aqueles cujas energias variam de 23 KeV e 135 KeV. Ferraz (1974), estudando a determinação simultânea de densidade e umidade do solo, trabalhou com fontes de  $^{241}\text{Am}$ , e percebeu as vantagens de suas utilização na determinação da densidade de madeiras.

Rezende et.al (1998) em seu trabalho sobre a variação da massa específica de *Eucalyptus grandis* aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade, descreve detalhadamente o método de atenuação da radiação gama do Amerício - 241. Neste método, as amostras de madeira são acionadas ao longo de um feixe de radiação gama e

a massa específica pode ser então determinada pela absorção diferenciada desta radiação. Quanto maior a massa específica, maior será a absorção e tanto menor será a quantidade de radiação que atravessa o meio absorvedor. A massa específica da madeira é então determinada por uma equação, adaptada da Lei de Beer-Lambert, com as correções previstas devido ao tempo morto do sistema eletrônico. Para correta utilização do método, dois cuidados são essenciais: o perfeito paralelismo entre as duas faces perpendiculares e o feixe de radiação, e o teor de umidade da amostra. O paralelismo se obtém, serrando e lixando a amostra com cuidado, e fazendo medições com paquímetro, com precisão considerável (1/10 mm). O valor absoluto da espessura (x) não é crítico, podendo ser qualquer um no intervalo de 30 a 80 mm, para as amostras mais comuns de madeira. A secagem da amostra também é importante. Quando não for possível a completa secagem da amostra, é possível utilizar-se do método, com igual sucesso, para umidades em torno de 10% em volume, desde que se conheça exatamente o seu valor, pois a água também concorrerá para atenuação da radiação, devendo portanto ser considerada.

### 1.2.8 - Isótopos Estáveis

Isótopos naturais são átomos (nuclídeos) cujo núcleo têm o mesmo número de prótons (Z) e diferentes números de nêutrons (N), conseqüentemente, terão números de massa (A) diferentes. Por exemplo o elemento químico hidrogênio têm os isótopos  $^1\text{H}_1$  (prótio ou hidrogênio comum),  $^2\text{H}_1$  (deutério ou hidrogênio pesado) e  $^3\text{H}_1$  (trítio ou hidrogênio superpesado), sendo o último, radioativo.

Os isótopos estáveis de elementos leves ( $^2\text{H}_1$ ,  $^{10}\text{B}_5$ ,  $^{13}\text{C}_6$ ,  $^{15}\text{N}_7$ ,  $^{18}\text{O}_8$  e  $^{34}\text{S}_{12}$ ) ocorrem na natureza em concentrações mais baixas que seus homólogos ( $^1\text{H}_1$ ,  $^{11}\text{B}_5$ ,  $^{12}\text{C}_6$ ,  $^{14}\text{N}_7$ ,  $^{16}\text{O}_8$  e  $^{32}\text{S}_{12}$ ) e por possuírem maior número de massa, com exceção do boro, são denominadas de isótopos pesados. Os isótopos pesados possuem comportamento químico muito próximo ao daqueles de maior abundância natural.

Assim, são usados como traçadores em diferentes áreas da ciência, tanto com o uso de compostos contendo o elemento de interesse, com razão isotópica diferente daquela de ocorrência natural (compostos enriquecidos ou empobrecidos no isótopo pesado), como através do uso de variações na razão isotópica natural ( $^2\text{H} / ^1\text{H}$ ,  $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ ,  $^{15}\text{N} / ^{14}\text{N}$ ,  $^{18}\text{O} / ^{16}\text{O}$  e  $^{34}\text{S} / ^{32}\text{S}$ ). A principal técnica de análise para isótopos estáveis é a espectrometria de massas, existindo outras técnicas, como a espectrometria de emissão (SEM) para a análise de abundância isotópica de  $^{15}\text{N}$ .

Em madeira, Worbes (1995), estudou a variação da concentração de isótopos estáveis em anéis de árvores da zona temperada que tinha sido traçado no passado pela variação no clima. A variação anual de deuterium (D) e  $^{13}\text{C}$  em anéis de *Swartzia laevicarpa* da planície inundada da Amazônia mostraram uma não correlação com o padrão de inundação. Houve também uma baixa correlação entre a flutuação de Deuterium (D) no lenho tardio e a densidade do lenho tardio. A mensuração do conteúdo de isótopo estável na madeira é muito dispendiosa e consome muito tempo. Investigação mais básica para compreender a influência do clima, sobre isótopo nas plantas, se faz necessária, antes que a técnica seja usada para investigações climatológicas nos trópicos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

É grande o número de espécies arbóreas tropicais que apresentam anéis anuais, principalmente em regiões tropicais sujeitas a inundações ou estações bem definidas.

Os métodos dinâmicos, comparados com os métodos estáticos apresentam a vantagem de não necessitar a retirada de amostras (em discos) da madeira, permitindo assim, obter informação do ritmo de crescimento, sem a extração da árvore.

A determinação da idade e o ritmo de crescimento de uma árvore, com base nos na técnica de contagem e mensuração da largura dos anéis de

crescimento é fácil, rápida e não dispendiosa. Porém, existe limitação quando se faz a mensuração da largura do anel, haja vista, que uma zona de incremento pode variar em largura em diferentes regiões do tronco. O mesmo pode ocorrer com a contagem de anéis, pois a determinação da idade torna-se possível quando se tem informação precisa da época de plantio, ou em casos de floresta natural, a época em foi aberta a clareira.

As técnicas desenvolvidas para análise de crescimento (anatomia da madeira, ferimento cambial, cicatrizes provocadas pelo fogo, datação por radiocarbono, densitometria de Raio X, densitometria de raio gama e isótopo estável), requerem o uso de equipamentos sofisticados e de acordo com a técnica escolhida pode se tornar dispendiosa e demandar um maior período de tempo, a exemplo da análise de crescimento realizada através de isótopo estável.

Para informações detalhadas sobre a qualidade da madeira ao longo da amostra, ou seja, obtensões de medidas pontuais ou milimétricas, os métodos nucleares de densitometria de Raio-X e raio gama são mais indicados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKER, F. S. **Principles of Silviculture**. New York, Mcgraw Hill.414p, 1950.

BERLAGE, H. P. Over het Verband Tusschen de Dikte der Jaarringen Van Djatoboomen (*Tectona grandis* L. F.) en den Regenval op Java. **Tetona**, Vol 24:939-953, 1931.

BURGER, L. M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da Madeira**. Livraria Nobel, 15-23, 1991.

COOK, E.; BRIFFA, K. Data analysis. In: COOK E.R. & KAIRUIKSTIS L.A. (Eds), **Methods of dendrochronology, applications in the environmental sciences**: Kluwer Acad. Publ., Dordrechts, Boston, London, p. 97-162, 1990.

- FERRAZ, E. S. B. **Determinação Simultânea de Densidade e de Umidade de Solos por Atenuação de Raios Gama do  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{241}\text{Am}$** . Tese Livre-Docência. ESALQ – USP, p.17-27, 1974.
- FERRAZ, E. S. B. Anéis de Crescimento das Árvores Registram a Periodicidade do Clima. **Jornal Notícias Piracema**, ESALQ – Piracicaba p.3, 1996.
- FERRAZ, G. S. B & FILHO, M. T. Uso de Métodos Nucleares no Estudo da Qualidade da Madeira. In: Silvicultura – 3º Congresso Florestal Brasileiro. **Anais**. V. II:17-27, (S/D).
- FRANCO, W. **Die Wasserdynamik Einiger Waldstandorte der West Llanos Venezuelas und Ihre Beziehung Zur Saisonalität des Laubfalles**. Diss. Univ. Göttingen, 1979.
- GOURLAY, I. D. Growth Ring Characteristics of Some African *Acacia* Species. **Journal Bull.** Vol.11:121-140, 1995.
- JACOBY, G. C. Overview of Tree-Ring Analysis in Tropical Regions. **IAWA Journal Bull.** Vol. 10: 99-108, 1989.
- KILLMANN, W.; HONG, L. T. The Periodicity of Growth in Tropical Trees With Special Reference to Dipterocarpaceae. **IAWA Journal Bull.** Vol. 16:329-335, 1995.
- LEVIN, I.; KROMER, B.; SCHOCH-FISCHER, H.; BRUNS, M.; MÜNNICH, M.; BERDAU, D.; VOGEL, J.C. & MÜNNICH, O. 25 Years of Tropospheric  $^{14}\text{C}$  Observations in Central Europe. **Radiocarbon**, 27:1-9.
- MARIAUX, A. Les Cernes Dans les Bois Tropicaux Africains, Nature et périodicité. **Bois et Forêts des Tropiques**. Vol.114: 23-37, juillet-août, 1967.
- MARIAUX, A. La Périodicité Des Cernes Dans Le Bois De Limba. **Bois et Forêts des Tropiques**. Vol.128: 39-54, novembre-décembre, 1969.
- MEDWAY, F. L. S. Phenology of a Tropical Rainforest in Malaya. **Biol. J. Linn. Soc.** Vol. 4:117-146, 1972.
- NYDAL, R. & LÖVSETH, K. Tracing Bomb  $^{14}\text{C}$  in the atmosphere 1962-1980. **Journal of Geophysical Research**, 88:3621-3642.
- PILCHER, J. R. Sample preparation, cross-dating, and measurement. In: COOK E.R. & KAIRIUKSTIS L.A. (Eds), **Methods of dendrochronology, applications en the enviromental sciences**: Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, Boston, London, p.40-51, 1990.
- RAFTER, T. A. & O' BRIE, B. J. Exchange Rates Between the Atmosphere and Ocean as Shown by Recent  $^{14}\text{C}$  Measurements in the South Pacific. In: OLSSON I. U. (Ed.) **Radiocarbon and Absolute Chronology**, Almquist and Wiksell, Stockholm, Sweden: 355-375.
- REZENDE, M. A.; SAGLIETTI, J. R. C.; CHAVES, R. Variação da Massa Específica da Madeira de *Eucalyptus grandis*, aos 8 anos de idade em função de diferentes níveis de produtividade. **Scientia Forestalis**. Vol. 53:7-78, 1998.
- SHIGO, A. L.; SHORTLE, W. C. Shigometry: A reference guide. **Agriculture handbook**, nº 646:3 - 48, 1985.
- TIPLER, P. **Ótica e Física Moderna**. Editora Guanabara Koogan S.A, 185-186, 1995.
- VETTER, R.; BATOSSO, P. C. Remarks on Age and Growth Rate Determination of Amazonian Trees. **IAWA Bull.**, Vol. 10(2):133-145, 1989.
- WORBES, M. Structural and Other Adaptations to Long-term Flooding by Trees in Central Amazonia. **Amazoniana**, Vol.9:459-484, 1985.
- WORBES, M. Growth Rings, Increment and Age of trees in Inundation Forests, Savannas and a

Mountain Forest in the Neotropics. **IAWA Bull.**, Vol.10(2):109-122, 1989.

WORBES, M. & JUNK, W.J. Dating tropical Trees by Means of  $^{14}\text{C}$  from Bomb Tests. **Ecology**, Vol.70(2):503-507, 1989.

WORBES, M. How to Measure Growth Dynamics in Tropical Trees. **IAWA Journal**, Vol 16 (4):337-351, 1995.

WORBES, M. The Forest Ecosystems of the Floodplains. In: Junk, W. J. (Ed.): **The Amazonian Flood plains: Ecology of a pulsing System**. Ecological Studies, 126, springer: 223-265, 1997.