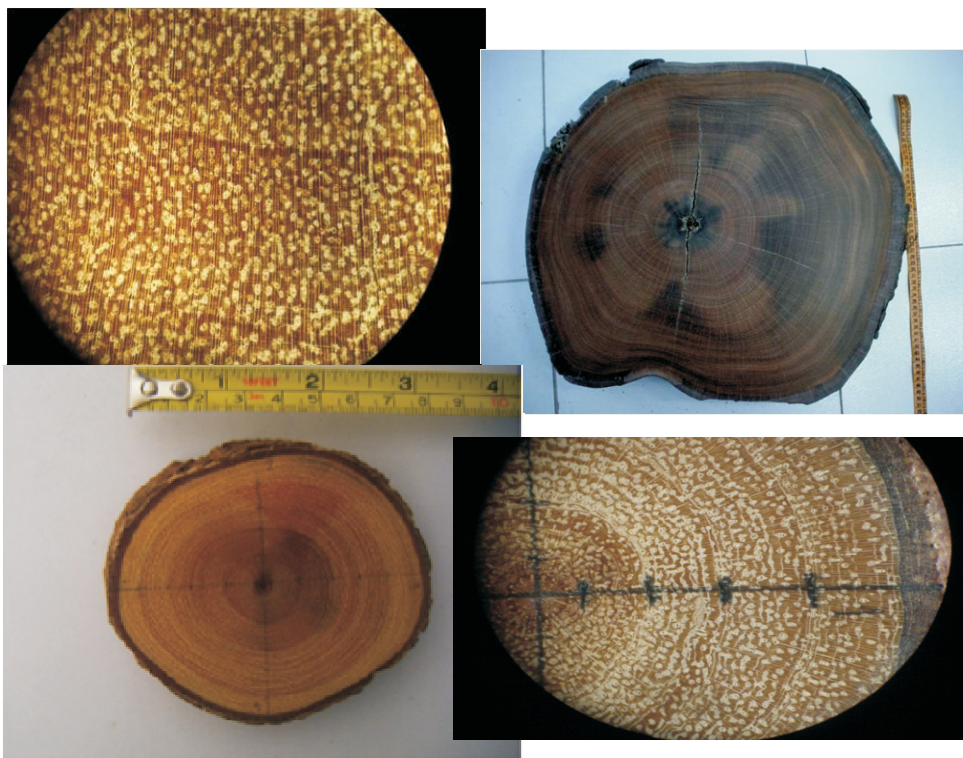


Anais da reunião técnica: anéis de crescimento e clima

11 de junho de 2012

Colombo, Paraná, Brasil



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Florestas
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 236

Anais da reunião técnica temática: anéis de crescimento e clima

11 de junho de 2012

Colombo, PR, Brasil

Patrícia Póvoa de Mattos
Evaldo Muñoz Braz
(Editores técnicos)

Embrapa Florestas
Colombo, PR
2012

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, Km 111, Guaraituba,
83411-000, Colombo, PR - Brasil

Caixa Postal: 319

Fone/Fax: (41) 3675-5600

www.cnpf.embrapa.br

sac@cnpf.embrapa.br

Comitê Local de Publicações

Presidente: Patrícia Póvoa de Mattos

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Álvaro Figueredo dos Santos, Antonio Aparecido
Carpanezi, Claudia Maria Branco de Freitas Maia, Dalva Luiz
de Queiroz, Guilherme Schnell e Schuhli, Luís Cláudio Maranhão
Froufe, Marilice Cordeiro Garrastazu, Sérgio Gaiad

Supervisão editorial: Patrícia Póvoa de Mattos

Revisão de texto: Patrícia Póvoa de Mattos

Normalização bibliográfica: Francisca Rasche

Editoração eletrônica: Rafeale Crisóstomo Pereira

Foto da capa: Vitor Dressano Domene

1ª edição

Versão digital (2012)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Florestas

Reunião técnica temática : anéis de crescimento e clima (2012 : Colombo, PR).

Anais da reunião técnica temática : anéis de crescimento e clima, Colombo, PR, 11 de junho de 2012 [recurso eletrônico] / editores técnicos, Patrícia Póvoa de Mattos e Evaldo Muñoz Braz. – Dados eletrônicos. - Colombo : Embrapa Florestas, 2012.

(Documentos / Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958 ; 236)

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web:

<<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc236.pdf>>

Título da página da Web (acesso em 01 set. 2012)

1. Iniciação científica - Embrapa Florestas - Evento. 2. Fisiologia vegetal. 3. Clima. 4. Tree rings and Climate. I. Mattos, Patrícia Póvoa de, ed. II. Braz, Evaldo Muñoz, ed. III. Série.

CDD 001.44 (21. ed.)

Editores técnicos

Patrícia Póvoa de Mattos

Engenheira-agrônoma, Doutora
Pesquisadora da Embrapa Florestas
povoa@cnpf.embrapa.br

Evaldo Muñoz Braz

Engenheiro florestal, Doutor
Pesquisador da Embrapa Florestas
evaldo@cnpf.embrapa.br

Apresentação

Essa reunião técnica foi proposta como um desafio aos alunos, que estão envolvidos em seus estágios de graduação ou projetos de mestrado ou doutorado, para fortalecimento da base teórica do tema de pesquisa. Nessa segunda edição, cada aluno se responsabilizou por estudar e repassar aos colegas o conteúdo de um capítulo do livro "Tree Rings and Climate", de Fritts (1976).

Foi verificado um efeito altamente positivo, pelo compartilhamento dos temas complexos relacionados ao crescimento das árvores e sua relação com o clima, abordados em um livro de leitura obrigatória, por alunos e pesquisadores interessados em ingressar na área da dendrocronologia.

Patrícia Póvoa de Mattos

Sumário

Programa.....	09
Dendrocronologia e dendroclimatologia	10
Crescimento e estrutura.....	15
Processos fisiológicos básicos: movimento de materiais e relações hídricas.....	22
Processos fisiológicos básicos: síntese de alimentos e assimilação de constituintes celulares	27
O Sistema clima-crescimento	35
Estatísticas dos anéis de crescimento e dados climáticos	43
Calibração de modelos de relação dendrocronologia-clima	50
Interpretação das calibrações climáticas, reconstrução e verificação	57
Reconstruindo as variações espaciais do clima	61

Programa

Reunião técnica temática: anéis de crescimento e clima

Local: Auditório da ACN - Embrapa Florestas, Colombo, PR

Data: 11 de julho de 2012

Horário	Atividade	Palestrante
08:00 - 08:30	Abertura e apresentação dos participantes	Patrícia Póvoa de Mattos
08:30 - 09:00	Dendrocronologia e dendroclimatologia	Roger Sousa Fiusa
09:00 - 09:30	Crescimento e estrutura	Aline Canetti
09:30 - 10:00	Processos fisiológicos básicos: movimento de materiais e relações hídricas	Mariana Ferraz de Oliveira
10:00 - 10:30	Intervalo	
10:30 - 11:00	Processos fisiológicos básicos: síntese de alimentos e assimilação celular	Pollyni Ricken
11:00 - 11:30	O sistema clima-crescimento	Bruna Denardin da Silveira
11:30 - 12:00	Estatísticas dos anéis de crescimento e dados climáticos	Veridiana Padoin Weber
12:00 - 13:00	Almoço	
13:00 - 13:30	Calibração	Camila Castilla Ruy
13:30 - 14:00	Interpretação das calibrações climáticas, reconstrução e verificação	Vitor Dressano Domene
14:00 - 14:30	Reconstruindo variações espaciais no clima	Andreia Taborda dos Santos
14:30 - 15:00	Intervalo	
15:00 - 17:00	Debate: espécies tropicais e subtropicais	Moderadores: Patrícia Póvoa de Mattos e Evaldo Muñoz Braz

Dendrocronologia e dendroclimatologia

Roger Sousa Fiusa

Graduando em Engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná,
rogerfiusa@yahoo.com.br

A idade de uma árvore da floresta temperada pode ser estimada pela contagem dos anéis de crescimentos da parte inferior do fuste, sendo que os padrões destes anéis, estreitos e largos, podem ser comparados entre árvores para definir o exato ano em que o anel foi formado. Comparando fragmentos de madeira de idade desconhecida com anéis de crescimento de árvores vivas, pode-se identificar o ano em que ocorreu algum evento como terremoto, deslizamento, erupção vulcânica, fogo, ou mesmo estimar quando a árvore foi cortada, pelo registro histórico de alguma construção em madeira no passado. Estes eventos também possibilitam confirmar que o crescimento é frequentemente afetado pelas variações climáticas, como disponibilidade hídrica, temperaturas limitantes, entre outros fatores.

A datação cruzada é o procedimento de comparação do padrão dos anéis, e é usado para confirmar o ano exato em que cada anel foi formado. É utilizada também para identificar falsos anéis e anéis ausentes.

Dendroclimatologia é um ramo da dendrocronologia que possibilita reconstruir o clima do passado através das informações climáticas registradas durante o crescimento das árvores nos anéis de crescimento. Estas informações possibilitam determinar como foi o clima no passado e estimar como será no futuro. Os três passos para esta reconstrução do clima do passado são: 1) comparar séries históricas de dados climatológicos com a largura dos anéis produzidos no mesmo período de tempo; 2) estabelecer uma

equação estatística para a relação entre os dois; e 3) substituir as larguras dos anéis datados na equação e obter uma estimativa para os anos anteriores.

Andrew Ellicott Douglass, reconhecido como o pai da Dendrocronologia, começou sua carreira como um afiliado ao Harvard College Observatory e em 1894 viajou para Flagstaff, Arizona, onde se tornou o primeiro assistente do diretor do Observatório Astronômico Lowell. Por volta de 1901, estudando as florestas do Arizona, percebeu que as árvores eram largamente espaçadas, enquanto em New England estas eram mais densas e com sub-bosque. Observou, então, que o crescimento das florestas em New England era influenciado principalmente pelo sombreamento e competição dentro da floresta, e no Arizona influenciado pela umidade. Anéis estreitos estão relacionados a anos mais secos, o que pode facilitar a descoberta de um longo histórico do clima com fontes mais confiáveis. Em 1911, após ter identificado um padrão de anéis largos e estreitos, com a datação cruzada, Douglass reconheceu que este procedimento poderia ser aplicado em áreas onde o anel de crescimento é frequentemente limitado pelo clima, apresentando maior variabilidade de largura entre anéis. Em 1914, construiu uma composição cronológica de quase 500 anos dos anéis de *Pinus ponderosa* que, após 15 anos com outros estudos de dendrocronologia, se estendeu para 1237 d.C. Até o final de sua carreira ele havia contribuído com cronologias de 700 d.C. a 1929 d.C. Por fim, aos 70 anos, Douglas inaugurou em Tucson, Arizona, o primeiro laboratório de pesquisa exclusivo para o estudo de anéis de crescimento.

Existem subáreas dentro da dendrocronologia como dendroclimatologia, dendroecologia, dendrohidrologia, entre outras. Pelos estudos dendrocronológicos é possível fazer prognoses climáticas, como, por exemplo, identificar a ocorrência sazonal de secas prolongadas, e também identificar eventos ocorridos no passado, que podem ser naturais e não naturais.

A relação entre o clima do passado e os anéis de crescimento ocorre porque a planta é diretamente afetada pelas condições ambientais, às quais podem limitar o crescimento e afetar a estrutura da planta.

Os fatores limitantes de crescimento podem ser externos, como água, temperatura, luz, CO², oxigênio e minerais do solo e os fatores internos, como translocação de nutrientes, reguladores de crescimento, água e enzimas. Os efeitos do clima em anéis de crescimento não são aparentes quando os anéis são largos; sua estrutura é a mesma de um ano para o outro e a variação estrutural é única para cada indivíduo.

Os princípios básicos e conceitos da dendrocronologia são:

- 1) Uniformidade: as condições de crescimento que interferem nos processos biológicos hoje, também interferiram da mesma forma nesses processos no passado.
- 2) Fatores limitantes: estabelece que anéis mais estreitos fornecem informações mais precisas das condições climáticas limitantes que anéis mais largos. Portanto, não há como extrair informações ou fazer a datação cruzada em árvores que não foram afetadas por fatores de crescimento limitantes.
- 3) Amplitude ecológica: representa a variedade de ambientes que a espécie cresce, como os fatores climáticos e aqueles não climáticos como fogo, ataque de insetos ou doenças, entre outros. É possível observar também que espécies de altas e baixas altitudes, perto de seus limites de aridez, podem responder de forma similar a um ano mais seco.
- 4) Escolha do local: selecionar o local para coleta de amostras é importante, pois árvores presentes em alta altitude, em limite latitudinal, e em locais secos apresentarão informações mais confiáveis de clima obtidas pela medição da largura dos anéis de crescimento.

5) Sensibilidade: as árvores definidas como sensíveis são aquelas que crescem em locais onde os fatores de crescimento são limitantes e variam a largura do anel ano a ano. As complacentes são aquelas que não variam.

6) Datação cruzada: a largura do anel deve ser cruzada entre os raios de um mesmo disco e entre diferentes árvores. Após examinar e sincronizar estas variações, se houver correlação entre os anéis e as amostras forem suficientes, pode-se determinar o ano de sua formação. Pode-se observar também ausência de anel e anel falso. Se isto ocorrer com uma frequência grande, a datação será incerta.

7) Repetição: utiliza-se mais de um raio por árvore e várias árvores, para evitar anéis de crescimento falsos e ausentes. Se o clima é altamente limitante para o crescimento, é possível obter informações confiáveis com um pequeno número de árvores e raios.

8) Padronização: considera a correlação da largura dos anéis de crescimento em relação à idade e geometria da planta.

9) Modelo de crescimento: pode ser representado por uma equação ou diagrama, que evidencia, por exemplo, variações na temperatura e precipitação.

10) Calibração e verificação: são modelos estatísticos calibrados com unidades de variáveis ambientais.

Nos processos e análises dendroclimáticas deve-se coletar os dados de uma área selecionada, onde os fatores são limitantes para o crescimento da árvore; deve ter disponibilidade de dados climáticos de uma estação meteorológica próxima da área de coleta; selecionar árvores com anel de crescimento sensível; quando usar a coleta não destrutiva, vedar o buraco causado pelo trado usando desinfetante ou tradá-la em períodos de menor

contaminação; coletar 2 raios por árvore e de aproximadamente 20 a 30 árvores; depois de retornar ao laboratório deve-se secar, montar e lixar as baguetas para, posteriormente, medir e datar; utilizar o computador para auxiliar no processamento dos dados mas sempre conferir com a amostra de madeira.

Após os trabalhos de campo e de laboratório, são necessários quatro passos para a análise: ajustar a função de crescimento e obter a média do índice cronológico médio para cada indivíduo ou subgrupo; calcular o índice de cada série medida; modelar a relação entre o índice de largura e o de clima e avaliar o grau e natureza desta relação, para reconstruir o clima do passado a partir desta relação.

Fonte:

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p.

Crescimento e estrutura

Aline Canetti

Graduanda em Engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná,
alinecanetti@hotmail.com

Para se elaborar modelos que relacionem fatores ambientais com a largura ou outras propriedades anatômicas dos anéis de crescimento, é necessário conhecer o crescimento das árvores e a estrutura da madeira. A seguir, serão descritas as diferentes maneiras que o processo de crescimento e a estrutura da madeira podem variar em diferentes partes do caule e da raiz de uma árvore e serão explicados os fatores relevantes sobre o crescimento e estrutura das árvores, necessários para a aplicação das técnicas de dendroclimatologia.

Inicialmente, é importante relembrar conceitos da anatomia da madeira. Os principais órgãos das árvores são a raiz, o caule, os órgãos vegetativos, que são folhas ou acículas e os órgãos reprodutivos, que são as flores, os frutos e as sementes. Os meristemas são formados por células capazes de se dividir e formar novas células, que dão origem a tecidos e órgãos. As gemas apicais das árvores podem ter sua dormência quebrada e gerar brotos, através das células meristemáticas. A casca consiste de uma camada de tecido morto externo (ritidoma) e uma camada interna de floema vivo e sua função é fornecer proteção adicional, que isola o câmbio de temperaturas extremas e o protege de lesões mecânicas. Já a raiz, diferente do caule, não produz gemas, seus meristemas são localizados sob a coifa, que os protege e, além disso, não há produção de medula.

Os traqueídeos são os elementos predominantes nos anéis de crescimento das gimnospermas e são células fusiformes com presença de pontuações. Antes de se tornarem funcionais,

estas células morrem e então passam a participar no transporte de água. Traqueídeos que formam o lenho inicial, formado no período que há crescimento mais acelerado, são mais largos e possuem paredes mais finas. O tecido deste lenho é poroso, de baixa densidade e mais claro. Já o lenho tardio, que é formado por um crescimento mais lento, possui células estreitas, achatadas e com paredes espessas. Este tecido é menos poroso, mais denso e mais escuro. Nestes lenhos podem ser encontrados dutos de resina, dispersos, agrupados ou restritos nos anéis de crescimento. Quando presentes, esses possuem função de proteção para as coníferas.

Nas angiospermas, os anéis de crescimento são formados por vasos, fibras e raios xilemáticos. As estruturas que mais se destacam são os vasos, que são tubos com células unidas orientadas verticalmente. Os poros podem ser distribuídos pelo lenho em anéis concêntricos, que possuem vasos do lenho inicial maiores que no lenho tardio, e por isso são mais fáceis de visualização, ou também podem ser distribuídos em poros difusos, que possuem vasos com tamanho semelhante ao longo de todo o anel, sendo algumas vezes mais difícil para se visualizar.

O crescimento do sistema vascular possui três fases: 1) a divisão, 2) a expansão e 3) a diferenciação e maturação celular. A divisão celular é a duplicação de material genético e formação das células-filhas. A expansão celular ocorre por pressões dentro das células que esticam as suas paredes quando novos materiais são adicionados. A diferenciação e a maturação acompanham a expansão ou as fases tardias do período de crescimento e é o período em que as células formam características dos tecidos que vão compor. O crescimento cessa quando a expansão celular já está completa e as estruturas completamente formadas. Os vasos e traqueídeos morrem antes de se tornarem funcionais no transporte de água e, então, não há mudanças em suas

estruturas, podendo ocorrer apenas expansão e contração celular por mudanças de pressão hidrostática e tensões no interior da árvore. O incremento diamétrico ocorre quando o câmbio vascular produz células de xilema e floema secundários, e, simultaneamente, novas células são formadas. Danos de células em condições adversas podem interromper o crescimento, fazendo com que as células permaneçam imaturas, apresentando anomalias em seu tamanho ou estrutura. Estas células podem ser utilizadas para identificar o ano e a estação em que esse dano ocorreu.

O câmbio vascular se localiza entre o xilema e floema primários e produz os tecidos vasculares secundários. Aproximadamente 90% de sua estrutura é formada por “iniciais fusiformes”, que são células alongadas e fusiformes que darão origem ao sistema axial (longitudinal ou vertical) de células do tecido vascular secundário, o parênquima axial, as fibras e os elementos traqueais. As “iniciais radiais” são células isodiamétricas do câmbio vascular que darão origem ao sistema radial (transversal ou horizontal) de células do tecido vascular secundário, os raios parenquimáticos e traqueídeos radiais.

O crescimento é um processo variável. Suas taxas podem ser limitadas direta ou indiretamente por uma enorme variedade de fatores ambientais e condições internas da árvore. As variações ocorrem durante os dias, as estações, os anos e com a idade da árvore. Há outros fatores que podem afetar o crescimento. Os meristemas possuem atividade variada durante o ano e, dependendo do local, podem permanecer dormentes em algumas estações e ativos na estação de crescimento. Árvores jovens possuem crescimento mais ativo que as senis. Além disso, há variações no crescimento de órgãos e tecidos, por exemplo, o crescimento em altura e diâmetro se inicia praticamente ao mesmo tempo, apesar de apresentarem ritmos diferentes e o crescimento em altura geralmente cessar antes.

Podem ocorrer diferenças de crescimento ao longo da árvore. Estas interações envolvem o movimento de reguladores de crescimento, a distribuição de nutrientes e mudanças nas taxas dos processos nas diferentes partes da árvore.

O crescimento em altura é controlado por reguladores do crescimento produzidos pelas gemas apicais ou pelas folhas. A largura e a estrutura dos anéis anuais estão intimamente relacionados com a quantidade e duração deste crescimento. Em geral, o crescimento é mais rápido durante a noite do que durante o dia, e há alto nível de correlação entre o crescimento noturno e a temperatura do ar. As espécies de clima temperado possuem um crescimento em altura que segue uma curva sigmoide, iniciando e acelerando rapidamente, até alcançar uma altura relativa e constante e, finalmente, reduz em algum momento do verão. O início ocorre quando os dias são suficientemente longos e quentes e o fim varia bastante entre espécies, porque depende de fatores limitantes. Na primavera, para todas as faixas etárias, o crescimento da parte aérea ocorre praticamente ao mesmo tempo. Já o período de crescimento rápido é mais curto em árvores maduras do que em plantas jovens. As copas achatadas são típicas de árvores senis, pelo decréscimo no vigor do crescimento apical que ocorre com o decorrer dos anos.

As informações climáticas podem ser obtidas através das larguras dos anéis de crescimento ou também através da densidade da madeira. Porém, estas características da madeira não são afetadas por eventos climáticos apenas, mas também por condições internas, de idade e estrutura da planta, de limitação do sítio e do potencial hereditário de cada árvore. Portanto, não se pode avaliar estes fatores separadamente, porque eles são dependentes um do outro.

As variações diurnas no diâmetro do caule são rápidas e transitórias, porém, ocorrem repetidamente, afetando as estruturas. As variações minuto-a-minuto e hora-a-hora também mudam as estruturas porque são acumuladas ao longo dos dias. As diferenças nos tamanhos das células do tecido do caule ocorrem principalmente devido às condições hídricas das plantas, como a absorção e perda de água, o movimento de água na planta e a absorção e armazenamento nos tecidos. Todos estes fatores causam expansão e contração das células dos tecidos vegetais. Os fatores ambientais que causam mudanças no tamanho das células dos tecidos do caule também estão relacionados com as condições hidrostáticas das plantas. Pelas manhãs, há contração do caule, pois há perda acelerada de água pelas folhas. Durante o dia a transpiração contínua gera um déficit de água, induzindo a raiz a absorver mais, aumentando o tamanho do caule. À noite, a taxa de perda de água se reduz até chegar ao mesmo ponto do ganho, causando um inchamento ainda maior no volume das células.

Os índices de crescimento diário podem fornecer dados úteis para a análise dos fatores que afetam o crescimento e também podem ser usados para se saber quando a água e outros fatores estão favorecendo a expansão celular e como e quando ocorre o alargamento das células e, indiretamente, quão rápido a divisão celular ocorre.

A periodicidade sazonal no crescimento radial pode envolver diferenças na duração da estação de crescimento; nas taxas de divisão e expansão celular, levando a variações nas taxas de crescimento do caule; e diferenças no tamanho e estrutura das células, que se tornam parte do anel anual de crescimento. O crescimento em espessura do caule ocorre na estação de crescimento, na qual a atividade meristemática é iniciada ao mesmo tempo que os outros meristemas mas pode ter uma

maior variação. A estação de crescimento varia de um ano para outro, em função das diferenças ambientais de clima, de sítios e entre espécies.

As taxas de incremento do caule têm formato de curva sigmoideal. O crescimento no final da estação de crescimento é mais rápido nas porções mais altas que nas mais baixas do caule, os tecidos jovens possuem maiores taxas de crescimento que os mais velhos e algumas destas variações são provenientes de condições genéticas da planta. Os fatores ambientais afetam as taxas de incremento do caule, porque podem ser fatores limitantes, por causarem perda de água ou deficiência em sua absorção.

As variações na expansão e diferenciação celulares, quando ocorrem na estação de crescimento, originam uma variabilidade na estrutura das células e na estrutura geral dos anéis de crescimento. Além disso, os fatores fenológicos, como a brotação, a abertura das gemas, a maturação dos botões florais, a floração e frutificação sempre estão associados com os estágios específicos da atividade cambial e, conseqüentemente, com as variações na estrutura do anel de crescimento.

Algumas variações sistemáticas dos anéis de crescimento surgem por mudanças na anatomia celular e nas condições fisiológicas e ambientais. A faixa etária da árvore está diretamente relacionada com o crescimento. Nos brotos, o crescimento acelera com o passar do tempo e, então, quando a árvore se torna madura, as condições ambientais e fisiológicas podem se tornar fatores limitantes para o seu crescimento. Já quando a árvore é senil, o nível de crescimento se estabiliza.

As intervenções, como podas e desbastes alteram a largura dos anéis de crescimento. Quando podadas, as árvores crescem mais em altura do que em espessura, então, seus anéis se tornam mais estreitos. Com desbastes, há aceleração no crescimento em

espessura, então os anéis se tornam mais largos, principalmente perto da base do fuste. Com o sombreamento causado pela competição com árvores vizinhas, os anéis mais largos formados são os que estão menos sombreados, geralmente os que se localizam mais perto da copa.

O crescimento da raiz difere um pouco do crescimento do caule, pois pode não exibir um período de dormência e não é certo que haja alguma periodicidade em seu crescimento. As raízes também produzem camadas anuais de crescimento, porém, conforme estas camadas se afastam da base do caule, ficam mais difíceis de serem observadas.

Fonte:

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p.

Processos fisiológicos básicos: movimento de materiais e relações hídricas

Mariana Ferraz de Oliveira

Engenheira florestal, mestranda, Universidade Federal do Paraná,
marianaferraz.floresta@gmail.com

As relações reais que influenciam o crescimento da planta podem variar dependendo da condição dos tecidos de crescimento, das atividades relativas ao processo de controle e à condição ambiental a que a planta é submetida. As condições limitantes ao processo fisiológico de uma árvore podem mudar significativamente ao longo do ano, de modo que determinado fator pode ser diretamente correlacionado com a largura do anel em um determinado período e inversamente correlacionado em outro momento. Por exemplo, temperaturas muito baixas causam o congelamento dos tecidos das plantas, provocando a dormência das atividades fisiológicas, porém, a ocorrência de temperaturas mais altas resulta no aumento das atividades fisiológicas, podendo estar diretamente correlacionada com a largura do anel.

As leis de Liebig (Lei do mínimo) e de Lundegardh (Lei de efeitos relativos) são importantes para a discussão de processos fisiológicos. As duas implicam na análise individual de cada fator, de acordo com a realidade do momento.

Para melhor entender a influência de fatores externos no crescimento de uma planta, faz-se necessário um breve comentário sobre alguns processos fisiológicos. O movimento de substâncias no solo, na planta e para fora da planta se dá por dois processos básicos: movimento de massa e difusão.

Movimento de massa é a transferência de moléculas ou partículas através da aplicação de uma força externa, como a gravidade, a pressão hidráulica, ou fenômenos de superfície que afetam a coesão e adesão de moléculas. A difusão (também chamada de osmose) é o movimento líquido de moléculas de uma da substância a partir de uma região de alta energia livre (concentração) da referida substância. A diferença na atividade molecular entre duas áreas é chamada gradiente de energia livre. A difusão é um processo muito importante para as relações de crescimento e ambiente, uma vez que está envolvida no transporte de todos os materiais para dentro e para fora das células vivas e é responsável por muitas alterações de tamanho que ocorrem nos tecidos de crescimento das plantas.

Existe um tipo de movimento que não é considerado difusão e nem fluxo de massa, pois se refere a minerais e íons que são movidos através das membranas celulares por gradiente de energia livre. Tal movimento pode ocorrer em raízes aéreas e é definido como transporte ativo, pois exige um dispêndio de energia que é liberada pela atividade metabólica da planta.

O crescimento das árvores é, sem dúvida, controlado mais pelo movimento da água do que de qualquer outra substância isolada. O crescimento não ocorre a menos que a água seja suficientemente abundante para manter o desenvolvimento de estruturas e paredes celulares. O funcionamento normal dos processos fisiológicos que controlam o crescimento ocorre numa solução de água, assim como o movimento de matérias primas e as variações do tamanho ou crescimento das células. Este movimento é regulado por propriedades osmóticas das células nas raízes e folhas, e pelos vários tecidos celulares da árvore. Portanto, as condições ambientais que alteram o estado da água podem afetar o crescimento. Tais efeitos podem aparecer em pequena magnitude, mas se ocorrer dia após dia, os seus efeitos acumulativos podem afetar substancialmente a largura do anel.

A transpiração consiste na perda de água por todas as partes expostas da planta, incluindo o caule, flores, frutos e folhas. A transpiração das folhas ocorre em duas fases: a água evapora das paredes celulares para as cavidades subestomáticas e outros espaços intercelulares dentro da folha, e em seguida, o vapor d'água se difunde a partir dos espaços intercelulares através da epiderme para o ar exterior. A força motriz da transpiração é essencialmente a diferença entre o potencial de água ou do vapor d'água no interior da folha, e do potencial de água do ar livre fora da superfície da folha. A transpiração é afetada pela quantidade e tamanho dos estômatos (aberturas que permitem trocas gasosas entre a folha e a atmosfera), além de fatores intrínsecos ao meio, como a temperatura, velocidade do vento e umidade relativa do ar e do solo.

Devido às forças entre moléculas de água e as partículas do solo, o potencial de água do solo varia, dependendo do teor de umidade. Quando todos os poros (espaços vazios) estão cheios de água, este é dito saturado; quando parte desta água não está disponível para as plantas (água gravitacional), diz-se que o solo está na sua capacidade de campo; e quando há apenas pequenas quantidades de água disponível, o solo encontra-se em estado de murcha permanente. O movimento de água no solo está diretamente relacionado à sua estrutura física, principalmente textura, porosidade e profundidade, que estão relacionados com os fatores de formação do solo (clima, organismos vivos, topografia, tipo de rocha de origem e tempo), bem como sua formação propriamente dita (tipo e distribuição dos horizontes – perfil do solo). Sendo assim, a absorção de água pela planta, principalmente pelas raízes, depende do gradiente de potencial de água (tanto no solo quanto na planta) e da umidade disponível no solo. Uma vez que a taxa de crescimento é afetada pelo comprimento das raízes, é também afetada pela absorção de água, ou seja, qualquer fator que possa retardar o alongamento

das raízes, tais como: baixo nível oxigênio, quantidade variável de reguladores de crescimento e pouco alimento disponível.

A água em uma planta forma um sistema hidrostático contínuo, sendo que as taxas de transpiração estão diretamente correlacionadas com as taxas de absorção de água, e mesmo em solos úmidos, a primeira ocorre em maior intensidade que a segunda. A água é mantida no interior da árvore por forças de coesão entre as moléculas de água confinadas nas células e de adesão entre a água e a parede celular. No caso de rompimento dessa “coluna de água”, esta se contrai, interrompendo sua função de condução. No entanto, as colunas de água permanecem em número suficientemente grande de células de modo que a resistência ao movimento da água, a partir das raízes para as folhas, não é suficiente para produzir uma variação significativa na tensão de água.

Os fatores externos como o fotoperíodo, a temperatura e a umidade do solo influenciam diretamente as relações hídricas de uma árvore. Sendo assim, pode-se dizer que a sensibilidade do anel de crescimento está diretamente relacionada às condições de sítio a que a árvore está submetida, tanto em relação ao espaço existente para o desenvolvimento das raízes, que consequentemente permitirá, ou não, uma maior absorção de água pelas raízes, quanto em relação ao índice de precipitação deste local, que determinará a quantidade de água disponível para a planta.

Em árvores longevas, que se desenvolvem em sítios com solos mais profundos, fica nítida a influência do stress hídrico na largura do anel de crescimento, pois estes ficam mais estreitos quando há déficit de água. Quando ocorrem períodos de precipitação, aumentando a disponibilidade de água, a largura do anel aumenta. A absorção de sais minerais disponíveis no solo também influencia na largura dos anéis de crescimento

ano a ano. Sendo assim, mudanças na disponibilidade desses sais (íons) no solo em relação à troca com íons produzidos pela raiz, provocada, por exemplo, por poluição ou chuvas ácidas, podem ser identificadas através dos anéis de crescimento. A absorção de sais minerais e a sua translocação no interior da árvore também influencia a largura do anel, porém em menor intensidade, pois os fatores ambientais restringem mais a absorção de substâncias orgânicas e inorgânicas do que a translocação dessas substâncias. Os fatores externos que afetam a translocação são basicamente a temperatura, a disponibilidade de oxigênio no solo e o fotoperíodo, que podem aumentar ou diminuir a atividade metabólica das células.

Fonte:

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p.

Processos fisiológicos básicos: síntese de alimentos e assimilação de constituintes celulares

Pollyni Ricken

Eng. florestal, mestranda, Universidade do Estado de Santa Catarina,
pollyni7@hotmail.com

Ao longo da vida das plantas, as atividades são dependentes de uma fonte contínua de energia que é derivada normalmente dos alimentos. Quando a planta está com o crescimento ativo, grande quantidade de alimento deve estar disponível, não só como fonte de energia, mas também como fonte de matéria-prima para a constituição de novos tecidos.

A fotossíntese, por vezes referida como assimilação de carbono, é o processo pelo qual o açúcar (glicose) é fabricado, a partir de dióxido de carbono e água, pelos tecidos que contém clorofila (clorênquima), na presença de luz, sendo formado como subproduto o oxigênio. Há duas etapas básicas envolvidas na fotossíntese: a primeira, que requer luz, e a segunda, que envolve reações químicas que dependem de temperaturas favoráveis, mas não de luz. A fotossíntese é um processo importante porque a molécula de glicose forma a base na qual todas as outras substâncias orgânicas são feitas.

A energia que é armazenada nas moléculas de glicose pode ser liberada por uma série de reações bioquímicas, coletivamente referidas como respiração. Parte dessa energia é perdida na forma de calor, mas o restante é transferido para as moléculas de alta energia chamadas trifosfato de adenosina (ATP). A energia é armazenada como moléculas de ATP até que seja utilizada diretamente pelos processos consumidores de energia que ocorrem na célula.

As reações bioquímicas envolvidas na síntese de alimento a partir da glicose são extremamente complexas. Tais reações envolvem basicamente dois tipos de processos químicos. A primeira, referida como uma reação de hidrólise de condensação, representa uma mudança na solubilidade dos reagentes em água, mas envolve pouca alteração na energia. O segundo tipo de reação bioquímica em uma planta é a oxidação-redução, que envolve a troca de energia dos reagentes, sendo tal energia geralmente derivada de ATP. A molécula que ganha energia durante a reação é dita reduzida, e a molécula que perde energia é oxidada.

A assimilação, em seu aspecto mais simples, pode ser considerada a utilização de carboidratos, gorduras e proteínas para sintetizar o protoplasma, paredes celulares, e outras substâncias que compõem os sistemas de enzimas, pigmentos e estruturas da plantas. A assimilação envolve os mesmos tipos de reações envolvidas na síntese de alimentos, exceto que os produtos finais tornam-se constituintes funcionais de uma célula. Todas as partes de um anel de crescimento são essencialmente produzidas por assimilação, o que pode, por sua vez, ser dependente de quaisquer fatores que limitam a fotossíntese, respiração, síntese de alimento, e o nível geral de metabolismo nas plantas.

Uma vez que os processos de fotossíntese e respiração envolvem uma série de reações bioquímicas e ambos os processos podem ocorrer simultaneamente, não é uma tarefa fácil obter uma medição precisa das suas respectivas taxas. À noite a respiração pode ser medida diretamente a partir das alterações do dióxido de carbono, oxigênio e peso seco, uma vez que a fotossíntese não ocorre no escuro. Durante o dia, na presença de luz, as mudanças na mesma variável fornecem uma medida do efeito líquido da fotossíntese menos a respiração, a qual é referida

como fotossíntese líquida. E a fotossíntese bruta é a soma total de glicose formada, sem levar em conta o seu consumo em outros processos.

A respiração ocorre em todas as células vivas, mas as taxas são consideradas mais elevadas em tecidos mais jovens do que nos tecidos mais velhos, porque os primeiros geralmente contêm um maior número de células em crescimento. As taxas fotossintéticas geralmente crescem com o aumento da idade das folhas até um nível que representa a maturação, declinando a partir de então.

Uma vez que todos os alimentos e constituintes celulares são derivados de moléculas de glicose, o crescimento das árvores pode ser muito afetado pelas condições que influenciam a fotossíntese e a taxa de respiração. Os fatores ambientais importantes envolvidos são luz, temperatura, umidade, gases disponíveis e fertilidade do solo. Dentre as condições internas estão o estado fisiológico dos tecidos, a condição dos estômatos, a acumulação ou disponibilidade de alimentos como glicose e qualquer outra modificação estrutural ou funcional dos tecidos vegetais resultantes de crescimentos anteriores, idade de crescimento da árvore e lesão de algumas partes da planta.

A luz é um fator importante na fotossíntese, pois é a melhor fonte de energia que pode ser utilizada na formação de glicose. As taxas fotossintéticas variam diretamente em função da intensidade da luz e o período de luz do dia pode afetar a duração do período fotossinteticamente ativo da planta. Todas as folhas dentro de uma copa de árvore não estão igualmente expostas à luz. Aquelas que estão no lado leste tornam-se saturadas de luz no início da manhã, enquanto aquelas que estão no oeste estão saturadas de luz no final da tarde. Já as folhas no interior da copa raramente atingem a saturação da luz, devido ao sombreado durante grande parte do tempo.

Os processos de fotossíntese e respiração ocorrem ao longo de uma grande faixa de temperatura, e isso pode afetar a cada um dos processos de forma diferente. A temperatura pode afetar as condições e processos semelhantes a dormência, atividade meristemática, reprodução e crescimento, os quais interagem e modificam a respiração e a fotossíntese líquida da planta. A temperatura mínima para a fotossíntese líquida situa-se entre -2 e -5 °C, enquanto a respiração foi medida em temperaturas tão baixas como -12 °C.

As altas temperaturas podem ser um fator limitante tanto para a fotossíntese quanto para a respiração. A respiração em muitas plantas aumenta de 2,0 a 2,5 vezes para cada 10 °C no aumento na temperatura dentro da faixa de 10 a 30 °C. A temperatura ótima para a fotossíntese líquida de plantas de regiões de clima temperado fica entre 15 e 30 °C e para espécies tropicais e subtropicais fica entre 25 °C e 30 °C. O ponto de morte térmica da maioria das células vivas situa-se entre 50 °C e 60 °C. A morte devido ao calor extremo é causada pela coagulação de componentes proteicos no protoplasma. As temperaturas ótimas para a fotossíntese líquida podem, portanto, variar entre diferentes espécies, ao longo da estação, e de local para local, dependendo da intensidade de luz, da disponibilidade de umidade e de fatores pré-condicionantes da árvore.

São dois os modos principais de ação de déficit hídrico na fotossíntese: (a) o efeito indireto, que é o fechamento dos estômatos, reduzindo, assim, a difusão de dióxido de carbono na folha, e (b) o efeito direto, que são as reações bioquímicas envolvidas na fotossíntese. A abertura e fechamento de estômatos é um mecanismo que regula o equilíbrio de água e mantém o equilíbrio favorável no interior da planta. Os déficits hídricos podem afetar as taxas de respiração e ainda alterar a produção de fotossíntese líquida.

A fotossíntese em árvores com quantidades adequadas de água e luz é muitas vezes limitada por baixas concentrações de dióxido de carbono. Em alguns casos, a taxa de fotossíntese pode ser aumentada simplesmente pelo aumento da concentração de dióxido de carbono no ar circundante. O dióxido de carbono limita mais a fotossíntese em altitudes elevadas, pois a pressão dos gases e a taxa de difusão diminuem. No entanto, espécies não adaptadas a solos úmidos podem ter a respiração e o crescimento radicular limitados quando as concentrações de oxigênio no solo estiverem abaixo de 10%. Essas limitações também podem ocorrer pela presença de outros gases que normalmente estão na atmosfera, devido aos seus efeitos tóxicos sobre as plantas. A maioria das espécies de plantas é afetada pela exposição de apenas uma hora à uma atmosfera contendo tão pouco quanto uma parte em milhões de determinados gases tóxicos.

A distribuição relativa e o consumo de alimentos variam entre as estruturas e os órgãos da árvore e de uma estação para a outra. Em uma típica floresta decídua de idade intermediária, aproximadamente 10% do total de glicose produzida nas folhas é consumido pelas árvores na respiração. O restante é armazenado ou utilizado na assimilação de outras partes da árvore. As partes aéreas utilizam 81% e as raízes 9%. Na parte aérea de uma árvore, o crescimento de cada ano de novas folhas utiliza aproximadamente 36% do total de glicose, o fuste também 36% e os galhos 8%. Já a produção de frutos utiliza cerca de 1% do total de glicose. A reserva de alimento pode ser utilizada em tempos diferentes e por diferentes tecidos da planta, dependendo de várias condições da árvore. Árvores que se encontram em condições limitantes resultam na formação de anéis de crescimento mais estreitos e com larguras variadas. Essas condições limitantes tornam a árvore mais fraca, ficando mais vulnerável a doenças ou um ano de clima extremo pode causar a morte da árvore.

Sais minerais essenciais possuem diversas funções dentro da planta. Nitrogênio, enxofre e fósforo são componentes dos aminoácidos e proteínas. O nitrogênio e o magnésio compõem a clorofila, e o ferro é necessário para a síntese da clorofila. Outros elementos, incluindo potássio, cálcio, boro, manganês, zinco, cobre, molibdênio e cloro também podem influenciar as taxas de importantes processos nas árvores. Além disso, os sais minerais influenciam o potencial hídrico no interior das células das plantas.

Os minerais do solo também podem controlar a distribuição de algumas espécies de árvores. Por exemplo, o *Pinus longaeva* é relativamente mais tolerante a baixos níveis de fósforo no solo do que os seus competidores. Essa tolerância pode explicar a maior abundância de *Pinus longaeva* em solos dolomíticos com deficiência em fósforo, nas Montanhas Brancas da Califórnia. Foi observado também que em função de déficit hídrico, árvores de *Pinus longaeva* que cresciam em solos dolomíticos apresentaram larguras variáveis de anéis de crescimento. Em compensação, quando a água estava disponível, todos os anéis apresentavam largura semelhante.

Minerais que ocorrem naturalmente são de importância limitada para a dendroclimatologia, porque eles tendem a ser constantes ano a ano, não causando variação na largura dos anéis de crescimento. Por outro lado, algumas substâncias decorrentes da poluição ambiental ou de outros distúrbios podem afetar os minerais do solo e produzir mudanças sistêmicas na disponibilidade desses minerais, o que pode resultar em alterações no crescimento. Certos elementos, atingindo alta concentração, podem ter efeitos tóxicos diretos na estrutura celular e na largura dos anéis de crescimento.

Reguladores de crescimento ou hormônios são compostos orgânicos produzidos em pequenas quantidades que promovem,

inibem ou modificam qualitativamente o crescimento. Dentre os reguladores de crescimento mais conhecidos pode-se destacar as auxinas (responsáveis pelo alargamento das células), antiauxinas (inibem a ação da auxina), citocinina (promove a divisão celular), giberelina (alongamento do caule) e os inibidores (substâncias que reduzem ou param o crescimento e induzem a dormência).

Alguns exemplos de pré-condicionamento fisiológico que possivelmente afetam a formação de anéis de crescimento são: a influência de fotoperíodo, a indução e quebra da dormência, o desenvolvimento de resistência à seca e resistência à geada, a presença de anéis congelados e cicatrizes de incêndio, resultantes de lesões nos tecidos da árvore.

A mudança no tempo de exposição à luz pode influenciar nas fases vegetativa e reprodutiva de crescimento da planta. O crescimento de galho, crescimento radial, a quebra de dormência, a queda das folhas, a resistência à geada, a germinação das sementes e os processos de floração são conhecidos por serem influenciados pelo comprimento do dia.

A dormência pode ser classificada como temporária ou permanente. A temporária dura alguns dias ou semanas e o crescimento pode começar de novo espontaneamente ou pode ser estimulado por uma alteração no ambiente. Já a dormência permanente pode durar várias semanas ou meses. A dormência pode ser vista como uma espécie de “fator segurança”, pois as plantas só irão começar a crescer quando as condições estiverem favoráveis à sua sobrevivência. Quando a dormência é quebrada, o clima pode afetar diretamente a produção dos reguladores de crescimento.

Pode ser visto, então, que existem certos períodos do ano em que os fatores climáticos são favoráveis aos processos fisiológicos, enquanto outros são limitantes, e ainda há outras vezes nas quais os processos podem estar essencialmente

inativos. Esses períodos são geralmente síncronos com as estações climáticas. Por exemplo, durante o inverno a atividade fisiológica da árvore fica baixa por longo período de tempo. Primavera e outono são períodos de transição, em que a temperatura e a umidade não são mais limitantes para determinados processos. No alto verão a temperatura e o estresse hídrico podem se tornar limitantes quando as temperaturas excedem o ideal para determinados processos ou quando há umidade insuficiente no solo.

Fonte:

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p.

O Sistema Clima-Crescimento

Bruna Denardin da Silveira

Engenheira florestal, doutoranda, Universidade Federal do Paraná,
bruna_denardin@yahoo.com.br

A modelagem do sistema clima-crescimento é um dos pontos fundamentais em pesquisas com dendroclimatologia. Para isso, é necessário considerar como o sistema biológico está ligado ao clima, como as variáveis do local podem afetar as ligações e como a estrutura essencial e os componentes do sistema podem ser modelados para ajudar na identificação dos componentes dendroclimatológicos mais importantes. A modelagem pode ser realizada de diferentes formas, por exemplo, através de equações matemáticas ou por outros sistemas analíticos que retratem as ligações mais importantes entre os fenômenos iniciais causais, que no caso incluem variáveis de clima e sítio, e resultam na largura do anel.

O objetivo deste texto é descrever os dois componentes principais da parte “clima” do sistema: balanço de energia e balanço hídrico, que relacionam o macroclima com o espaço vital da planta. Isso se deve a fatores do local, tais como a topografia, substrato, altitude, bem como a fatores bióticos e outros que podem modificar ou anular certos componentes destes balanços e, assim, alterar ou encobrir a relação da árvore com o sistema clima-crescimento.

Desta forma, todos esses fatores podem ser limitantes para os processos que ocorrem na árvore como um todo e, principalmente, no crescimento cambial. Desses fatores, a temperatura e a precipitação influenciam de forma direta no crescimento, sendo essa relação melhor explicada pela modelagem. No entanto, variações no crescimento também

podem ser atribuídas às mudanças nas estações do ano, diferenças nos micro sítios e às distintas espécies arbóreas existentes.

Balanco Hídrico e Balanco de Energia

A quantidade de energia e água que uma planta utiliza depende das quantidades que estão disponíveis para ela e das porções absorvidas e perdidas. Além disso, a disponibilidade de energia e água é muito dependente das condições do clima e local em que a planta está crescendo, ou seja, um sistema complexo de precipitação, temperatura e capacidade de retenção de água no solo e a importância relativa destas condições podem ser melhor interpretadas por equações matemáticas.

Todas as equações dos balanços de energia e hídricos baseiam-se na conservação da energia e da matéria, e qualquer mudança ocorrida afeta o equilíbrio do sistema. A equação de equilíbrio de energia gera estimativas e varia em função do tempo, localização latitudinal e sítio, assim como, características do solo, teor de água e quantidade de cobertura de plantas. Já o balanço hídrico é ligado ao equilíbrio energético, pois grandes quantidades de energia são dissipadas por evaporação do solo e das plantas.

Sendo assim, à medida que a disponibilidade de água para a planta diminui, a transpiração é reduzida drasticamente, potencializando outros fatores ambientais de estresse, como a temperatura, tornando mais difícil separar os efeitos de alta temperatura daqueles de déficit hídrico. Por isso, as relações entre crescimento e clima podem ser avaliadas com a ajuda da análise de correlação entre variáveis meteorológicas e os anéis anuais de crescimento.

No entanto, muitas vezes, torna-se necessário a conversão de dados meteorológicos em novas variáveis que expliquem o crescimento a partir das condições ambientais. Um exemplo disso é o índice de

seca de Palmer, no qual dados de temperatura e precipitação são convertidos para o índice de seca. Esse índice é relativamente bem correlacionado com variações na largura do anel, porém existem discordâncias entre as reais condições de umidade quando utilizado para locais áridos. Essas divergências podem ser causadas pelo uso da temperatura média de forma inadequada, pois não leva em consideração a extrema variação de temperaturas diurnas que ocorre nesses locais, e também, quando ocorrem tempestades de alta intensidade durante o verão e não são consideradas adequadamente no procedimento de quantificação de água.

Outro fator que deve ser levado em consideração é o balanço de energia, que é o resultado final entre a energia que chega até a superfície e a que sai. Cabe aqui ressaltar que a principal fonte de energia da Terra é o sol, e essa energia é responsável por todo processo natural que ocorre na superfície terrestre. Contudo, a condição da atmosfera está sempre mudando e os componentes do balanço de energia podem variar em resposta às alterações que ocorrem em curto prazo, anualmente ou de anos em anos. A temperatura de um organismo é uma função da rapidez com que ele absorve e dissipa a energia que recebe, assim como qualquer energia adicional resultante do metabolismo. Por isso, é importante observar que existem muitos fatores além da temperatura do ar e precipitação que afetam a temperatura real e o estado da água de uma planta.

Entretanto, os dados detalhados são muitas vezes indisponíveis para a maioria dos componentes do balanço de energia. Além disso, a interpretação correta da correlação estatística da largura do anel com temperatura média mensal e a precipitação envolvendo árvores em altitudes diferentes, em várias exposições, e em várias regiões climáticas requer uma compreensão das diferenças nos micro climas que podem resultar de diferenças entre os balanços de energia e água.

Fatores locais que podem modificar o equilíbrio de energia

Muitos fenômenos físicos incidem indiretamente sobre os processos fisiológicos dos organismos. Todavia, tais fenômenos podem ter efeitos diretos nos processos fisiológicos das plantas, pois desempenham um papel importante no desenvolvimento de um sítio. Por exemplo: a topografia e o solo são o resultado de processos geológicos, físicos e biológicos que operam através de eras geológicas passadas, criando um sítio. A comunidade vegetal em um sítio é resultado da migração de plantas do passado e da criação, crescimento, reprodução e morte de indivíduos no local. A morte de uma árvore resulta, frequentemente, em mais luz e umidade disponível para árvores vizinhas, enquanto o crescimento de uma vizinha pode aumentar a concorrência por água e luz. Por isso, todos esses fatores locais são importantes para o desenvolvimento da planta e acabam influenciando e, até mesmo, modificando os balanços de energia e hídrico.

Os principais fatores locais que podem modificar o equilíbrio de energia são a topografia, o solo, a altitude e o relevo, que serão descritos a seguir.

Topografia

A topografia é um dos fatores mais importantes do local e afeta o equilíbrio de energia e água devido à radiação incidente. A inclinação do terreno influencia diretamente no crescimento das árvores, através da radiação solar, ângulo do sol, duração do dia e comprimento da luz solar. A temperatura e umidade do solo também são influenciadas pela topografia e, atreladas à temperatura e estação do ano, afetam a planta, podendo gerar estresse hídrico e interferir na fotossíntese. Por exemplo: em uma região em que o crescimento das plantas é limitado pela disponibilidade hídrica do ano corrente, espera-se que a maioria das árvores formem anéis de crescimento estreitos em anos de baixa pluviosidade e anéis mais largos em anos chuvosos.

Solo

O solo pode modificar o ambiente de um sítio de várias maneiras e deve ser levado em conta na hora de modelar ou interpretar o crescimento da árvore para determinadas condições. Estudos descrevem as diferenças do perfil do solo que influenciam as relações hídricas, controlando a distribuição de raízes e, conseqüentemente, o seu crescimento. Além disso, a matéria orgânica, a percentagem de superfície coberta por rocha e a permeabilidade do solo podem afetar o espaço vital das árvores em sítios específicos. Todavia, estes fatores do solo não se alteram de forma mensurável de ano para ano e, portanto, normalmente não são fatores que regem, anualmente em um sítio, a largura dos anéis de crescimento.

Altitude, solos e relevo

A altitude é um fator local que afeta a precipitação anual média e regimes de temperatura. Desprezando-se a influência de características de superfície, as temperaturas do ar diminuem com o aumento da altitude. Assim, anéis largos são típicos de indivíduos crescendo em solo fértil e/ou bem iluminados, enquanto anéis estreitos são formados em indivíduos em solo pobre e/ou sombreado.

Fatores bióticos e fatores não climáticos

Inúmeros fatores ambientais, bióticos e abióticos, regulam o crescimento secundário das plantas, tais como: competição e facilitação entre organismos, água, luz, temperatura, nutrientes, poluentes, vento, fogo, etc. Desses fatores, os que não possuem origem diretamente climática precisam ser reconhecidos e removidos dos dados de anéis de crescimento utilizados para a análise climática, para não interferir nos resultados.

Vários fenômenos naturais, tais como deslizamentos de terra, inundações e terremotos, podem enterrar, ferir ou inclinar os troncos de árvores, podendo causar alterações no crescimento, e todos esses acontecimentos ficam registrado nos anéis de crescimento. Por isso, a identificação do ano exato em que determinado evento ocorreu, como um incêndio, ataque de insetos, cicatrizes ou, até mesmo, a morte da árvore, é possível através da dendrocronologia.

Deste modo, as árvores que se desenvolvem sob as mesmas condições climáticas e ambientais, sejam elas favoráveis ou não, são capazes de registrar fielmente estas condições na madeira, através da sequência das larguras dos anéis, densidades da madeira ou outros parâmetros da anatomia da madeira.

Fatores que afetam a atividade cambial e a largura do anel

A atividade cambial possui quatro principais condições limitantes que devem ser consideradas: temperatura do câmbio, estresse hídrico, substâncias reguladoras de crescimento e nutrição mineral. Qualquer um desses fatores, quando restritos à planta, podem afetar o início e o fim do período de crescimento ativo, a taxa de divisão celular, e a expansão de células. Estes, por sua vez, afetam o número e tamanho das células que são produzidas e, conseqüentemente, a largura do anel.

Adequação e limitações do modelo de crescimento

Os fatores climáticos que afetam a largura do anel não podem ser adequadamente descritos em um único modelo. É necessário considerar todo o espaço vital da árvore, e os vários efeitos desses fatores sobre os processos que ocorrem em momentos diferentes durante o ano e em diferentes partes da planta. Portanto, faz-se uso das variáveis temperatura e precipitação, pois são fáceis de interpretar, assim como a radiação solar, vapor de

água, vento e pressão atmosférica, que são mais frequentemente utilizadas para descrever as mudanças ocorridas no clima.

Os efeitos dos fatores ambientais na largura dos anéis de crescimento podem variar de espécie para espécie e de sítio para sítio. Além disso, o clima durante alguns meses do ano pode ter uma influência maior sobre o crescimento do que o clima de outras estações.

A correlação entre fatores climáticos e de crescimento podem apresentar alterações marcantes de um mês para o outro. Esta relação pode representar separadamente os efeitos relativos sobre a largura do anel devido a variações na temperatura média e precipitação total durante cada mês de um período, antes e concomitantemente com o período de crescimento.

Não existe um modelo único para resolver toda a complexidade do sistema clima-crescimento. Apesar disso, é possível criar modelos matemáticos que relacionem o clima com o crescimento das árvores e, até certo ponto, que gerem interações entre os processos fisiológicos e ambientais. O atributo mais útil do modelo é que ele não representa um processo da planta individual, mas sim, o efeito dos fatores climáticos sobre todos os processos relevantes. Por exemplo, a temperatura pode afetar a largura do anel de crescimento positiva ou negativamente, dependendo dos processos particulares que são mais ativos na planta. Assim sendo, quando a temperatura da planta é elevada, aumenta as taxas de crescimento, podendo acelerar o crescimento da raiz e favorecer a absorção da umidade do solo; ou, pode aumentar o desenvolvimento das folhas, expondo à luz mais tecido que pode transportar na fotossíntese. Deste modo, as temperaturas elevadas das plantas também podem aumentar as taxas de respiração, diminuir a taxa de fotossíntese líquida, e aumentar a transpiração, que pode acentuar as condições de estresse hídrico. As três primeiras condições são geralmente benéficas para o crescimento, enquanto que as últimas são, normalmente, prejudiciais.

Sendo assim, os modelos utilizados não devem trabalhar com o efeito de eventos isolados, mas com eventos que ocorrem com certa regularidade e são refletidos na média e, portanto, tornam-se bem ajustados. Além disso, sabe-se que quando há interação entre as variáveis, os seus efeitos combinados podem ser maiores do que a soma dos seus efeitos independentes.

Conclusão

Os fatores climáticos influenciam os organismos vivos de forma muito complexa, não somente em razão do grande número de variáveis, mas também devido à constante interação entre elas. Logo, a utilização da modelagem torna-se válida, pois os modelos resumem adequadamente os processos fisiológicos mais importantes da planta, que relacionam a precipitação e temperatura às variações na largura do anel.

Por isso, o emprego de métodos estatísticos é fundamental para estudos mais aprofundados do sistema clima-crescimento, pois testam a importância e o significado das relações particulares existentes. Desta forma, torna-se possível, com o auxílio de outras técnicas, a determinação exata do ano em que o anel de crescimento foi formado, obtendo-se informações que possibilitem a avaliação de características de cada espécie e sua relação com as condições climáticas de uma determinada região.

Fontes:

ANDRADE, N.L.R. de. **Fluxos de energia em área de floresta de transição Amazônia – Cerrado modelados pelo Site**. Dissertação (Pós-Graduação em Física Ambiental- UFMT). Cuiabá, MT. 80f. 2009.

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p.

Estatísticas dos Anéis de Crescimento e Dados Climáticos

Veridiana Padoin Weber

Eng. florestal, doutoranda, Universidade Federal de Santa Maria,
veridianapadoin@utfpr.edu.br

O tratamento estatístico dos dados de anéis de crescimento e dados climáticos requer confiabilidade das medições que serão utilizadas posteriormente para a modelagem, calibração e reconstrução climática.

A rotina para coleta e processamento correto dos dados de anéis de crescimento e dados climáticos deve começar, primeiramente, pela coleta adequada dos dados em campo a qual versará sobre as características quantitativas e qualitativas essenciais da árvore e do local onde foram coletados os dados, tais como: data de coleta, local de coleta, altitude do local, inclinação do local, tipo de solo, tipos de perturbações ocorridas no local, ano de início da cronologia, posição sociológica da espécie, concorrência, etc.

Após a coleta adequada dos dados deve-se garantir a replicação adequada das amostras, coletando-se um número mínimo de 20 árvores e duas amostras por árvore, sempre observando possíveis problemas com as mesmas no momento da coleta que futuramente podem invalidar algumas amostras. Quando possível, coletar um número extra de amostras para compensar a perda de dados no momento da análise.

Em terceiro lugar, deve-se ter cuidado com a preparação dos rolos de incremento, por exemplo, expor a superfície transversal no suporte e, dependendo das características da madeira com que se está trabalhando, utilizar lixas de diferentes granulometrias.

O quarto passo consiste na datação cruzada para assegurar que cada valor de largura de anel e valor climático seja colocado em sequência temporal adequada. Preferencialmente, a datação cruzada deve ser realizada por três examinadores diferentes, sendo que o terceiro somente será preciso caso haja muita discrepância entre as duas primeiras medições. O quinto passo tem como objetivo a verificação da precisão das medições a qual deve ser feita por remedição de uma amostra dos dados coletados (1 a 3 intervalos de 20 anéis sucessivos), e os valores encontrados devem estar dentro de um limite estabelecido por um perito para cada espécie. Por fim, deve-se verificar a heterogeneidade dos dados climáticos causada por problemas como: ausência de dados, instrumentos de medição e influência de variáveis não climáticas.

A caracterização de uma série temporal de anéis de crescimento pode ser descrita pela estatística paramétrica padrão, como: média aritmética, variância, desvio padrão, erro padrão da média, coeficiente de correlação e média móvel.

Em dendrocronologia o coeficiente de correlação mede o grau de associação entre duas séries de tempo, tais como, cronologias de árvores ou cronologia de árvores e uma sequência climática. Porém, a correlação entre duas larguras de anéis sucessivas ou entre duas larguras de anéis com um intervalo de tempo diferente de um ano é chamada de correlação em série ou autocorrelação, a qual determina uma maior ou menor variação dos dados de anéis de crescimento em função do tempo. Essa variância também pode ser explicada pela média de sensibilidade, a qual mede a variação percentual média de um anel de crescimento para o outro. Assim, quanto maior a média de sensibilidade, menor a autocorrelação, o que caracteriza uma maior variância nos dados.

Geralmente, a variância nas séries de anéis de crescimento não é homogênea ao longo do tempo, mas sua heterogeneidade diminui com o aumento da idade, sendo também influenciada pelas condições do sítio. A heterogeneidade da variância em dados de séries de anéis de crescimento pode ser amenizada pela transformação dos dados utilizando o processo de padronização, formando uma nova série de dados mais homogêneos ao longo do tempo. Existem outros métodos para o estudo da heterogeneidade da variância como o uso de filtros digitais e de médias móveis. A média móvel é simplesmente a largura média de um determinado número de anéis sucessivos ao longo do tempo que será movida por um ano à frente sendo calculada novamente com a próxima largura de anel da série. Nos primeiros estudos sobre dendrocronologia foram utilizados intervalos de três a cinco anos para o cálculo da média móvel a fim de suavizar a variabilidade na largura dos anéis de ano para ano.

Várias experiências com dados de anéis de crescimento em função do tempo para coníferas de regiões secas nos Estados Unidos mostram bom ajuste com a função exponencial típica. Porém, a curva exponencial não explica adequadamente o aumento na largura dos anéis de crescimento nos primeiros 10 a 30 anos de vida de uma árvore sendo necessário o ajuste de uma equação que expresse essa variação nos anos iniciais ou, simplesmente, desconsiderar esses dados, pois não acarretará em qualquer perda substancial de informações climáticas. No estudo dendroclimatológico para espécies decíduas em florestas densas nos Estados Unidos, a função exponencial não se ajusta adequadamente aos dados, os quais são resultado de uma variedade de alterações que podem ocorrer durante a vida de uma árvore devido a perturbações e mudanças no ambiente florestal. Nesses casos, o uso de uma curva ortogonal polinomial com um maior número de coeficientes é mais adequado, mas deve-se cuidar para que o efeito de variações climáticas não seja removido por uma opção mais flexível de ajuste da curva.

Segundo o Laboratório de Pesquisa em Anéis de Crescimento da Universidade do Arizona, em Tucson nos Estados Unidos, essas técnicas de ajuste nunca devem ser aplicadas cegamente, pois, anterior a isso é necessário traçar todos os dados de largura de anéis em função da idade das árvores para observar o comportamento das amostras.

Alguns trabalhos consideram as mudanças na largura dos anéis puramente geométricas, ou seja, o volume de madeira adicionado a cada ano é dado em função da largura dos anéis, circunferência e altura do fuste. Outros trabalhos estudam a dendrocronologia em seções transversais em cada entrenó ao longo do tronco principal de uma árvore. Dessa forma, o crescimento pode ser avaliado sobre a ótica do gradiente horizontal, diagonal e vertical, após estabelecer o perfil longitudinal da árvore. O gradiente horizontal expressa a sequência habitual de largura dos anéis de crescimento afetada por variações climáticas e pelo aumento da idade das árvores. A visualização dos anéis na diagonal do perfil longitudinal da árvore expressa a largura dos anéis em diferentes alturas do tronco para o mesmo ano, afetada pela altura do tronco e pela redução da idade cambial. Também se pode observar uma sequência disposta verticalmente com cada anel amostrado a uma dada idade cambial. Teoricamente, a largura dos anéis ao longo do tronco seria a melhor sequência a ser utilizada em dendroclimatologia, mas, acaba sendo impraticável, pois requer uma secção para cada entrenó ao longo do tronco. Outros trabalhos recomendam que a largura média do anel de todas as árvores de uma determinada espécie e local pode ser expressa como uma função matemática simples do aumento da idade. No entanto, todos os indivíduos de uma espécie raramente irão alcançar um ótimo crescimento na mesma idade, e as árvores individuais diferem em suas taxas de crescimento devido a diferenças de fatores do solo, concorrência, microclima e outros fatores que regem a produtividade do local, o que

conduziria a um maior erro na cronologia caso se pensasse somente na variável idade como variável independente.

Uma análise frequentemente utilizada na estatística de dados de anéis de crescimento e dados climáticos é a análise da variância, a qual determina quais as fontes de variação contribuem mais ou menos para a discrepância desses dados. Em povoamentos florestais a variância geralmente é causada pela influência de fatores do macroclima no crescimento das árvores. Porém, para árvores individuais essa influência é dada pelo nível de vigor das árvores, concorrência e espaço vital disponível. Um exemplo de fontes de variação verificadas pela análise da variância pode ser dado por um povoamento de *Pinus longaeva* na Califórnia, que foi dividido em dois grupos de igual tamanho, um das árvores jovens e outro das árvores velhas. Dentro desses dois grupos foram avaliados os componentes da variância para observar a diferença na cronologia entre os grupos, entre as árvores e entre os rolos de incremento coletados por árvore e, qual fonte de variação contribuía mais para a variância total. A maior percentagem de variação (48%) sugere que o crescimento das árvores da amostra foi influenciado por fatores do macroclima, 30% da variação foi dada pela heterogeneidade dos locais, 21% da variação do crescimento foi afetado por irregularidades no tamanho da copa, concorrência e distribuição dos nutrientes e, apenas 1% da variância é dada pelos grupos etários, ao menos nos cinco anos estudados.

A simples estimativa do erro padrão da média também pode ser utilizada para analisar o erro na cronologia dos dados coletados, o qual é calculado em função dos componentes da variância, do número de árvores e número de rolos de incremento por árvore coletada. A estimativa do erro padrão da média calculada para um determinado número de árvores e até quatro baguetas por árvore mostra que o aumento no número de árvores coletadas influencia de forma mais significativa do que o aumento no

número de baguetas por árvore coletada. Assim, caso apenas uma bagueta seja coletada por árvore numa amostra de 17 árvores, o erro seria de 0,050, valor semelhante se a amostra for de 14 árvores e 2 baguetas por árvore, 13 árvores e 3 baguetas por árvore coletada e 12 árvores e 4 baguetas por árvore coletada. Assim, o número de árvores e baguetas coletadas por árvore irá depender da confiabilidade dos dados requerida, do tempo e do local de coleta. Porém, quando o número de árvores for insuficiente para aquele local, coletam-se mais baguetas por árvore.

As mudanças provocadas nas larguras dos anéis de crescimento não são apenas um resultado direto das variações macroclimáticas, mas também das variações relacionadas ao local em que a árvore se apresenta, o que pode influenciar diretamente os fatores climáticos que limitam o crescimento. A quantidade de precipitação que infiltra no solo, por exemplo, pode variar em função da topografia do terreno e características do solo, como também, a temperatura, o vento e a radiação são afetados pela exposição do terreno. Como as características estatísticas da largura dos anéis estão relacionadas com a disponibilidade de umidade em locais áridos, a mesma pode ser utilizada para estimar o estresse ambiental que afeta o crescimento da árvore. Uma série de estatísticas foi calculada para 100 anéis de crescimento de *Pinus longaeva* no sudeste da Califórnia, onde se constatou que a maior parte das estatísticas indicou menor limitação pelo clima para árvores da encosta inferior nordeste. Porém, para a exposição nordeste superior e no declive superior sul, onde as árvores estavam mais expostas ao vento, as estatísticas indicaram que o ambiente foi mais limitante para o crescimento das árvores.

Assim, como a variância em dados de largura de anéis é afetada pelo crescimento diferenciado de um local para o outro, a mesma também é influenciada pela variação dos anéis de crescimento

dentro da própria árvore. Por isso, o dendrocronologista deve também estudar as variações estatísticas na largura dos anéis que podem ocorrer ao longo do fuste, levando em consideração também a idade cambial da árvore bem como a sua própria idade. Os valores das estimativas estatísticas quando usados corretamente, podem servir para avaliar de forma eficaz a variação no crescimento de um local para o outro, de árvore para árvore e de um segmento para outro dentro de uma árvore. Tudo isso, para distinguir as causas ou os fenômenos causadores da variância, que proporcionarão as análises dendroclimatológicas.

Fonte:

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p.

Calibração de modelos de relação Dendrocronologia-Clima

Camila Castilla Ruy

Graduanda em Engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná,
camicrui@gmail.com

As variações ambientais afetam as árvores fisiologicamente, limitando ou favorecendo seu crescimento de diferentes maneiras ao longo do ano. Árvores em condições de estresse apresentam maiores variações na largura de seus anéis, devido às variações climáticas antes e durante o período de formação do anel de crescimento. Enquanto árvores em sítios favoráveis tem seu crescimento mais afetado por condições não climáticas, como, competição por luz, nutrição do solo, tamanho da copa, idade da árvore, entre outros. Nestes casos a largura dos anéis de crescimento fica bastante diferente de uma árvore para outra no mesmo sítio, e apenas uma pequena variação é comum a todas as árvores, sendo essa a potencial informação das variações macroclimáticas.

Essa variação em função de fatores não ambientais é considerada o “ruído”, e a variação na largura dos anéis em função das variações ambientais é considerada o “sinal”. Logo, indivíduos sob estresse apresentam alta relação sinal-ruído, e indivíduos sob condições favoráveis, baixa relação sinal-ruído. A relação entre os fatores climáticos e a largura dos anéis de crescimento depende da amplitude ecológica da espécie, do quão próximo estão as árvores amostradas de condições limitantes e da gama de variabilidade nos fatores limitantes que afetam o crescimento. Assim torna-se fundamental identificar os padrões de variação na largura dos anéis de crescimento, resultantes das variações climáticas, para transformá-los juntamente com outros indicadores de crescimento, em estimativas de clima.

Para estabelecer uma relação estatística ou uma transformação matemática que converta as medições climáticas em valores de crescimento e vice-versa, aplica-se o processo de calibração. Esse processo envolve modelagem, para descrever ou quantificar a relação biológico-climática, e sua aplicação depende da criação de uma hipótese, modelo biológico, embasada na literatura ou na experiência do pesquisador, seguido da construção de um modelo estatístico que retrate as características gerais do biológico. A partir do modelo para a relação estatística, encontra-se uma função resposta ou uma função de transferência apropriada que deve ser aplicada nos dados medidos com o intuito de se obter os resultados estimados. Uma variedade de modelos pode ser construída com diferentes pesos (coeficientes) para transformar as variáveis de diferentes maneiras.

Se os valores estimados, ao serem comparados com os reais, representarem a relação biológica das variáveis passa-se para a etapa da verificação. A verificação consiste em testar os coeficientes da equação de calibração em um conjunto de dados independentes (outras árvores, outra localidade, outras estações climáticas, por exemplo), e comparar os valores reais com os estimados repetidas vezes. Se de maneira similar ao acontecido no conjunto de dados dependentes (usados na calibração), os valores estimados representarem os reais, nas diversas repetições com os dados independentes, pode-se aceitar a calibração.

O sucesso da calibração depende do montante de variância que a variável independente expressa na dependente e da probabilidade de um resultado em particular acontecer apenas por acaso. Expresso como a “eficiência do ajuste”, o sucesso depende da força do “sinal” no conjunto de dados e da adequação do modelo em descrever a relação. Entretanto, quando se tem dados cronológicos, o erro estatístico e o ruído sempre existem. Sendo assim, o ideal é trabalhar com as médias, para suavizar o ruído

da variação individual. Segundo a “lei dos grandes números”, quanto maior o número de árvores ou raios utilizados para compor a média de uma cronologia, menor será a variabilidade do ruído, e quanto maior o percentual de variação do “sinal” climático, maior será a eficiência do ajuste e a relação sinal-ruído. Para preservar essa relação e manter a qualidade do sinal, deve-se priorizar a seleção de árvores com registros mais longos e com maior sensibilidade na largura dos anéis, nos casos em que a amostragem é bastante grande. No entanto, o número ideal de amostras é relativo ao grau de confiança desejado e possível.

A escolha do modelo estatístico depende de uma série de observações, visto que o modelo envolve vários coeficientes e variáveis climáticas independentes para estimar o crescimento. Já existem alguns modelos ajustados que descrevem os fatores biológicos e fisiológicos mais importantes, aos quais os fatores climáticos como precipitação e temperatura são associados e afetam o crescimento, não sendo necessário nestes casos antecipar os pesos para os coeficientes. É sempre recomendável testar uma variedade de combinações de dados climáticos observados em diferentes intervalos de tempo para se concluir quais os fatores estão relacionados à resposta das árvores estudadas. Como alguns fatores ambientais são limitantes em determinados meses do ano e em outros meses os fatores limitantes são outros, deve-se evitar resumir os dados climáticos a intervalos de tempo que incluam relações direta e inversa de crescimento em função do fator ambiental, para que os efeitos não se cancelem e possam gerar relações estatísticas evidentes.

Existem diversos métodos estatísticos para testar a associação entre as variáveis, sendo o coeficiente de correlação um dos mais utilizados para medir a associação entre os anéis de crescimento e o clima. O método de redução do erro é aplicado aos dados independentes para medir a associação entre a série de valores reais e suas estimativas. Mas, se aplicado à série de

dados dependentes, o resultado é equivalente ao coeficiente de correlação ao quadrado, e mede a variância percentual calibrada pela relação. Outra abordagem da calibração e da associação entre a largura dos anéis e o clima envolve a utilização de tabelas de contingência. Para montar a tabela, divide-se o conjunto de dados de largura de anéis e de clima em classes do mesmo tamanho e estima-se a ocorrência conjunta através do teste do qui-quadrado e do coeficiente estatístico de contingência. As classes de distribuição normal são formadas através da média e do desvio padrão do conjunto de dados. Uma das vantagens deste método é que a relação entre as variáveis não precisa ser linear, e a desvantagem é que só é possível agrupar dados de diferentes estações climáticas, se os efeitos dos fatores ambientais forem os mesmos.

Para lidar com o efeito limitante dos fatores ambientais que variam de um mês para o outro ao longo do ano os métodos multivariados de análise são os mais apropriados. Uma vez que a variação na largura dos anéis raramente é causada por um único fator limitante e que os fatores podem apresentar diferentes graus de importância ao longo do ano, além de seu efeito às vezes estar condicionado à ocorrência conjunta de outro fator climático, como por exemplo, disponibilidade hídrica e temperatura, as relações de crescimento-clima, são melhor representadas por um sistema que relacione diferentes variáveis. Para selecionar as variáveis mais importantes pode-se calcular a simples correlação entre as diversas variáveis e a largura dos anéis, e então selecionar as de maior correlação para o ajuste.

No entanto, em geral as variáveis climáticas estão melhores correlacionadas entre si, do que com o crescimento. Sendo assim, para lidar com estas diferenças de intercorrelação uma alternativa é adotar uma das diversas técnicas estatísticas de regressão múltipla ou correlação múltipla. A regressão múltipla é o processo estatístico que resolve a intercorrelação variável

a partir de uma equação que expresse o efeito relativo de cada variável no crescimento.

O ajuste da regressão se dá pela “teoria dos quadrados mínimos”, e em geral é utilizada para descrever, testar e medir as variáveis climáticas que estão relacionadas com as variações no crescimento. Os coeficientes da regressão devem sempre ter sua significância testada, pelo teste “t de Student”, por exemplo. Como cada variável que entra na regressão consome um grau de liberdade, o número de amostras em geral limita a quantidade de variáveis a serem usadas na equação.

Para selecionar um número pequeno de variáveis, quando se tem diversas possibilidades, pode-se usar o procedimento da regressão Stepwise, que adiciona em etapas variáveis de alta correlação, ou ainda a regressão, após extrair os componentes principais (autovetores). Essa contorna os problemas de intercorrelação, transformando as variáveis independentes em um conjunto de variáveis descorrelacionadas, chamadas de componentes principais ou autovetores. Nos estudos dendrocronológicos os autovetores devem ser derivados do conjunto de dados climáticos ou do conjunto de dados de largura dos anéis. Para extrair os autovetores monta-se uma matriz de correlação com os valores dos coeficientes de correlação de cada variável com todas as demais, e através de procedimentos matemáticos obtêm-se da matriz anterior a matriz de autovetores. Multiplica-se então a matriz de autovetores pelos dados climáticos normalizados e obtêm-se a matriz de amplitudes, a qual representa uma série temporal que expressa quão bem os dados de cada ano se assemelham a um autovetor em particular. Amplitudes grandes e positivas indicam que os dados climáticos se assemelham aos autovetores de maneira direta, amplitudes negativas de maneira indireta, e se a amplitude for zero, não existe correlação.

Como a matriz de amplitude contém as mesmas informações do conjunto de dados originais normalizados, arranjados em novas variáveis descorrelacionadas, pode-se assim ordenar as variáveis de acordo com sua importância, e eliminar alguns autovetores para reduzir ruídos e o número total de variáveis a serem usadas. O reduzido conjunto de amplitudes passa então a ser usado como variável independente na regressão Stepwise, no lugar dos dados climáticos originais. No ajuste da regressão, os coeficientes são multiplicados pela amplitude dos autovetores em cada etapa, e diferentes funções de resposta são obtidas. Primeiramente as amplitudes que são altamente correlacionadas com a cronologia de largura dos anéis são incluídas na regressão, e uma combinação linear de autovetores expressa o padrão de crescimento em resposta ao clima.

A cada passo em que se adicionam mais variáveis, os detalhes mais precisos das respostas ao crescimento começam a se manifestar. O método sugere que quanto mais a série de amplitudes se assemelha à cronologia de largura dos anéis, mais os autovetores correspondentes se assemelharão à maneira como as árvores respondem ao clima. Em geral, existe maior significância nos resultados das funções de resposta do que em uma análise simples de regressão Stepwise e a função apresenta ainda pesos para as variáveis, o que facilita a visualização das respostas ao crescimento.

Outra ferramenta de trabalho, nas análises dendrocronológicas, é a função de transferência, que em geral é derivada da mesma maneira que a função de resposta, variando em relação a essa, apenas nas variáveis usadas como independentes e dependentes. Ou seja, a função de transferência é obtida pela performance de uma análise de regressão onde a cronologia de largura de anéis é a variável independente usada para estimar os dados climáticos, considerados a variável dependente. A partir dessas ferramentas, podem-se analisar relações clima-crescimento e

fazer reconstruções de séries históricas, bem como predições de crescimento, para subsidiarem diversos estudos relacionados à conservação das florestas.

Fonte:

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p.

Interpretação das calibrações climáticas, reconstrução e verificação

Vitor Dressano Domene

Graduando em Engenharia florestal, Universidade Federal do Paraná,
vitordressanodomene.d2@gmail.com

Várias técnicas vem sendo descritas para calibrar as variações na largura do anel de crescimento das árvores com as variações climáticas e para reconstruir as variações passadas do clima. As calibrações mais simples geralmente envolvem poucas análises estatísticas e dependem de uma visão biológica para o reconhecimento e documentação de algum tipo de relação. Para isto, pode-se utilizar a função de resposta multivariada, que é aplicada para estimar a largura do anel de crescimento através de dados climáticos, onde a maioria das funções de resposta é calculada utilizando a temperatura média mensal e o total de precipitações mensais para regiões climáticas homogêneas.

Pode-se inferir a partir destas funções de resposta que os anéis de crescimento são mais largos quando a precipitação é maior que a média ou que a temperatura não está nem muito elevada nem muito baixa, sendo que ambos são fatores que ajudam a manter um balanço hídrico favorável, propiciando um melhor desenvolvimento para a planta. Temperaturas acima da média e umidade alta antes da estação de crescimento também podem favorecer o crescimento, uma vez que a junção desses fatores ajuda a promover a atividade fisiológica mais rápida nas árvores.

É nítido que a precipitação e a temperatura são fatores climáticos que afetam o crescimento das árvores, seja direta ou inversamente. No caso da temperatura, ela afeta diretamente a largura do anel quando, por exemplo, no período de inverno baixas temperaturas podem limitar a respiração, fotossíntese

e outros processos bioquímicos que são essenciais para o crescimento da planta, provocando um estado de dormência na mesma. Já a relação inversa do crescimento com a temperatura ocorre quando a temperatura do ar é elevada durante períodos em que as raízes estão frias ou congeladas, o que pode provocar um estresse hídrico interno severo e danos nas folhas e tecidos expostos ao ar.

A precipitação é provavelmente a variável climática que mais influencia na largura do anel de crescimento e sua relação direta com o crescimento está comumente correlacionada a locais áridos e semiáridos devido a baixa umidade do solo e ao estresse hídrico interno que limitam o desenvolvimento. Correlação inversa entre a precipitação e o crescimento é menos comum do que correlação direta e, quando ocorre, em geral é por estar correlacionada com outros fatores mais limitantes. Por exemplo, em locais onde a drenagem do solo é pobre, a umidade excessiva pode reduzir oxigênio do solo e inibir o crescimento de raízes.

A análise da função de resposta fornece uma ferramenta excepcionalmente precisa para a identificação do crescimento das árvores através do relacionamento com dados climáticos. Considerando o fato de que as funções de resposta representam uma expressão linear de sistemas biológicos muito complexos que respondem aos microambientes, e que os microclimas são apenas parcialmente acoplados ao microclima de uma grande região climática, a porcentagem de variância no crescimento do anel devido ao clima parece ser substancial. No entanto, a técnica de função de resposta apresenta algumas limitações, como a falta de confiança em todos os registros climáticos, principalmente os mais antigos, e por não conseguir representar de forma adequada a interação não linear entre as variáveis. Em todo caso, uma vez que as funções de resposta podem ser usadas para determinar os efeitos das variações climáticas sobre o crescimento na largura do anel em uma variedade de

sítios, esses podem ser utilizados para testar a adequação da informação reunida a partir de áreas, extrapolando a análise do ecossistema para outros locais, em especial para aqueles que representam locais de supressão, próximos aos limites naturais da floresta.

A fim de se obter o máximo de informação diversa possível, um número mínimo de sítios e de espécies em uma área deve ser amostrado. Cada cronologia de largura do anel pode ser calibrada diretamente com os dados climáticos disponíveis, e as calibrações podem ser usadas para determinar quais informações associadas às cronologias registraram o clima do passado. Essas cronologias, com o conjunto mais diversificado de funções de resposta, podem ser selecionadas e uma função de transferência pode ser calculada para converter as variações nas cronologias selecionadas em variações climáticas.

O principal objetivo da dendroclimatologia é a reconstrução do clima passado. Uma abordagem típica para a reconstrução tem sido a de identificar quais os parâmetros climáticos correspondem à variação pertencente à largura do anel, para examinar o registro da largura do anel e para a variação irregular do crescimento e, em seguida, para deduzir a variação adequada dos parâmetros climáticos das anomalias no crescimento.

A função de transferência multivariada transforma os valores da largura do anel em estimativas de dados climáticos e é utilizada para realização da reconstrução do clima. Este método pode ser utilizado para outras finalidades como a estimativa da vazão dos rios, uma vez que as variáveis climáticas que afetam a vazão são as mesmas que controlam a largura do anel de crescimento, sendo assim, as mesmas podem ser usadas nas estimativas das vazões passadas. Outra aplicação para a função de transferência é na variação climática que afeta o sistema biológico, uma vez que a variação na largura do anel pode estar relacionada

com as variações na superfície do mar. Isto ocorre, pois com o aumento da temperatura na superfície do oceano, aumentam as tempestades nas costas do continente, proporcionando maior disponibilidade hídrica o que favorece o desenvolvimento da árvore.

Técnicas de calibração como função resposta e a função de transferência são ferramentas úteis para reconstrução de variáveis climáticas através do crescimento passado, ou vice e versa. Observou-se que existem altas correlações para diversas variáveis climáticas e a largura do anel, mostrando o potencial da dendroclimatologia como campo de pesquisa.

Fonte:

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p

Reconstruindo as variações espaciais do clima

Andreia Taborda dos Santos

Engenheira florestal, Mestre, andreiataborda@yahoo.com.br

Dependendo da sua relação com os sistemas planetários que orientam os ciclones e anticiclones sobre as regiões específicas, as correlações podem ser diretas ou inversas, como por exemplo, os invernos podem ser secos no sudoeste do Pacífico da América do Norte durante os anos em que as tempestades de inverno estão passando ao longo do noroeste do Pacífico, e da mesma forma, anos de invernos frios no leste dos Estados Unidos podem ser anos de invernos quentes no Ocidente.

Como resultado dessas longas distâncias e correlações, há certa quantidade de informações sobre a variabilidade climática que não é aleatória sobre o globo. O armazenamento e a troca de energia entre os vários componentes do sistema Terra-atmosfera pode diminuir a variabilidade dos sistemas de circulação e criar uma quantidade de registros climáticos.

Por exemplo, as taxas de resfriamento no outono e do aquecimento na primavera são regidas pelas taxas de energia liberada e armazenada na superfície da terra e da água. Um oceano anormalmente quente ou frio pode ser responsável por um clima persistente sobre os continentes próximos. Grandes massas de gelo, tais como as que ocorreram 17.000 anos atrás, podem estar associadas em longo prazo, com as mudanças climáticas, mesmo em regiões onde o gelo não estava presente.

Persistência nos vários parâmetros de tempo e clima pode levar a autocorrelação substancial no registro climático e intercorrelações entre as variáveis climáticas nas diferentes regiões. Tem sido estabelecido que as larguras dos anéis de

crescimento são especialmente adequadas para a análise do clima passado, porque as camadas de crescimento podem ser datadas com precisão.

Inferências de ano para ano-clima de anéis de crescimento são complexas, pois parte da resposta do crescimento da árvore não depende apenas de um evento climático. A compreensão da resposta de crescimento para as espécies e sítios é, portanto, necessária para a construção de um modelo apropriado para a calibração.

Os resultados de diferentes modelos são testados a fim de selecionar a melhor relação estatística. Esta é então aplicada a anéis anuais de crescimento para obter estimativas climáticas anuais.

Uma vez que uma função de transferência é obtida, pode ser aplicada aos dados de anéis de crescimento para cada ano para obter as reconstruções.

Por causa da imensa quantidade de dados climáticos e a dificuldade em resumir estas reconstruções de um ano em um momento, é necessário encontrar uma maneira rápida de caracterizar os padrões climáticos. Um método utilizado na análise preliminar envolve uma média de dados por décadas. No entanto, notou-se que as variações climáticas não se limitam a intervalos arbitrariamente designados de tempo.

Reconstruções climatológicas de pressão atmosférica, temperatura e precipitação foram descritos para os meses de inverno, e as mesmas técnicas têm sido aplicada a dados climáticos para outras estações do ano. Para alguns modelos de reconstrução para o verão, observa-se correlação de crescimento com atraso de um ano, de modo que as estimativas a partir de um determinado conjunto de anéis de crescimento são, para o clima, as que ocorreram no ano anterior.

O crescimento das árvores pode ser usado como evidência direta da variação climática e aplicado para verificar ou documentar reconstruções climáticas. Os anéis de crescimento já foram testados e parecem ser consistentes com as anomalias de pressão reconstruídos para a mesma área e período de tempo. Outros tipos de dados climáticos devem ser avaliados, pois podem ser utilizados para verificar, validar, ou complementar reconstruções dendroclimatológicas.

Registros oficiais e anéis de crescimento não são únicas as fontes de dados disponíveis para a reconstrução climática e verificação. Outras informações estão disponíveis em materiais históricos como jornais, diários de bordo, relatos de colheitas, registros de congelamento, observações sobre os eventos fenológicos, dentre outros.

Os dados precisos e objetivamente derivados dos anéis de crescimento deverão contribuir significativamente para a compreensão do homem sobre o clima. Estas reconstruções climáticas são únicas na medida em que eles fornecem uma sequência de tempo contínuo. Além disso, as reconstruções são objetivamente derivadas, não subjetivamente inferidas, de modo que elas fornecem uma precisão não encontrada na maioria dos dados paleoclimáticos. A precisão temporal das reconstruções pode ser de especial valor para a análise climatológica.

Os detalhes das inter-relações são extremamente complexos, mas as características de toque e da natureza essencial das relações climáticas podem ser estatisticamente medidas, modeladas e os efeitos líquidos do clima sobre o crescimento expressos em forma de função de resposta. Funções de transferência podem ser objetivamente derivadas e aplicadas à informação dos anéis de crescimento passados para obter estimativas de variações que aconteceram no clima.

Também tem sido demonstrado que a calibração não necessita ser limitada ao microambiente específico de onde as amostras foram coletadas. É muitas vezes preferível utilizar médias regionais de clima em vez de dados específicos do local para a calibração, porque as variações macroclimáticas médias para uma região não são apenas altamente correlacionadas com os microclimas dos sítios de árvores diferentes, mas são muitas vezes mais representativas em grande escala. Além disso, as variações em grande escala são mais estreitamente relacionadas com as grandes variações climáticas no mundo.

A precisão das reconstruções climáticas em qualquer local ou período de tempo deverá melhorar devido aos mais diversos conjuntos de anéis de crescimento, pois os dados são obtidos a partir de uma ampla variedade de espécies, locais, regiões e continentes.

Fonte:

FRITTS, H. C. **Tree rings and climate**. London: Academic Press, 1976. 567 p.

Embrapa

Florestas

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 10005