**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**

**INSTITUTO DE FÍSICA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

# "DENDROCRONOLOGIA: MÉTODO MATEMÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DA IDADE DAS ÁRVORES"

**JOÃO DE VASCONCELLOS COELHO**

**Prof. Dr. Shozo Shiraiwa**
**Orientador**

**Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira**
**Co-orientadora**

CUIABÁ, MT

Julho de 2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO**

**INSTITUTO DE FÍSICA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

# "DENDROCRONOLOGIA: MÉTODO MATEMÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DA IDADE DAS ÁRVORES"

**JOÃO DE VASCONCELLOS COELHO**

Tese de doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutor em Física Ambiental.

**Prof. Dr. Shozo Shiraiwa**
**Orientador**

**Profa. Dra. Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira**
**Co-orientadora**

Cuiabá, MT
Julho de 2011

**Dados Internacionais de Catalogação na Fonte**

C672d Coelho, João de Vasconcellos.
"Dendrocronologia : método matemático para determinação da idade das árvores" / João de Vasconcellos Coelho. -- 2011.
viii, 89 f. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Shozo Shiraiwa.
Co-orientadora: Marta Cristina de J. A. Nogueira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2011.
Inclui bibliografia.

1. Dendrocronologia. 2. Idade de árvores – Método matemático. 3. Anéis de crescimento - Árvores. 4. Cambará. I. Título.

CDU 630*55:51

Ficha Catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Jordan Antonio de Souza - CRB1/2099
**Permitida a reprodução parcial ou total desde que citada a fonte**

# DEDICATÓRIA

A Deus e a minha família, minha esposa, e meus filhos: Leomira Meira Coelho, Renata Meira Coelho, Marina Meira Coelho, Gustavo Meira Coelho e André Coelho, que sempre deu apoio e conforto, com amor e dividindo-me com o trabalho.

# AGRADECIMENTOS


- Desejo expressar minha gratidão especialmente as seguintes pessoas: Prof. Dr. José de Souza Nogueira, Coordenador do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, pela criação deste programa de Mestrado e Doutorado.
- Ao Prof. Dr. Shozo Shiraiwa que orientou esse trabalho, pela dedicação com que aceitou conduziu e respeitou meu pensamento.
- À Profa. Dra. Marta Cristina J. A. Nogueira, que co-orientou esse trabalho, pelas valiosas contribuições na redação e o seu conhecimento na área de madeiras.
- Prof. Dr. Sérgio Roberto Paulo, pelas discussões e contribuições nas análises dos resultados.
- Ao Prof. Msc. Flair José Carrilho, pelo auxilio na montagem das apresentações e ilustrações deste trabalho.
- À Profa. Msc. Soilce Carrilho, Secretaria do Programa, no auxilio durante o Curso de Doutorado.
- Ao Prof. Ms. Guilherme Barros Seixas, pela sugestão e fornecimento de um disco de Cambará utilizado neste trabalho.
- A tantos que tornaram possíveis e ajudaram a realização deste trabalho, principalmente aos amigos, professores e alunos da UFMT e a outros que viram nele uma forma de crescimento da ciência brasileira.
- Á numerosas pessoas, colegas e amigos com quem tive o prazer de trabalhar ao longo destes anos.

## SUMÁRIO

# Sumário

**1. INTRODUÇÃO ..... 1**
1.1 OBJETIVO ..... 2
1.2 JUSTIFICATIVA ..... 2
**2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA ..... 4**
2.1 OS ANÉIS E A HISTÓRIA ..... 4
2.2. DATAÇÃO POR ANEL DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES ..... 4
2.3 AVALIAÇÃO DA IDADE, PRECISÃO DOS RESULTADOS ..... 15
2.4. ANO E ESTAÇÃO DO ABATE, AMOSTRAGEM E CRONOLOGIA DAS MADEIRAS ..... 18
2.5. RETORNO TEÓRICO DO TEMPO E REFERENCIAL REGIONAL ..... 22
2.6. ENTRADA DE UM NOVO LOTE DE MADEIRAS NUM SISTEMA DE REFERÊNCIA ..... 24
2.7. CONFIANÇA NOS RESULTADOS ..... 28
2.8. CONSEQUÊNCIA DA DATAÇÃO DENDROCRONOLÓGICA ..... 31
2.8.1. CARTOGRAFIA DAS ESCAVAÇÕES ..... 31
2.8.2. CONHECIMENTO DOS PALEOAMBIENTES E SINAIS ANTRÓPICOS ..... 32
2.8.3. CLIMA, METEOROLOGIA E DENDROCRONOLOGIA, NOÇÃO DE ÍNDICE DE CRESCIMENTO ..... 35
2.8.4. HISTÓRIA E COMÉRCIO ..... 42
2.8.5. PERSPECTIVAS PRÁTICAS ..... 43
2.9. OUTROS MÉTODOS DE DATAÇÃO ..... 44
2.9.1. MÉTODO DE DATAÇÃO PELO CARBONO-14 ..... 45
2.9.2. Método de ressonância magnética do elétron. ..... 47
2.10. A DENDROCRONOLOGIA NO BRASIL ..... 47
2.10.1. DESEJO NACIONAL DE INVESTIGAÇÕES TÉCNICAS E CIENTÍFICAS ..... 47
2.10.2. CONHECER A IDADE DAS ÁRVORES, IMPORTÂNCIA E APLICAÇÃO ..... 48
2.10.3 ESTUDO DENDROCRONOLÓGICO DAS ÁRVORES DA MATA ATLÂNTICA ..... 49
2.10.4 DENDROCRONOLOGIA DE ESPÉCIES DE FLORESTA OMBRÓFILAS MISTA DO MUNICÍPIO DE CANDÓI, PR ..... 50
**3. MATERIAL E MÉTODO ..... 54**
3.1. MATERIAL ..... 54
3.2. MÉTODO ..... 59
3.2.1. FORMAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO EM UMA ÁRVORE. 61
3.3. OS ANÉIS DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES E AS ESPÉCIES ..... 61
3.4. MÉTODO MATEMÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DA IDADE DAS ÁRVORES ..... 73
**4. RESULTADOS ..... 78**
4.1. PORQUE ESCOLHER O CAMBARÁ PARA ESTUDO DENDROCRONOLÓGICO DO PANTANAL? ..... 78
4.2 COLETA DE AMOSTRA DE CAMBARÁ ..... 78

4.3 OS ANÉIS DE CRESCIMENTO DO CAMBARÁ. ..... 80
4.4. DETERMINAÇÃO DA IDADE DE UMA ÁRVORE A PARTIR DE UM FRAGMENTO. EXEMPLO PRÁTICO. ..... 81
4.4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO NAS ÁRVORES DA TABELA 1 (PAG. ) ..... 83
**5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO ..... 84**
5.1 COMENTARIOS FINAIS ..... 85
**6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 87**

# LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1– PADRÃO DOS ANÉIS DAS ÁRVORES DE CARVALHO DE GARRY BOG (IRLANDA DO NORTE) QUE VIVERAM O EPISÓDIO DE 1628 A.C. (TURNEY (2007).....7
FIGURA 2– PERÍODO DE FRIO INTENSO NA EUROPA, IDENTIFICADO PELA DENDROCRONOLOGIA (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005)..... 12
FIGURA 3 CORRELAÇÃO DOS CRESCIMENTOS DAS ÁRVORES. (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005). .. 14
FIGURA 4- CRONOLOGIA DAS MADEIRAS DA IGREJA DE SAINT-JEAN-DE- NAROSE DE SANTENAY (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005). ..... 17
FIGURA 5– DENDROCRONOLOGIA: PRINCÍPIO DA COMPARAÇÃO DOS TEMPOS (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005)..... 19
FIGURA 6– PRINCÍPIO DA MEDIÇÃO DO TEMPO POR DENDROCRONOLOGIA (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005)..... 21
FIGURA 7– DATAÇÃO SOBRE UM REFERENCIAL (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005). ..... 23
FIGURA 8– REDUÇÃO DO CRESCIMENTO DOS ANÉIS ENTRE 1159 E 1141 A. C. OBSERVADOS SOBRE QUATRO SÍTIOS DA IRLANDA. (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005)..... 27
FIGURA 9– HISTÓRIA E VULCANOLOGIA: AS REVELAÇÕES DOS ANÉIS CAUSADAS PROVAVELMENTE POR ATIVIDADES VULCÂNICAS (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005). ..... 28
FIGURA 10– MADEIRAS DO VIGAMENTO DE NOTRE-DAME DE PARIS. (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005)..... 33
FIGURA 11– OBTENÇÃO DE SINAIS CLIMÁTICOS A PARTIR DA LARGURA DOS ANÉIS. (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005)..... 37
FIGURA 12– ÍNDICES DE CRESCIMENTO E ÍNDICES CLIMÁTICOS: UM EXEMPLO SOBRE A IDADE MÉDIA (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005)..... 38
FIGURA 13– MÉTODOS DE DENDROCLIMATOLOGIA (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005). ..... 41
FIGURA 14– DENDROCRONOLOGIA DAS OBRAS DE ARTE (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005). ..... 43
FIGURA 15- CAMBARÁ (*GOCHNATIA POLYMORRPHA*) ..... 55
FIGURA 16- REPRESENTAÇÃO DA CASCA E DA MADEIRA DO CAMBARÁ..... 55
FIGURA 17- CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS ..... 56
FIGURA 18- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO. ..... 58
FIGURA 19- REPRESENTAÇÕES DO CRESCIMENTO DE UMA ÁRVORE. (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005)..... 60
FIGURA 20- DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DAS ESSÊNCIAS MAIS UTILIZADAS EM DENDROCRONOLOGIA. (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005). ..... 63
FIGURA 21– DENDROCRONOLOGIA: ESCOLHA DE AMOSTRAS. ..... 65
FIGURA 22– CONICIDADE DOS ANÉIS E TRABALHO DE CARPINTEIRO..... 66
FIGURA 23– ANATOMIA DO TRONCO E DOS ANÉIS..... 67
FIGURA 24– DETALHE DO ANEL MAIS PERIFÉRICO (MODIFICADO DE LAMBERT,2005). ..... 70
FIGURA 25– LEITURA DOS ANÉIS E REPRESENTAÇÃO GRÁFICA (MODIFICADO DE LAMBERT, 2005)..... 71
FIGURA 26- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA PARA DETERMINAÇÃO DO CALOR ESPECÍFICO..... 73
FIGURA 27- ESQUEMA DA DISTRIBUIÇÃO DOS ANÉIS NA SEÇÃO TRANSVERSAL DA MADEIRA..... 74
FIGURA 28. DETERMINAÇÃO DO RAIO $R_1$ DA AMOSTRA. EM VERMELHO ESTÁ O CONTORNO DA AMOSTRA E EM PRETO TRÊS DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO. ..... 75
FIGURA 29- TRONCO ONDE RETIROU-SE OS DISCOS DA MADEIRA CAMBARÁ ..... 79
FIGURA 30- DISCO DA MADEIRA CAMBARÁ PARA PREPARO DOS CORPOS-DE-PROVA..... 79
FIGURA 31 – DIAGRAMA DA ESPESSURA DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO DO CAMBARÁ..... 80
FIGURA 32-SECÇÃO TRANSVERSAL DE UM TRONCO DE ÁRVORE ..... 82

# TABELA

**Tabela 1** - Espécie, diâmetro, idade, crescimento anual médio, crescimento periódico nos últimos10 anos.....62

# LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 45
EQUAÇÃO 2 45
EQUAÇÃO 3 46
EQUAÇÃO 4 72
EQUAÇÃO 5 74
EQUAÇÃO 6 74
EQUAÇÃO 7 75
EQUAÇÃO 8 75
EQUAÇÃO 9 76
EQUAÇÃO 10 76
EQUAÇÃO 11 76
EQUAÇÃO 12 76
EQUAÇÃO 13 76
EQUAÇÃO 14 77
EQUAÇÃO 15 77
EQUAÇÃO 16 77

# RESUMO

COELHO, J. V. **Dendrocronologia: Método matemático para determinação da idade das árvores**. Cuiabá, 2011. 89p. Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

A dendrocronologia tem como base a contagem dos anéis de crescimento. A largura de um anel é resultado de um efeito anual e as causas das variações climáticas durante um ano podem também ser atribuídas a variações na radiação solar; devido ao aumento do albedo. Períodos muito frios ficam registrados nos anéis mais estreitos dos troncos das árvores. O objetivo principal é propor um método matemático que possibilite encontrar a idade de uma árvore a partir de um fragmento de um disco de árvore com parte dos anéis de crescimento. Outros dois objetivos foram trabalhados também nesta tese: Aplicar o método dendrocronológico em uma amostra de árvore nativa e apresentar uma revisão para mostrar como a dendrocronologia pode auxiliar o estudo do clima pretérito, numa escala de centenas de anos, auxiliando os estudos de mudanças climáticas. Uma amostra nativa de cambará, oriunda do Pantanal Matogrossense, foi colhida e sua idade foi estimada em 50 anos pela dendrocronologia. O método para determinar da idade de uma árvore, quando se dispõe apenas de um fragmento encontrado é apresentada, fazendo-se uso de uma relação geométrica simples entre os anéis, partindo da condição de que a espessura dos anéis de crescimento das árvores decai em uma razão linear, isto é, o coeficiente angular da reta de decaimento da espessura dos anéis é constante.

**Palavras-chave:** Anéis de crescimento, clima, história, cambará.

# ABSTRACT

COELHO, J. V. **Dendrochronology: Mathematical method for determining the age of trees**. Thesis (Ph.D. in Environmental Physics), Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

Dendrochronology is based on counting the growth rings. The width of a ring is the result of a year effect and the causes of climatic variations during a year can also be attributed to variations in solar radiation due to increased albedo. Very cold periods are recorded in the narrowest rings of tree trunks. The dramatic reduction in carbon dioxide in the atmosphere causes a reduced temperature. The main objective is to propose a mathematical method that allows to find the age of a tree from a fragment of a disc with part of the tree growth rings. Two other goals were also worked in this thesis: Apply the dendrochronological method in a sample of native tree and present a review to show how dendrochronology can aid the study of past climate on a scale of hundreds of years, helping the studies of climate change. A sample of native cambará, arising from the Pantanal, cropped and his age was estimated at 50 years by dendrochronology. The method for determining the age of a tree, when only a fragment found is presented, making use of a simple geometric relationship between the rings, and based on the condition that the thickness of growth rings of trees declines reason in a linear, ie, the angular coefficient of the slope of decrease the thickness of the rings is constant.

**Keywords**: Rings of growth, climate, history, *Gochnatia polymorrpha.*

# 1. INTRODUÇÃO

O planeta enfrenta atualmente um dos maiores problemas de todos os tempos. Recentemente foi estimado que o número das espécies de árvores que estão em fase de extinção é alto. Acredita-se que a cada ano desaparecem da Terra entre vinte e cinco mil e cinquenta mil espécies (TURNEY, 2007), muitas delas sem que se tenha identificado adequadamente.

Inúmeras informações guardadas no interior de cada uma durante séculos, ou milênios foram banidas para sempre da cultura humana pela ambição do ganho. São cifras extremas que parecem competir com as grandes extinções da história. Se acrescentarmos uma possível mudança climática a recuperação no futuro será muito difícil. O planeta é extremamente jovem e sua regeneração não ocorrerá num curto prazo de tempo. Porém no Brasil o desmatamento atingiu mais de 2500 $km^2$ por ano em 2003 e 2004 (INPE, 2009).

A dendrocronologia pode experimentar maior desenvolvimento auxiliado pelas pesquisas favorecidas pela grande diversidade das espécies. Estima-se que 25,45% das espécies contêm distintos anéis de crescimento cujo emprego deveria ser incrementado para estudo em escala continental sobre o paleoclima relacionado com as condições pluviais (ROIG, 2006).

Mato Grosso com área de 906 806 $km^2$, fica na Região Centro-Oeste do Brasil. A vegetação na região amazônica, na parte norte do estado, possui grandes árvores, solo pobre, e sobrevive de húmus e folhas. A maior parte do estado é ocupada pela vegetação do cerrado com 85% da área ocupada pela agricultura da soja e do algodão. No pantanal, maior área alagada do mundo, a vegetação é de campo úmido, com períodos bem marcados de cheia e seca.

A dendrocronologia procura alcançar, com grande precisão, a data do corte das árvores. Procura também, descobrir o ano da sua utilização nos trabalhos de marcenaria, fabricação de móveis, construção de casas. Além disso, permite o estudo da história e do clima do passado, tendo como objeto principal a identificação das

datas do nascimento e morte das árvores, juntamente com as datas da formação dos anéis mais estreitos e os mais largos, desprezando-se os intermediários, procurando encontrar o ano em que os eventos históricos ocorreram.

## 1.1 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é propor um método matemático que possibilita encontrar a idade de uma árvore a partir de um fragmento de um disco de árvore com parte dos anéis de crescimento.

Outros objetivos:

Mostrar como correlacionar a espessura dos anéis, o clima e a história. Desta forma na revisão bibliográfica foi orientado no sentido de encontrar a correspondência entre os anéis mais atípicos e a possibilidade de fixar a data da sua formação causada pelo comportamento do clima cujos efeitos sobre o ser humano foram citados na história dos povos da antiguidade.

Avaliar a idade de uma árvore nativa através da contagem dos anéis de crescimento, interpretar as diferentes espessuras dos anéis de crescimento e relacionar com os eventos paleoclimáticos.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A dendrocronologia estuda o desenvolvimento das árvores através da medida dos anéis de crescimento ao longo de muitos raios. É a ciência que analisa os anéis marcados nos troncos, possibilitando estabelecer uma correspondência entre a espessura dos anéis, o clima do passado e a sua influência nos eventos históricos com as respectivas datas. Na datação por anel de crescimento das árvores, mostra-se a importância do conhecimento da dendrocronologia para a confirmação de como o clima do passado atuou no modo de vida dos antigos povos do planeta.

O paleoambiente e os sinais antrópicos são descritos na tese citando a ação da natureza e do homem no formato dos anéis como: desmatamento brutal, abertura de

poços, secagem rápida do lençol freático, incêndios, raios e roedores. Outros métodos descrevem as datações recorrendo ao decaimento radioativo do carbono-14 e da ressonância magnética do elétron.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## 2.1 OS ANÉIS E A HISTÓRIA

Teofrasto discípulo de Aristóteles, 370 a.C. em um dos seus nove livros sob o título *Peryphytön Historia* (Investigando as plantas), descreve os anéis dos troncos das árvores, afirmando que havia uma relação entre os anéis de crescimento das árvores e o meio ambiente. No livro seis *Peryphytönaitiön* (Etiologia das plantas) cita a influência do clima na formação dos anéis. Tudo graças ao princípio de que a cada ano a maioria das árvores cresce em um anel (BENTON, 1973).

No Renascimento, Leonardo da Vinci, uma das mentes mais brilhantes da história, pensou em utilizar os anéis das árvores para reconstruir o passado. Outros investigadores da mesma época pensaram de forma semelhante. Leonardo da Vinci sugeriu que a largura dos anéis estava relacionada com a presença da água no ambiente e propôs um método para reconstruir o clima do passado.

Em 1837, Charles Babbage, “o pai da informática”, postulou que se poderia superpor os padrões dos anéis de diferentes árvores para formar um calendário contínuo que remontasse ao passado distante. No final da década de 1980 havia especialistas em anéis em muitos países dedicando-se ao estudo do clima. Suas observações coincidiram em registrar que houve um período claramente frio que começou em 1628 (LAMBERT, 2005).

## 2.2. DATAÇÃO POR ANEL DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES

O primeiro protocolo de datação por meio dos anéis foi elaborado pelo astrônomo Andrew Eliot Douglas, para o estado americano do Arizona. A variação

no crescimento dos pinheiros do subgênero *pinus ponderosa* impeliu a acreditar que havia uma dependência da radiação solar em ciclos de onze anos (TURNEY, 2007). O mesmo autor registra que na década de 1914 trabalhou com árvores vivas, posteriormente dirigiu suas pesquisas para um passado distante. Arqueólogos que trabalhavam em antigos assentamentos de nativos americanos, como o de *Pueblo Bonito* no *Chaco Canyon* e os astecas no Novo México, começaram a justapor às imagens dos anéis dos troncos de diversas árvores, resultando daí a primeira cronologia mestra, mudando mais tarde para o termo Dendrocronologia, para denominar este método.

Douglas tardou muitos anos, durante algum tempo houve um vazio entre as árvores relacionadas com o presente e aquelas encontradas nos depósitos onde os anéis seguiam padrões claramente distintos. As outras árvores seriam mais antigas. Foram organizadas expedições nas quais aproveitou o conhecimento da cerâmica das culturas nativas norte americanas visando preencherem o vazio cronológico.

A descoberta de Douglas não encontrou unanimidade entre seus colegas (sua carreira era muito caótica). Fundou o laboratório de dendrocronologia de Tucson (USA, Arizona) que rapidamente produziu pesquisadores eficazes. Foi deste laboratório que surgiu a mais formidável aventura científica paleo-ecológica do século que culminou com a calibração do radiocarbono pela dendrocronologia (GONÇALVES, 1981).

Na década de 1929 desenterrou uma viga queimada que comparou com a franja cronológica com datação conhecida que pertencia ao passado. O calendário dos anéis se estendia há mil anos rumo ao passado (BAILLIE, 2004).

Turney (2007) relata um exemplo famoso, trata-se de um jovem cientista que trabalhava na datação com anéis do pinheiro *longaeva* em 1964. Uma furadeira ficou presa no vão de uma árvore, um guarda florestal se ofereceu para cortar a árvore e recuperar seu aparelho. Depois de derrubar, o jovem investigador descobriu que a árvore tinha quatro mil novecentos e cinqüenta anéis.

Esse exemplar já estava crescendo quando foi construída a grande pirâmide de Quéops na planície de Gisé. Destruiu-se um organismo vivo mais antigo do planeta para recuperar uma ferramenta que custava o equivalente a poucas jornadas

de trabalho. O jovem nunca mais voltou a exercer a dendrocronologia (TURNEY, 2007).

O sistema de datação foi empregado com êxito na Dinamarca. Em um fiorde marinho de Raskilde foram encontradas cinco naves Vikings entre 1957 e 1959. Sua conservação era em grande parte devido à escassez de oxigênio das águas do fundo do fiorde. Provavelmente os habitantes do lugar haviam afundado os barcos para defender sua aldeia do possível ataque de outros Vikings (HOLMES, 1987).

A pergunta era: quantos barcos foram a pique? Ainda que a datação do corte da árvore não informasse aos arqueólogos quantos barcos foram feitos, ao menos se tratava de objetos de antiguidade máxima.

Todos os barcos, exceto um, foram datados no final do século X, mas o último não. Seu padrão de anéis não coincidia com nenhuma das cronologias mestres da região. Alguns especialistas indicaram que certo detalhe do desenho desta nave se assemelhava as das embarcações dos Vikings da Grã-Bretanha e da Irlanda (TURNEY, 2007).

Foi enviada uma amostra da madeira a Universidade de Queen em Belfast para uma comparação com as árvores irlandesas. As suspeitas se confirmaram. Tudo indicava que o barco foi construído na antiga cidade de Dublin, com troncos de árvores que haviam morrido em 1042. Quando o rei Haroldo perdeu a batalha de Hasting em 1066, parte da família real Anglo-Saxônica que sobreviveu, inclusive a rainha e o príncipe, fugiu para a Irlanda do Norte e dali para a Dinamarca. Poderia ser que a nave na qual abandonaram as ilhas Britânicas fosse descoberta novecentos anos mais tarde (TURNEY, 2007)?

Em 1999 Mike Baillie, da Universidade de Queen em Belfast, sugeriu uma interpretação radical dos registros dos anéis anuais de todos os países.

Baillie (2004) realizou uma análise cronológica de todo planeta, identificou pelo menos quatro períodos frios, todos eles de quatro ou cinco anos (Figura 1). O curioso é que todos aconteceram exatamente ao mesmo tempo em todo globo. Um deles estava em Santorini (conjunto de ilhas no mar Egeu) 1628 a.C.

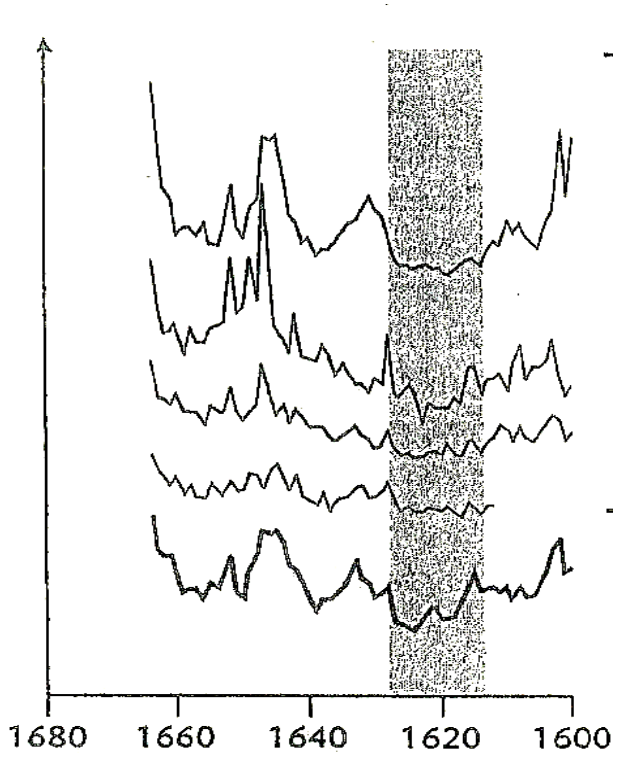



Figura 1– Padrão dos anéis das árvores de carvalho de Garry Bog (Irlanda do Norte) que viveram o episódio de 1628 a.C. (TURNEY (2007)

Pesquisas realizadas por Baillie (2004) reconheciam agora outros períodos, sendo em 2345 a.C., 1159 a.C. e 536 d.C., mas a possibilidade de existirem outros dois em 207 a.C. e 44 a.C. tratava-se de momentos históricos em que a vida não era fácil, quatro ou cinco anos maus, para seguidos crescimentos, haviam provocado outros acontecimentos mais que suficientes para por em perigo a sobrevivência de muitas sociedades.

Se voltasse a acontecer, a atual sociedade tecnológica correria grande risco. É difícil imaginar um mecanismo que possa explicar vários anos consecutivos de crescimento escasso, a idêntica datação observada em todo o planeta indica que houve uma influência mundial.

Como o episódio de 1628 a.C. se havia associado à Santorini, em princípio se pensou que estes acontecimentos eram devido a grandes erupções vulcânicas. Entretanto, hoje se considera que a atividade vulcânica não teve os efeitos catastróficos globais que se pensavam anos atrás, os supervulcões como a Caldeira de Yellowstone, nos Estados Unidos, provocaram um grande impacto na vida. A maioria das erupções, incluindo a magnitude de Santorini, tem provocado

resfriamento de vários graus centígrados que segundo sugerem os anéis, se prolongou por alguns anos e, além disso, Baillie (2004) afirmou que não se tem falado de provas de erupções vulcânicas simultâneas.

O mesmo autor verificou que outros casos aconteceram nas datas citadas e encontrou outros casos surpreendentes: os cometas. A poeira cósmica bombardeia a Terra todos os dias, quando penetra na atmosfera aparecem em forma de estrelas cadentes. A pergunta é: o que aconteceria se chegasse a Terra objetos de maior envergadura? Chocariam contra o solo? Ou explodiriam em pleno ar e produziriam uma onda expansiva que devastaria grandes áreas?

Para pensarmos nos possíveis efeitos que poderiam ocorrer provocados pelo impacto de um objeto extraterrestre no passado, pode-se ver o que aconteceu em Tunguska, na Sibéria em 30 de junho de 1908, quando um asteróide de aproximadamente quarenta metros de diâmetro explodiu a alguns quilômetros (8 quilômetros) da superfície do solo. A explosão arrasou mais de dois mil quilômetros quadrados e destruiu aproximadamente 80 milhões de árvores, não houve nenhum ponto de impacto.

Na Europa naquela época foram percebidas noites muito brilhantes, mas não se encontrou nenhuma explicação simples, somente foi tomado conhecimento porque, um intrépido explorador penetrou na região vinte anos depois desta explosão, tomou notas e fotos.

Seria necessário um asteróide muito maior que o de Tunguskaem 1908 para explicar a hipótese de Baillie (2004) sobre os períodos de esfriamento. Este cientista considera que os episódios foram obras de cometas, corpos celestes compostos de rochas e gelo.

São improváveis as explicações sobre a ação de asteróides compostos de rochas ou metais. Baillie (2004) considerou os cometas como *pedras de gelo psicopatas*, que circulam com velocidade entre vinte e cinqüenta quilômetros por segundo. A maioria dos que atingiu a terra procede dos confins do sistema solar ou do cinturão de Kuiper (que se encontra além de Netuno) ou da nuvem de Oort que está mais distante. Ocasionalmente são desprendidos destas regiões para entrar numa órbita que poderia colidir com a Terra.

Júpiter, o maior planeta do sistema solar, com seu imenso campo gravitacional que atua como escudo, atrai a maioria dos cometas. Em 1994 o hemisfério meridional de Júpiter recebeu o maior impacto de cometas jamais previsto e observado por cientistas, protagonizado por mais de vinte fragmentos do cometa Shoemaker/Levi 9. Um dos pedaços media três quilômetros de envergadura, porém colidiu com Júpiter com uma força de seis milhões de megatons, isto é, seiscentas vezes maior que todo arsenal armamentista da terra.

Seria necessário um impacto direto para gerar um resfriamento mundial. Quando um cometa orbita além do Sol, parte do seu gelo e seu pó se evapora formando a cauda, se esta for suficientemente larga poderia entrar na atmosfera e refletir para o espaço exterior aos raios solares e esfriar o planeta (BAILLIE, 2004).

É concebível que este tipo de interação provoque situações como fome e enfermidades e por fim o ocaso da civilização, sem que nenhum impacto originasse uma cratera.

Culturalmente os cometas estão associados a tempos de escassez e calamidades. Baillie (2004) cita numerosas referências bíblicas, por exemplo, o Anjo de Deus se apresenta rodeado de chamas e com um halo brilhante, de forma similar a uma bola de fogo que deixasse uma esteira por todo céu a qual poderia ser interpretada como uma serpente ou um dragão. Uma enciclopédia hebraica do século XIX descreve um cometa com “a causa da produção da esteira (a cauda) se denuncia”. Segundo se diz: Moisés lançou ao chão seu bastão para que se convertesse numa serpente.

Fontes da Babilônia citam cometas do século XII a.C. com a observação de que houve “um cometa que rivalizava em brilho com o Sol”, entretanto na Irlanda o deus Lug, que matou o dragão, deve seu nome a palavra céltica correspondente a luz, era muito brilhante, seria a representação de um cometa (PARCHERON, 1935)?

As fontes históricas na China são as mais detalhadas, comparáveis a dos egípcios, porém com datação menos precisa. Estes arquivos mostram com freqüência que fenômenos naturais davam lugar a doutrina do “Mandato do Céu” (BURCHFIELD, 1990).

Se um imperador não governava com sabedoria os Céus o retiravam de suas bênçãos, o monarca fracassado era deposto e se concedia o mandato a outro

governante. Quando o céu escurecia a colheita fracassava e o povo morria de fome, a culpa era do imperador que não contava mais com o apoio do Mandato dos Céus. O resultado era a substituição por uma nova dinastia (PARCHERON, 1935).

Na China se pode perceber um padrão de datas intrigantes. O final da dinastia Xia e da Shang ocorreu em torno de 1159 a.C. Além disso, o salto da dinastia Ch´in para a Hang em 207 a.C. Se tratava de uma data muito parecida a dos episódios identificados por Baillie. Inclusive se sabe que foi sucessor do imperador Jie, o último da dinastia Xia. Documentos históricos da época fazem referência a uma forte chuva que derrubou prédios e a terra emitiu uma nuvem amarela (...) a luz do Sol era tênue, os cereais murcharam, apareceram três sóis e, portanto houve fome. Baillie (2004) pergunta: obedeceria ao Mandato dos Céus à interação dos cometas com a Terra?

Além disso, a passagem dos cometas foi associada às mudanças ambientais parecidas com estes que duraram vários anos e deixaram vestígios em diferentes pontos da Terra.

Além dos Estados Unidos e Irlanda do Norte, 1628 a.C. também deixou anéis anuais delgados nas árvores da Inglaterra e da Alemanha, ao mesmo tempo o antigo testamento narra que: “O êxodo dos israelitas ocorreu aproximadamente nesta mesma época”, depois que o Egito ficasse sob escuridão, chovesse pó e cinzas o granizo matasse as reses, a água envenenasse e os peixes morriam inclusive o mar que se abriu ante Moisés (TURNEY, 2007).

Um exemplo foi a identificação dos barcos irlandeses, no século X, que transportaram a família real para exílio na Dinamarca e a fome no Egito 1628 a.C. testemunhada pelos anéis dos carvalhos e outras árvores da Irlanda, Escócia, Alemanha, Inglaterra, França e na China, durante a dinastia Xia em 1620 a.C. Portanto, o acontecimento ocorrido no Egito, descrito nas paredes dos templos e citados na bíblia, não foi um fato localizado somente no Egito mas aconteceu em todo planeta simultaneamente, foi um acontecimento global provocado pelo resfriamento geral da Terra, aproximadamente na época de 1628 a.C.

O episódio de 1159 a.C. foi o pior registrado pelos anéis das árvores irlandesas, porém seus efeitos são mais difíceis de relacionar cronologicamente que

os de 1628 a.C. Poucos pinheiros *longaeva* datam deste período, o fim da dinastia Shang não está datado com precisão, por outro lado as listas dos reis da Irlanda apresentam uma catástrofe acontecida entre 1180 e 1031 a.C. Estes dados devem ser manejados com prudência porque a datação desta fonte não é precisa. Em 1153 a.C. é também uma data de fome no Egito, curiosamente entre 1628 e 1159 a.C. passaram quatrocentos e sessenta e nove anos. As datações do gelo da Groenlândia também indicam intervalos de 479 e 477 anos entre os pontos de valores máximos de ácidos não vulcânicos, sugerindo o mesmo acontecimento descrito pelas árvores (RONAN, 1987).

O mais recente acontecimento identificado por Baillie (2004) ocorreu em 540 d.C. isto é, quase todas as árvores européias indicaram que houve um período claramente frio entre os anos 536 e 545. Alguns pinheiros escandinavos mostraram que em 536 ocorreu o segundo verão mais frio dos últimos mil e quinhentos anos e que o esfriamento de 541 continuou até 550.

Na Europa em geral as temperaturas começaram a baixar em 536, em pouco tempo se recuperaram e depois experimentaram um resfriamento significativo desde 540 até 542, ver Figura 02. Esta mesma tendência ficou gravada nos pinheiros *balfouriana e longaeva* dos Estados Unidos, inclusive Andrew Douglass descreveu o anel de 536 no sudoeste dos Estados Unidos como muitas vezes microscópicos e esporadicamente ausentes, foram também registradas observações semelhantes na América do Sul. Os anéis irlandeses fazem referências ao *Malogro de Pan* em 536 e 539, anos que coincidem com a data da fome na China (BAILLIE, 2004).

O mesmo autor diz que durante o período de calamidade, a peste Justiniano se propagou desde o Egito em 542, quando morreram aproximadamente um terço da população européia. Turney (2004) referindo-se à  Zacarias de Mitilene informa que no décimo primeiro ano do reinado de Justiniano (538-539) um grande e terrível cometa apareceu durante cem dias. Na história e decadência do Império Romano, Gibão cita que oito anos depois da visita do cometa “Haley” de 530,

> “...seguiu outro cometa em Sagitário cujo tamanho aumentou gradualmente: a cabeça estava no leste e a cauda no oeste, e permaneceu visível durante quarenta dias... As nações que o viram com assombro esperavam funesta influência, guerras e calamidades, expectativas que se cumpriram”  (TURNEY, 2007).

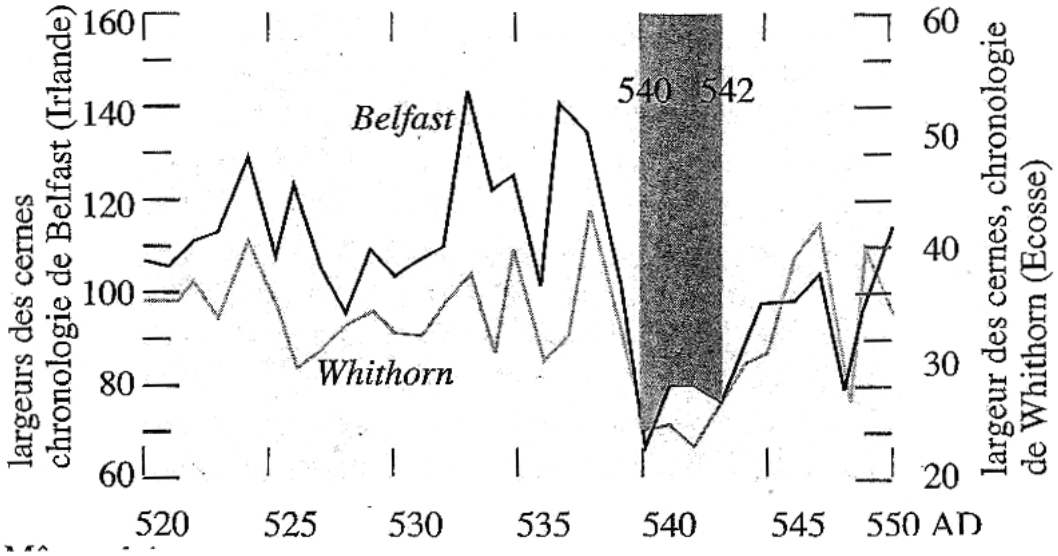



**Figura 2–** Período de frio intenso na Europa, identificado pela dendrocronologia (Modificado de LAMBERT, 2005).

Nesta ocasião, no Mediterrâneo foi observada uma névoa seca muito densa e persistente entre 540 e 542, ver Figura 2. Miguel o Sírio descreveu: “Sol ficou escuro durante dezoito meses. Cada dia brilhava aproximadamente quatro horas, com luz que não era mais que uma tênue sombra. As frutas não amadureceram e o vinho tinha gosto de uvas amargas” (TURNEY, 2007).

Na China foram feitas várias referências à aparição dos dragões no céu. Ainda surgem problemas com a datação de fontes documentais, é estranho que todos estes acontecimentos correspondam à mesma data, se referiam todas estas passagens a um cometa que colidisse ou experimentasse um breve encontro com a terra? Em 2004 os astrônomos Rigby eThompsom (2004), da Universidade Cardif, investigaram um possível impacto de um cometa no ano de 540, calcularam que um cometa de apenas trezentos metros de envergadura poderia causar os efeitos indicados pelas observações históricas e as árvores? (DUNCAN, 1999).

Com os resultados obtidos a partir de Shoemaker/Levy, os autores sugeriram que o cometa teria deixado um tubo vazio com sua passagem através da atmosfera, sem que o ar ao redor pudesse ter tempo de ocupar o vazio. O estampido do tubo de ar teria gerado energia suficiente para provocar incêndios florestais, pois devido a altura da explosão sobre a superfície não arrasaria nenhum bosque.

Gildas o depressivo monge britânico, século VI, falou de destruição e incêndios generalizados naquela época, pois a maioria dos estudiosos suspeitou que isso fizesse parte da sua confusão criada contra o mundo em geral. Seu compatriota Roger Wendover, que vivia em Saint Albans, observou em 541 “um cometa na Gália” tão grande que todo céu parecia em chamas. No mesmo ano caiu sangue da nuvem e provocou uma terrível mortandade. Gildas tinha motivo para estar deprimido (RIGBY *et al.*, 2004).

No Egito em 1600 a.C. foi registrado nas paredes de um templo episódios referente à fome, pobreza, frio e doenças. A bíblia cita estes acontecimentos como as “Pragas do Egito” semelhante ao ocorrido, na mesma época, na Babilônia. Por volta de 1628 o imperador, da dinastia Xia na China, acusado de provocar frio, fome, pobreza e doenças foi substituído por outro imperador de uma nova dinastia. Nas regiões da Europa correspondentes a Irlanda do Norte, Inglaterra, Escócia, Alemanha e outros países, foi observado nas árvores a presença de estreitos anéis de crescimento datados de 1628, aproximadamente (TURNEY, 2006).

Isto leva a inferir que os acontecimentos ocorreram simultaneamente em todo planeta e não apenas no Egito, China, Babilônia e na Europa. Foi um acontecimento global devido ao resfriamento. Em 800 anos d.C. o povo habitante da península de Yukatan, no sul do México, foi forçado a abandonar a região devido à escassez de alimentos provocada pelo clima desfavorável ao crescimento da vegetação. Com a saída deste povo o local foi ocupado pelos Maias. Este acontecimento ficou registrado nos anéis de crescimento das árvores da península de Yukatan (TURNEY, 2006).

As possibilidades e as dificuldades da dendrocronologia são vistas na aparente ordem e desordem nos gráficos dos anéis de crescimento das árvores escolhidas numa trajetória leste-oeste de 600 km, na França (Figura 3). Esta aparente desordem, como um ruído de fundo dos anos marcados é identificada sobre todo território onde foram coletadas as amostras.

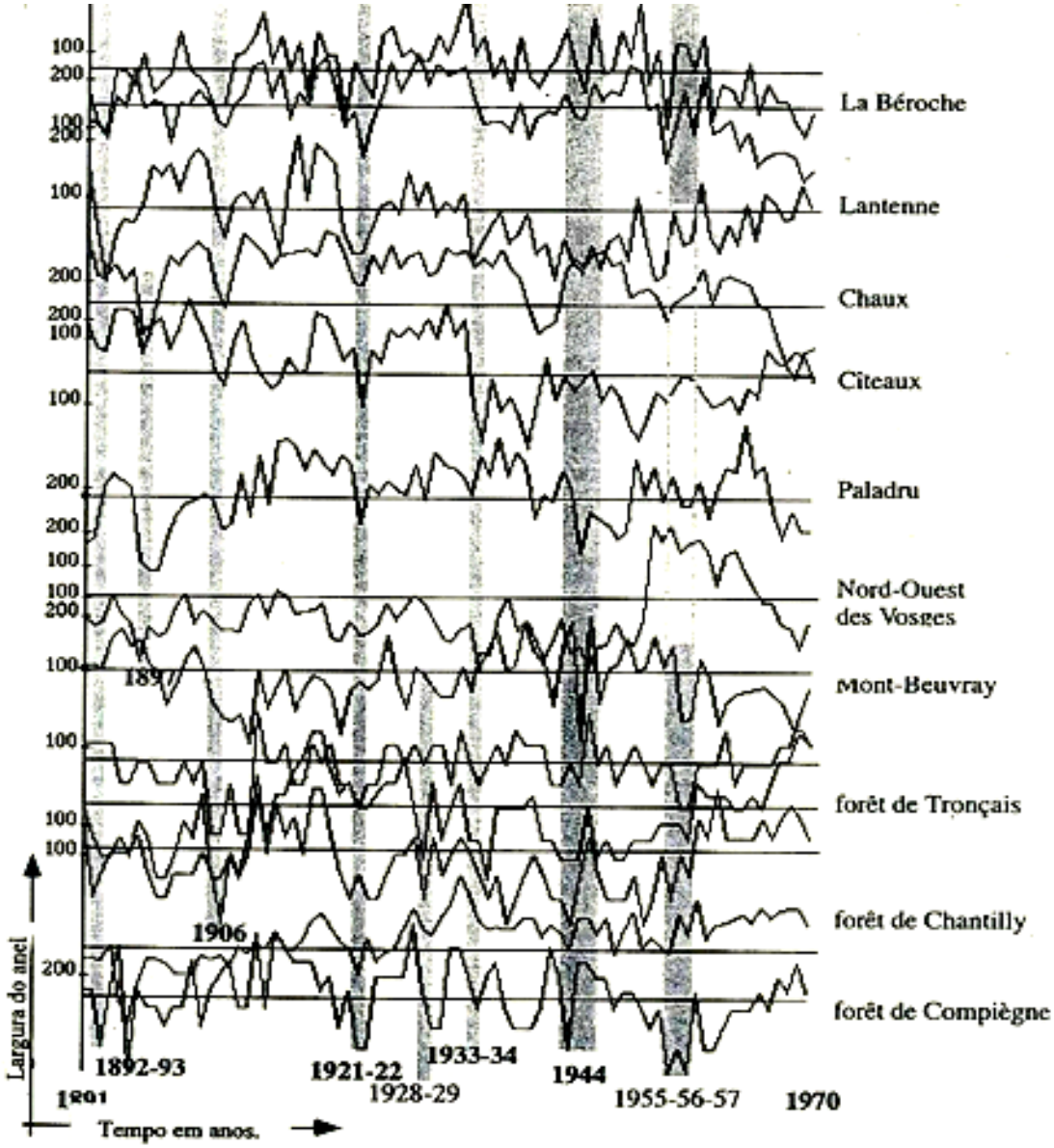



**Figura** 3 Correlação dos crescimentos das árvores.
(Modificado de LAMBERT, 2005).

Nos anos de 1955, 1956 e 1957 ocorreram, provavelmente perturbações provocadas por madeireiros e pessoas da floresta sobre as árvores dos sítios. O crescimento dos anéis observado a 1,2 m do solo, em centésimos de milímetro esta apresentado na Figura 3.

## 2.3 AVALIAÇÃO DA IDADE, PRECISÃO DOS RESULTADOS

Compreende-se que uma amostra retirada de uma madeira talhada (trabalhada, cortada) e que não atinge a periferia do tronco não poderá fornecer a data da morte da árvore, o número de anéis perdidos ou destruídos torna difícil a avaliação. Certa imprecisão vai recair no processo de datação do pedaço de madeira (Lambert, 2005) privada da casca e do câmbio. A impossibilidade de ler o câmbio conduz a uma dúvida sobre o fato de que o último anel da amostra seja o último da árvore.

A estimativa do número de anéis em falta fica submetida a diversas condições. Conclui-se que não se poderia fazer nenhuma estimativa porque não há nenhum meio de contar entre 10, 50, 80 anéis ou mais, ainda que tenham sido previstos.

Esta particularidade é útil na dendrocronologia que não tendo atingido o câmbio da amostra atinge um pouco o alburno. Sabe-se que isto é periférico e que a data do abate não esta muito longe. A avaliação da largura do alburno varia sensivelmente segundo cada laboratório e admite-se que numa árvore séssil o alburno varie em torno de uma média de vinte anéis, com desvio médio que varia entre 10 e 20 anéis (JACOBY & HOMBERECK, 1987).

O alburno - uma zona de coloração mais clara rodeando a porção interior de cor mais escura (o cerne) - é estimado em 21±19 anéis em 95% dos casos, com uma imprecisão de 39 anos e com 95% de segurança para um bosque que tem um só anel liberado no alburno (sem considerar a casca e o câmbio) ou uma imprecisão de 10 anos no máximo, com a mesma segurança para uma madeira que tivesse 30 anéis no alburno (TURNEY, 2007).

Esta estatística é aplicável a árvores com idade inferior a 150 anos, este cálculo pode ser substituído por outro que consiste em atribuir ao alburno o mesmo número de anéis que aqueles contados nos dois últimos centímetros analisados - técnica de avaliação de Gassmann. (GAECIA, 1998).

O mesmo autor diz que se pode também utilizar esta técnica em árvores de crescimento lento. A técnica de Gassmann não é aplicável a árvores das zonas temperadas. Esta estimativa pode ser refinada sobre os lotes abatidos ao mesmo

tempo onde muitos perdem o alburno. Um exemplo é mostrado na Figura 4, onde estão representados 9 gráficos da espessura dos anéis de crescimento das madeiras da igreja de Santenay que ficaram sem alburno. A gráfico Santenay 6 termina em 1560. O Santenay 2 terminam em 1568, correspondendo ao anel mais recente observado sobre toda a série das madeiras. Isto significa que as árvores não foram cortadas antes desta data. O primeiro anel do alburno desta madeira foi formado pouco antes de 1540. Aplicando a regra dos 21±19 anéis do alburno, sejam 40 anéis no máximo; sendo 1550 a data do primeiro anel desta série do alburno, 1589 é a data após a qual há menos de cinco chances para que o alburno continue crescendo. O risco de errar 5% (com uma segurança de 95%) que a árvore não foi abatida antes de 1589. O primeiro anel do alburno de outra madeira aparece em 1558 e este que nos conduz a uma data mais tardia 1597. A estimativa precedente é que importa.

Se aquela tinha sido o inverso, e se esta data *ante quem* nos permitiu recorrer ao intervalo de incerteza teria conservado, então o mesmo risco se aplica a cada madeira 1569 e 1589, com 95% de segurança. A data do corte das árvores para fazer o vigamento da igreja está, portanto compreendido entre 1569 e 1589 com 95% de segurança (LAMBERT, 2005).

A ausência do câmbio é freqüente nas amostras enquanto que o alburno permite obter melhor precisão que com qualquer madeira somente. Porém tal raciocínio não pode ser aplicado pensando que todas as árvores foram abatidas no mesmo tempo.

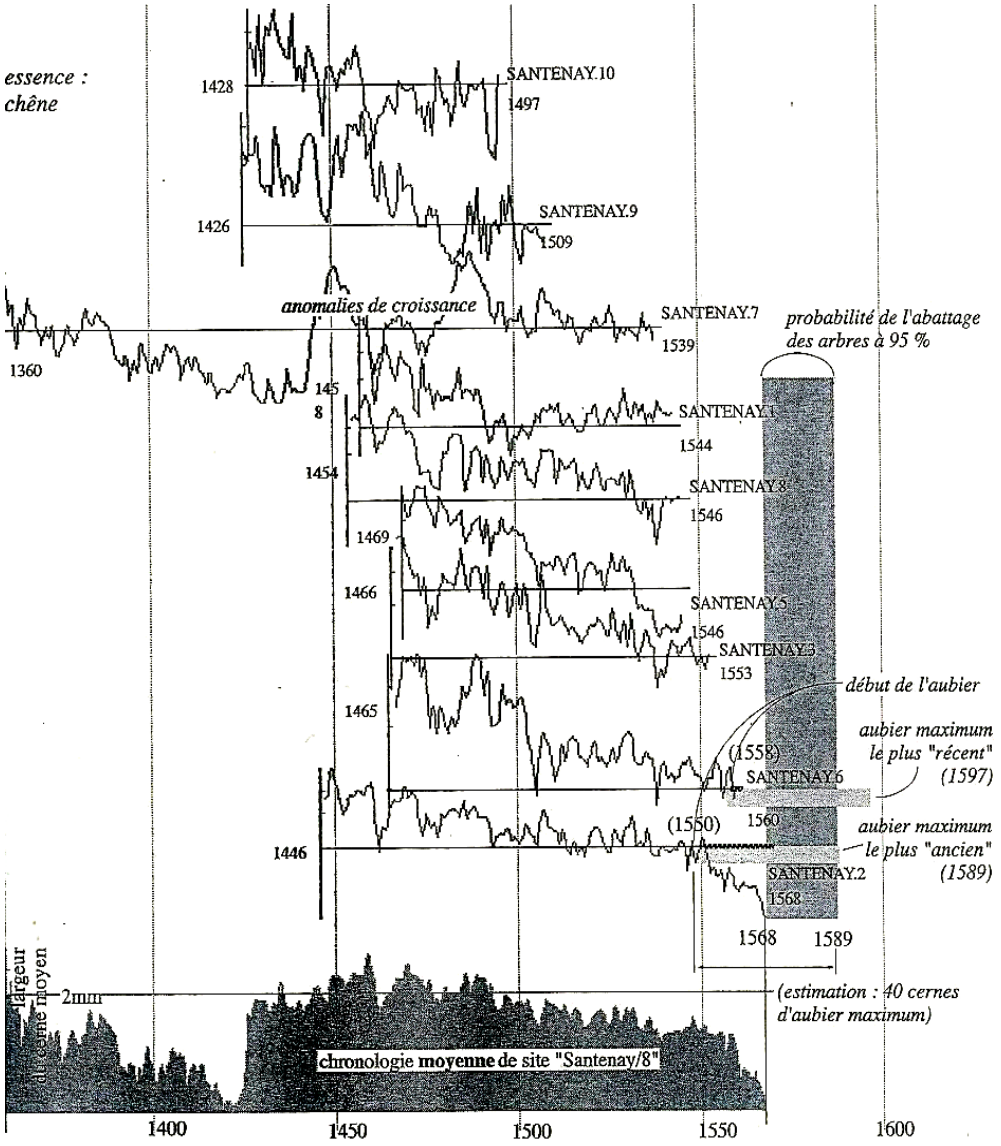



Figura 4- Cronologia das madeiras da igreja de Saint-Jean-de- Narose de Santenay (Modificado de Lambert, 2005).

Ao contrário, se mesmo na ausência do câmbio, o jogo dos alburnos (combinação dos alburnos) conduz a suposição de que as árvores não foram abatidas ao mesmo tempo, deve-se abandonar a hipótese do abate simultâneo, trata-se de uma probabilidade. Se um acontecimento histórico obriga a admitir que haja 45 ou 50 anéis no alburno sobre uma ou duas madeiras (mas não em vinte, ou então é necessário recorrer a outro argumento), pode ser receptivo. *A probabilidade não é certeza* (LANGOUËT, 2005).

## 2.4. ANO E ESTAÇÃO DO ABATE, AMOSTRAGEM E CRONOLOGIA DAS MADEIRAS

A situação ideal é obter, pelo menos, 10 a 12 peças por conjuntos supostos coerentes cronologicamente. No madeiramento da catedral de Santenay (Figura 4), por exemplo, que foi restaurada, muitas vezes foi necessário prever 50 amostras ou mais. Fazer levantamento de muitas árvores, supostas contemporâneas e de mesma origem permite obter uma indicação do crescimento da espécie melhor ligada a seu biótipo e mais interessante que o sinal individual (GONÇALVES, 1981).

Em uma sequência dendrocronologica de um conjunto de árvores de uma parcela de uma floresta, as árvores são espaçadas umas das outras de alguns metros. A maior distância entre duas dela não ultrapassa a 150 metros, vê-se imediatamente que, mesmo sobre as árvores vizinhas a ordem e a desordem dos sinais se misturam intimamente, não há um perfeito paralelismo entre o crescimento de umas e de outras, percebe-se que um sinal do grupo poderia ser mais pertinente a determinados indivíduos. A Figura 5 mostra uma situação real.

Procura-se determinar um local onde a casca no madeiramento dos prédios históricos esteja ainda visível e seja possível observar o alburno.

Em carpintarias por determinismo funcional, simples de compreender, a casca ou o alburno são conservados nas peças mais estreitas, precisamente devido a esta dimensão o construtor ou carpinteiro tem aliviado e esquadriado deixando quantidade suficiente de matéria.

Para a dendrocronologia é o lugar mais importante para melhor precisão na data do abate, porém é ruim para a cronologia porque é sem dúvida em direção ao alto do tronco da árvore que uma parte da informação é perdida devido a conicidade dos anéis. Deve-se efetuar um segundo levantamento, mais abaixo sobre o tronco, portanto no outro extremo da viga (barrote). Nas madeiras longas e esquadriadas se ganha geralmente na precisão tomando dois levantamentos espaçados de muitos metros.

Além da cronologia, outras informações estão em jogo, em particular as hipóteses sobre a natureza do meio, florestas densas, clareiras e árvores cortadas. A partir do momento em que se têm estudado suficientemente árvores de um mesmo lugar, muitas vezes o número não é suficiente para conduzir a uma interpretação

ecológica, é necessário conhecer a situação das amostras dos troncos de onde foram extraídas. À medida que a árvore envelhece cresce com velocidade cada vez menor e o efeito da conicidade pode prejudicar a dendrocronologia sobre a determinação da cronologia, as tendências terminam por divergir sensivelmente a medida que se distanciam da base em direção ao alto do tronco. As indicações na parte de baixo são melhores para o estudo que as do alto (HAMMER, 2003).

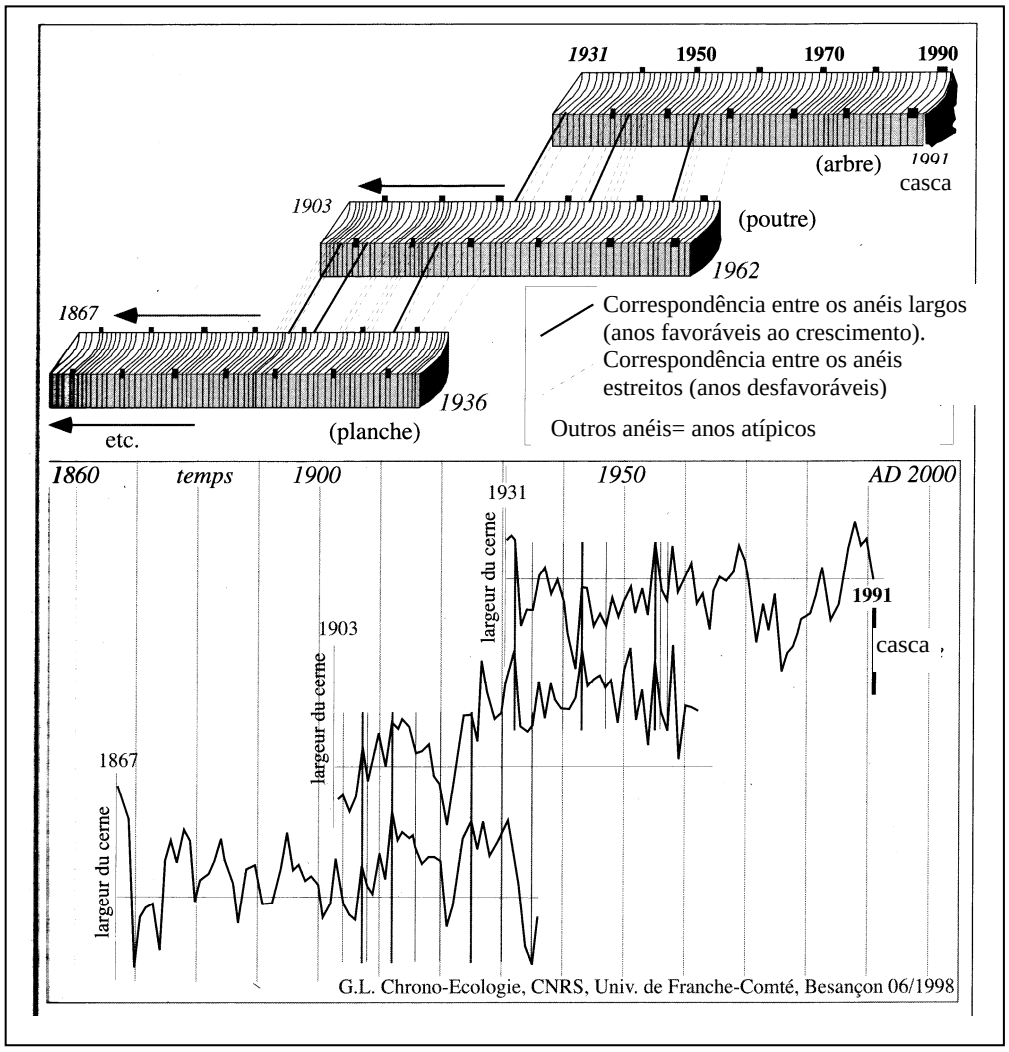



Figura 5– Dendrocronologia: princípio da comparação dos tempos
(Modificado de LAMBERT, 2005)

Em conseqüência, a dendrocronologia pratica a mais possível manipulação dos grupos de amostras e a menos possível das peças isolada (LAMBERT, 2005).

A manipulação dos grupos conduz a cronologias globais ou médias conhecidas como cronologias de sítios, como visto no caso da igreja de Santenay na Figura 4. O conjunto destas cronologias, obtidas sobre uma região num dado período, constitui um sistema de referência (LAMBERT, 2005). Este sistema toma na forma de uma teia que se torna mais densa e mais eficaz à medida que o trabalho prossegue.

Trata-se de dados chamados de referencial regional. Faz-se retornar para trás no tempo o mais distante possível, que servem de guia cronológico geral para melhorar a data e também para descrever a evolução do ambiente geral de uma região, em particular seu clima através dos milênios (Figura 6).

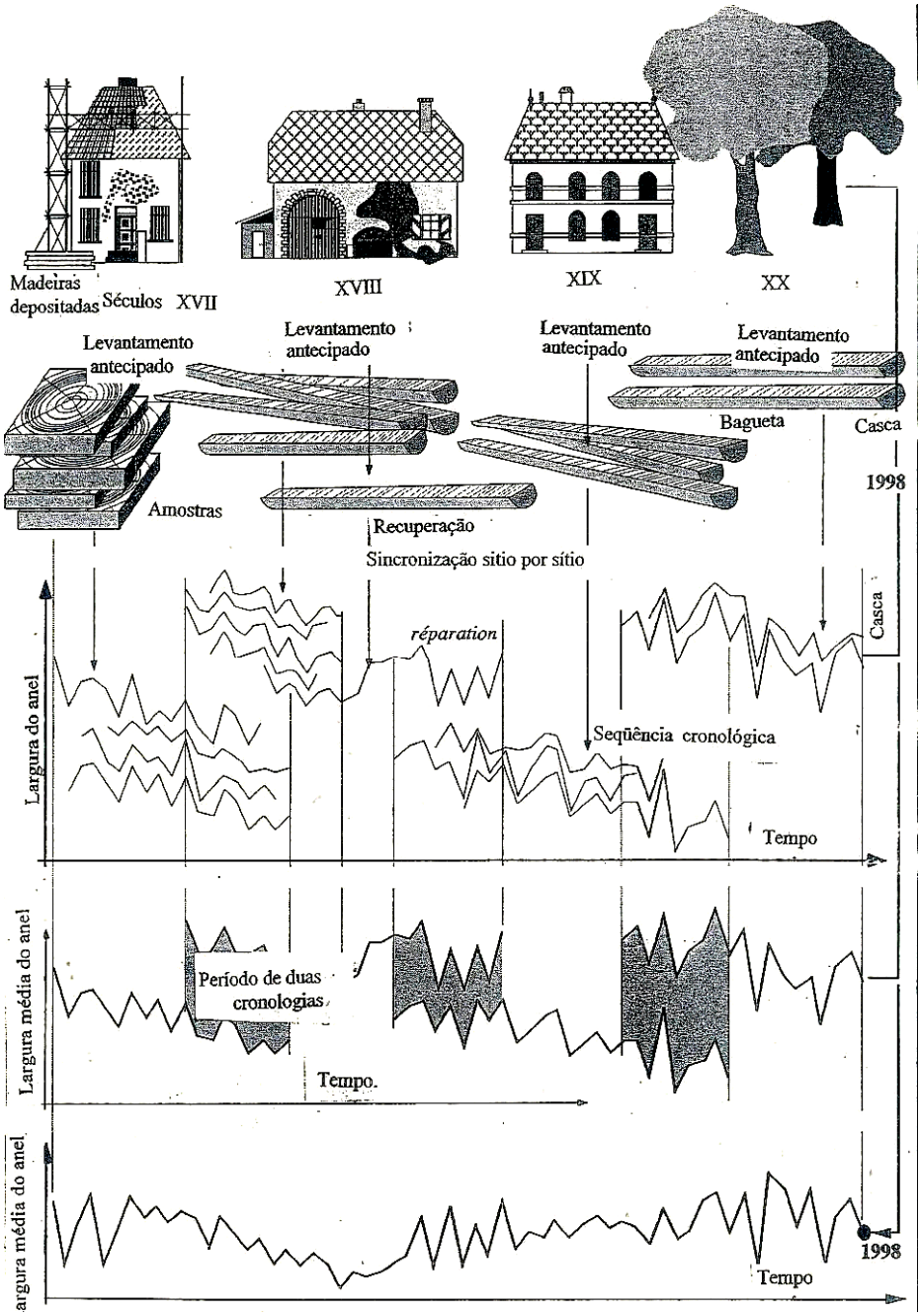



Figura 6– Princípio da medição do tempo por dendrocronologia (Modificado de LAMBERT, 2005).

## 2.5. RETORNO TEÓRICO DO TEMPO E REFERENCIAL REGIONAL

Para datar, a dendrocronologia mede, antes de tudo, os anéis das madeiras**,** traça gráficos de crescimento e análise do local de onde a madeira foi retirada, entre outras figuras já evocadas, entre elas a imagens em dentes de serra que se desenvolve horizontalmente (JACOBY & HOMBERECK, 1987).

O princípio da datação consiste em encontrar, sobre as madeiras, com datas desconhecidas, os anos favoráveis e os anos desfavoráveis e, portanto o mesmo ritmo de crescimento que as madeiras datadas.

A diversidade meteorológica faz com que uma série de anéis suficientemente grandes, 150 anos, por exemplo, seja quase impossível encontrar duas reproduções ao curso dos últimos milênios e dentro de um mesmo setor geo-climático. Porém sobre um período tão longo como o holoceno as fortes semelhanças que guardam a datação podem existir.

O trabalho interdisciplinar é a regra, o controle das datas dendrocronológicas obtidas por uma média, seja estatística, tipológica ou por um método de datação em laboratório, é freqüentemente utilizado, até mesmo algumas vezes necessário para situar as madeiras encontradas fora de um contesto estratigráfico como as pirogas, embarcações indígenas. É sistemático o recurso de datação pelo radiocarbono.

A situação é boa quando para uma seqüência média a duração seja inferior a meio milhão, nas seqüências mais curtas o período considerado deve ser preciso em maior número. Para datar a dendrocronologia opera em dois tempos que constitui dois sistemas de referência que são coleções de seqüências: média dos sítios e média regionais ou referenciais.

Um sistema de referência é obtido no estudo das árvores mais velhas num dado setor (Figura 7). Seu ponto de partida é o anel do ano corrente obtido das árvores abatidas ou de amostras extraídas no pé (GONÇALVES, 1981).

O pesquisador tenta buscar progressivamente, no tempo, encontrando ritmos de crescimento idênticos nas madeiras mais velhas, a velhice das mais antigas corresponde a juventude das mais recentes, prospectando as vilas, campos e sítios mais antigos pode-se retornar ao tempo de milhares de anos. Os lugares fornecedores de madeiras são principalmente das construções dos seis ou sete últimos séculos, pois

as escavações arqueológicas para as épocas anteriores devem acrescentar a prospecção da área e do curso dos rios (RONAN, 1987).

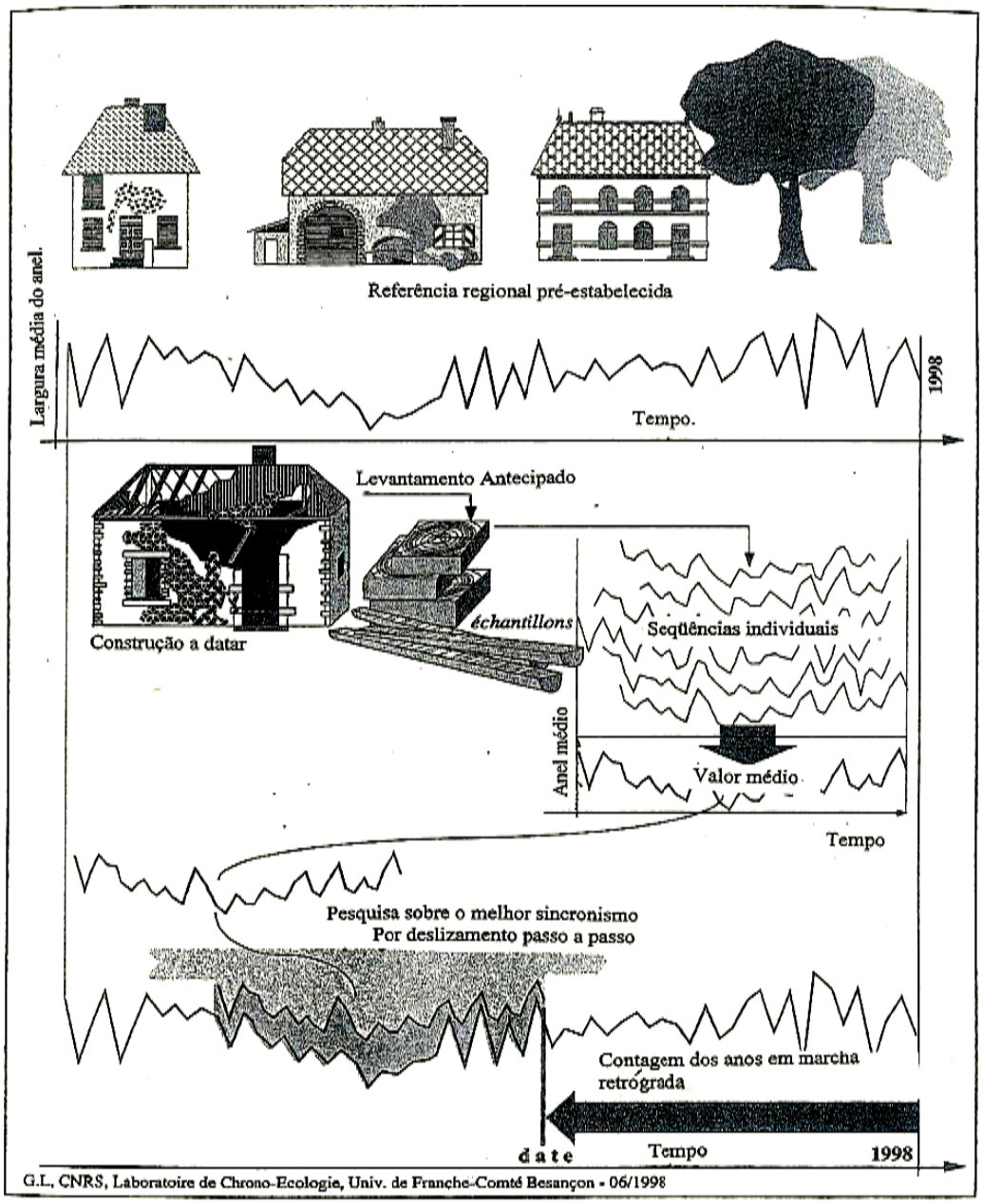



Figura 7– Datação sobre um referencial (Modificado de LAMBERT, 2005).

O dendrocronólogo associa, assim, num mesmo modelo madeiras de fontes extremamente diversas, onde as seqüências constituem suas referências locais, regionais e inter-regionais. Quando o número de madeiras analisadas e o número de sítios explorados são grandes mais confiáveis são os sistemas de referência (GONÇALVES, 1981). A Figura 7 mostra um resumo.

Neste ponto a segurança das datas é muito grande, não impede, porém, que uma leve percentagem de madeiras deste setor resista às tentativas de datação que já lhe foram aplicadas. Progressivamente se estabeleceu um conjunto de relações dendrocronológicas sobre uma dada região por períodos longos como foi evocado anteriormente, quanto melhor forem os estudos sobre a região melhor é a datação e mais as interpretações dos sinais dendrocronológicas ultrapassam o campo de datação para intervir na história da paisagem local, da economia florestal, da demografia, da história das técnicas (MANNING, 1999)

## 2.6. ENTRADA DE UM NOVO LOTE DE MADEIRAS NUM SISTEMA DE REFERÊNCIA

A datação de um novo lote consiste em prever o suficiente as madeiras numa região a datar, é necessário datá-las entre si a fim de obter uma cronologia média, que é a síntese do que foi visto anteriormente, neste nível onde se compara com freqüência as madeiras supostas estritamente contemporâneas e provavelmente retiradas de árvores pouco dispersas, pode-se relacionar as que caracterizam conjuntos inferiores há 50 anos. Uma primeira pesquisa da data se faz sobre um referencial regional mais próximo, tenta-se localizar a seqüência que mais parece com as já construídas, Figura 7.

Se tal seqüência é encontrada contam-se então os anos que separam das datas mais recentes tomadas como referência e recorre-se a uma contagem simples o período da sequência a datar. Este primeiro trabalho é efetuado pelo ordenador, que calcula de forma exaustiva uma bateria de correlações procurando colocar datas na seqüência, testando todas as datas sobre a referência e testando as melhores situações de semelhança. Em princípio trabalham sobre o percurso feito entre a seqüência a datar e referências de pelo menos 80 anos, porém esta não é uma regra absoluta. O ordenador efetua muitos cálculos concorrentes que normalmente deveriam dar resultados convergentes quando uma boa data é encontrada, é o que geralmente acontece (ZEILINGER, 2005).

Se os cálculos não fornecerem uma concordância entre eles o dendrocronólogo deve, então, decidir ou renunciar a escolha de uma data entre os lotes a serem examinados. Na realidade as baterias de cálculos, onde os mais antigos não ultrapassam a 30 anos, são ainda experimentais. Assim, prudente diante de suas próprias matemáticas, o dendrocronólogo verifica sempre as proposições calculadas visualizando as correlações indicadas pelos cálculos, podendo decretar que não está de acordo com eles. É então indispensável justificar explicitamente tal decisão. Devido na diversidade e complexidade das operações a maior parte dos laboratórios comunica um resumo dos andamentos que têm sido feito para obter as datas (GONÇALVES, 1981).

Para Jacoby & Hombereck (1987) a grande diversidade dos meios naturais, explorados indiretamente, por não se conhecer os lugares precisos de onde as árvores surgiram, é a fonte de resistência nos processos de datação, sobretudo no início da exploração de uma região. Contudo termina por encontrar um número suficiente de madeiras adequadas para realizar um bom aferimento.

Um lote de madeiras datadas torna-se ela mesma datadora, mas introduz sua própria personalidade na bateria de referências contribuindo com sua parte de características selvagem. Esta particularidade permite servir de intermediário entre certos vizinhos. Todo conjunto datado torna-se um datador em potencial.

Após anos de presença sobre o terreno os processos de aferição de medidas têm mudado completamente, podem-se datar árvores por um tempo dos últimos 1500 anos se limitando a comparações numa distância de 100 km. As comparações de sítio a sítio seguem a mesma regra de confiança e precisão desejando-se para o futuro possuir amostras de todos os meios possíveis, datando as seqüências cronológicas com menos de 50 anéis (GONÇALVES, 1981).

O processo de datação se enriquece e, de certa forma torna-se mais complexa. Toda operação de datação começa sempre pelo tato do pesquisador que consiste em testar as respostas das seqüências a datar usando referenciais inter-regionais que até aqui fizeram seus testemunhos.

Foram definidos referenciais a partir das pesquisas concernentes a vastas regiões, que progressivamente constituem do ponto de vista do meio. Atualmente é utilizada na Europa uma cronologia das árvores de aproximadamente 2500 anos que

cobrem o conjunto do Bassin parisiense, região da Ile-de-France, Picardia, Basse-Normandie e Champagne. Vários segmentos de mais de 1000 anos cobrem as regiões da Borgogne, de Franch-Comté e as zonas do médio e baixo Loire. Pouco a pouco as informações se acumulam possibilitando a construção de cronologias mais precisas e também muito longas sobre regiões cada vez mais afastadas. É assim que para alguns tipos de árvores surgem cronologias de mais de 1000 anos Evidentemente quanto melhor uma região é conhecida melhor é o resultado da datação (LAMBERT, 2005).

O mesmo autor considera que as referências do carvalho na época galo-romano são numerosas, ainda que menos longas. Em regiões de planaltos as pesquisas são particularmente frutíferas. Nestas condições os arqueólogos que intervém neste período têm boa consciência do interesse de não faltar estudo das madeiras dos sítios que eles escavavam.

Os romanos, que têm utilizado a madeira nas suas construções nos forneceram um patrimônio excepcional para explorarão daquilo que era sua floresta. A época galo-romano foi um período privilegiado, como os períodos lacustres, até mesmo mais interessantes, porque os sítios suscetíveis de fornecer massas de madeiras são mais numerosos e melhores difundidos sobre todo território. Os sítios lacustres e, geralmente os sítios subaquáticos, seja marinho ou de água doce, constitui a quase totalidade das fontes de informação dendrocronológica pré-histórica. Alguns sítios dos rios da Europa têm fornecido cronologias da idade do bronze, média e final que se estendem de 1400 a 800 a.C. (LAMBERT, 1988).

Os sítios lacustres dos Alpes têm igualmente fornecido cronologias do fim da idade do bronze (entre 1000 e 800 a.C.). Paradoxalmente o Jura bem explorado arqueologicamente tem fornecido elementos erráticos deste período como a piroga do museu de Lons-le-Saunier, por exemplo. Uma estação desta época foi encontrada por Pierre Petrequin no lago de Chalain. Os lagos do Jura são mais generosos para a época neolítica (TURNEY, 2007).

Chalain tem fornecido cronologias sólidas para o período de 3600 a 2700 anos antes de Cristo, sendo quase um milênio que apresenta algumas passagens falhas em fornecimento de informações, estas cronologias foram as mais acidentais, foram fortemente marcadas pelos biótipos jurassianos, difíceis de utilizar como referência. Entretanto a massa de informações acumula em mais de um milhar de

análises serve como referencial, é necessário persistir em reunir tudo que se pode encontrar para incrementar corretamente as cronologias (TURNEY, 2007).

Na Alemanha do Sul (Alpes da Bavária) foram estabelecidas muitas referências, Na Floresta Negra, certas ultrapassagens milenárias foram bem documentadas graças a arqueologia mineira.

Algumas amostras apresentam particularidades que dificultam sua datação: o limite dos anéis que não comporta uma zona inicial de grandes poros é por vezes difícil de determinar sendo necessário recorrer a lâminas finas para delimitar os anos das amostras. Globalmente, a aquisição dos dados exige que o mesmo caminho seja percorrido várias vezes. Na ausência de cronologias longas as amostras a serem datadas, mediantes algumas precauções, podem ser comparadas com amostras de árvores semelhantes. Este procedimento que consiste em considerar as correlações entre duas essências diferentes é chamada de hétero-correlação. As amostras que não possuem referencial são datadas em hétero-correlação por comparação com outro sistema de referência (TURNEY, 2007).

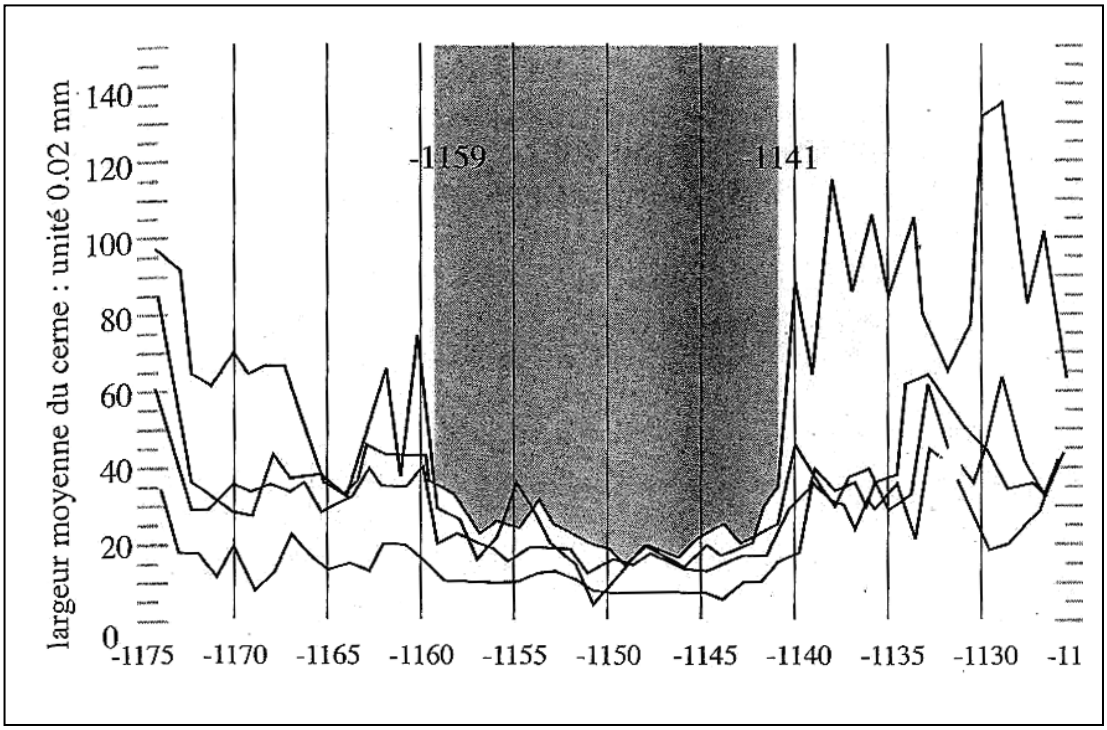



Figura 8– Redução do crescimento dos anéis entre 1159 e 1141 a. C. observados sobre quatro sítios da Irlanda. (Modificado de Lambert, 2005).

A Figura 8 mostra uma redução do crescimento do carvalho entre 1159 e 1141 a.C., observados sobre quatro sítios diferentes da Irlanda. Baillie (2004) evoca uma repetição da atividade vulcânica como sendo a causa mais provável da redução da produtividade do carvalho. As nuvens de poeira, e, sobretudo os véus de ácido persistentes na subestratosfera têm efeito direto sobre a meteorologia na superfície do globo. Os aerossóis cobrem superfícies consideráveis que podem ultrapassar milhões de quilômetros quadrados (HACK, 1985).

A Figura 9 mostra o fenômeno semelhante observado em 540, 541 e 542 da nossa era sobre as cronologias globais. Aqui há uma confirmação da hipótese por análise do gelo polar (TRAVNIK, 1985).

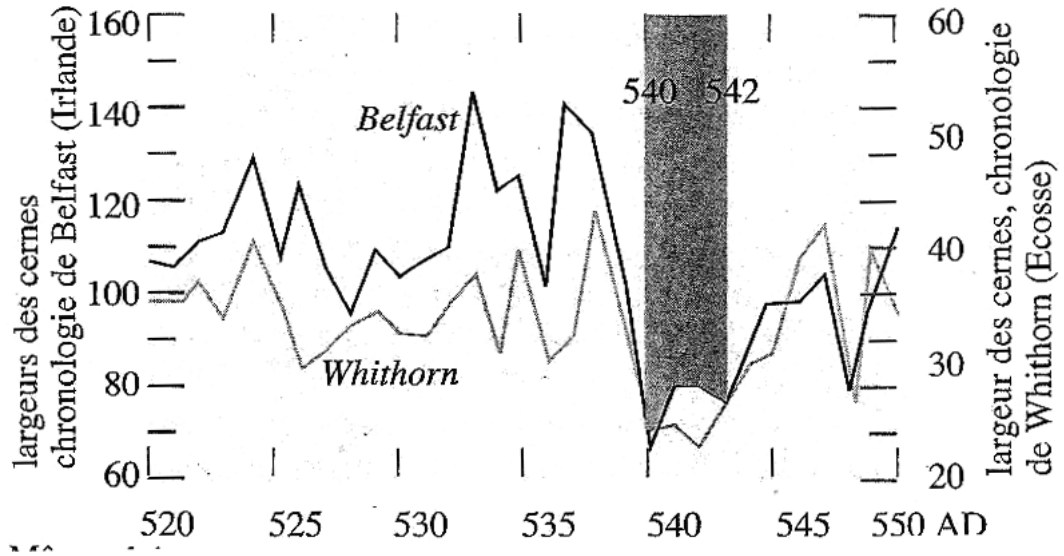



Figura 9– História e vulcanologia: as revelações dos anéis causadas provavelmente por atividades vulcânicas (Modificado de LAMBERT, 2005).

## 2.7. CONFIANÇA NOS RESULTADOS

Atualmente, no estado de nossos conhecimentos a dendrocronologia utiliza cálculos de correlação, descrevendo suas cronologias numa escala confortável sobre um papel estendido. A escala de tempo é da ordem de 4 a5 mm por ano. Os gráficos são freqüentemente alongados, sendo que uma seqüência de 200 anos domina uma figura de aproximadamente um metro de comprimento. Estes gráficos são superpostos e examinados por transparência sobre uma superfície luminosa. As

correlações estabelecidas são verificadas por visualização da seqüência. (GONÇALVES, 1981).

Pode-se supor que o operador esteja em desacordo com sua bateria de cálculos, mas sem atingir tal situação, não é raro que os diversos cálculos usados não estejam absolutamente em desacordo entre eles, é preciso então decidir. Na quase totalidade dos casos a data final encontrada é sempre escolhida dentro de um contexto de descobertas, desempenhando um grande papel. A interdisciplinaridade de certos resultados é inevitável, estima-se que 85% das datas fornecidas são demonstradas por cálculos, as outras dependem do seu contexto e combinadas em condições de credulidade, uma grande parte das pesquisas consiste em encontrar as soluções explicitas em determinadas situações.

Estas situações concernentes à maioria das madeiras isoladas são encontradas fora do contexto, como as pirogas, por exemplo. Já se falou que é difícil datar uma madeira isolada com menos de 100 anéis.

Com o apoio do radiocarbono que fixa uma cronologia da ordem de 150 a 300 anos pode-se reduzir para 80 anéis. Sob esta duração é grande o risco de cair num tipo de presa conhecida como bela correlação numa falsa posição.

Geralmente se considera que é preciso datar melhor um lote de madeira em sincronia e correlação entre as suscetíveis de dar uma média que poderia atingir globalmente a centenas de anos que datar uma madeira isolada, mesmo o estudo de duas ou três peças supostas põe o mesmo problema (DUNCAN, 1999).

Chega-se dificilmente a encontrar a natureza de alguma característica comum que permitiria correlacionar. Estas dificuldades se explicam, na maior parte do tempo pelo efeito perverso dos meios largamente distribuídos pelo homem nos quais as árvores sofreram alterações no seu desenvolvimento.

É importante considerar as alterações intermitentes dos influentes sinais climáticos, a permanência do homem, espaço em parques, árvores podadas, pastagens, animais guardados, presos no interior de recintos fechados, são atividades suscetíveis de produzir impactos sobre o crescimento das árvores das proximidades.

Um procedimento é trabalhar com lotes de 12 a 30 madeiras ou por etapas de construção separando as peças duvidosas antes de analisá-las separadamente. Um número mínimo de 10 a 12 árvores nos garante uma boa distribuição de árvores no

solo oferecendo os meios de executar uma leitura sadia das séries a serem analisadas (LAMBERT, 2005).

Aliás, um bom resultado estatístico estabelecido entre uma sequência (mesmo média) para datar é menos confiável que um conjunto de resultados piores obtidos em série, numa mesma data sobre uma lista de referenciais independentes.

Tal observação vai no sentido da datação mais natural que se possa observar. Nas tentativas de datar um novo sítio sobre os vizinhos mais próximos, que são da mesma época, as correlações satisfatórias se multiplicam, de acordo com os sítios arqueologicamente contemporâneos, produzindo uma data mais confiável (LAMBERT, 2005).

O mesmo autor reforça assim, que no espírito do observador, quando uma região não foi datada, um pequeno número de sítios é suficiente para obter resultados experimentais. Nestas condições a confiabilidade das datações se reforça irreversivelmente no curso do tempo. Os sítios novamente datados alimentam a base dos dados que serão úteis nas novas datações. Esta base se completa de forma contínua, porém, o dendrocronólogo na procura de novas datas, manipula os sítios já explorados, especialmente aqueles que apresentaram problemas, e os que foram parcialmente datados devido as lacunas anteriores do sistema de referência (LAMBERT, 2005).

Pode-se calcular a ordem de grandeza de uma base de dados para os períodos distantes no passado. Um pacote dendrocronológico ideal comporta 10 madeiras para um conjunto de amostras de 100 anos. O desempenho da cronologia com aquelas que precedem imediatamente e as que sucedem é de 50 anos, isto obriga conhecer um determinado sítio. Pode-se estimar que para datar confortavelmente fosse necessário estudar alguns milhares de árvores (LAMBERT, 2005).

# 2.8. CONSEQUÊNCIA DA DATAÇÃO DENDROCRONOLÓGICA

## 2.8.1. CARTOGRAFIA DAS ESCAVAÇÕES

Uma das consequências da datação dendrocronológicas é a cartografia dos sítios arqueológicos sobre as estações lacustres. Sozinha a dendrocronologia permite traçar com segurança o plano de cada casa surgida das escavações e mesmo a localização das repartições.

Os exemplos das aldeias assim restituídas são numerosos em todas as publicações sobre as escavações subaquáticas. Citamos em particular as aldeias da costa do rio Neuchatêlois, na Suíça. A primeira cartografia de sítio arqueológico europeu para a dendrocronologia foi da cidade Viking de Haithabu, na Alemanha. E assim se poderiam citar exemplos provindos do lago Morat, do lago Bienne, de outros lagos suíços e alemães (LAMBERT, 2005).

O leste da França é muito bem dotada de estações lacustres seja no Jura ou no norte dos Alpes. As monografias das estações neolíticas de Clairvau-les-Lacs, mostram as plantas das aldeias restituídas graças a uma troca aprofundada entre os dendrocronólogos e arqueólogos. Uma das primeiras plantas da estação lacustre francesa publicada, II-IIbis de Clairvau, fornece uma cronologia muito precisa que dá uma fase da construção feita por etapas, apesar do estado do material relativamente desgastado (LAMBERT, 2005).

A dendrocronologia tem mostrado a estrita contemporaneidade entre os dois tipos de construção muito diferentes, separadas sobre um plano. Estas construções eram unidas, na época, por uma passarela, algumas do lado de terra firme outras do outro lado do lago. Pode-se assim deduzir que as maiores habitações eram provavelmente celeiros para conservar alimentos. Quinze anos depois uma vila do mesmo tipo distribuída da mesma forma, em dois setores bem distintos, foi encontrada em Lattringem, nas bordas do lago Bienne na Suíça, como a de Clairvau (EVIN, 1965).

### 2.8.2. CONHECIMENTO DOS PALEOAMBIENTES E SINAIS ANTRÓPICOS

A árvore é sensível às modificações de seu ambiente. Certos tipos de mudança são perceptíveis nas variações das larguras dos anéis. Nos anos da década de 1920 os americanos, mostraram que os anéis conservam os traços dos incêndios das florestas. (TURNEY, 2007).

Na atualidade existem centenas de calendários dendrocronológicos na história do fogo das florestas da América do Norte, onde algumas têm produzido danos nas superfícies consideradas. Outra constatação são as erupções vulcânicas, que projetam no céu nuvens de cinzas e de aerossóis, abundantes, densas e persistentes nas regiões de milhares de quilômetros, produzindo sombras que resfriam a região mantendo dentro de uma obscuridade durante semanas. É o caso do Laki-Fussu na Islândia que entrou em erupção em junho de 1783 e continuou a projetar matéria até fevereiro de 1784 (BAILLIE, 2004).

O obscurecimento do céu, o resfriamento e a densidade anormal do cloro no ar foram notados durante muitas semanas até em Londres e Hamburgo. O clima do verão de 1783 foi completamente perturbado nas ilhas britânicas. As árvores registraram tais acontecimentos que alteraram seus crescimentos. Os anéis excepcionalmente estreitos foram notados, por ocorrência dos registros do frio polar. Baillie (2004) mostrou que os sinais dendrocronológicos eram de origem vulcânica em diversos momentos da história e da pré-história,

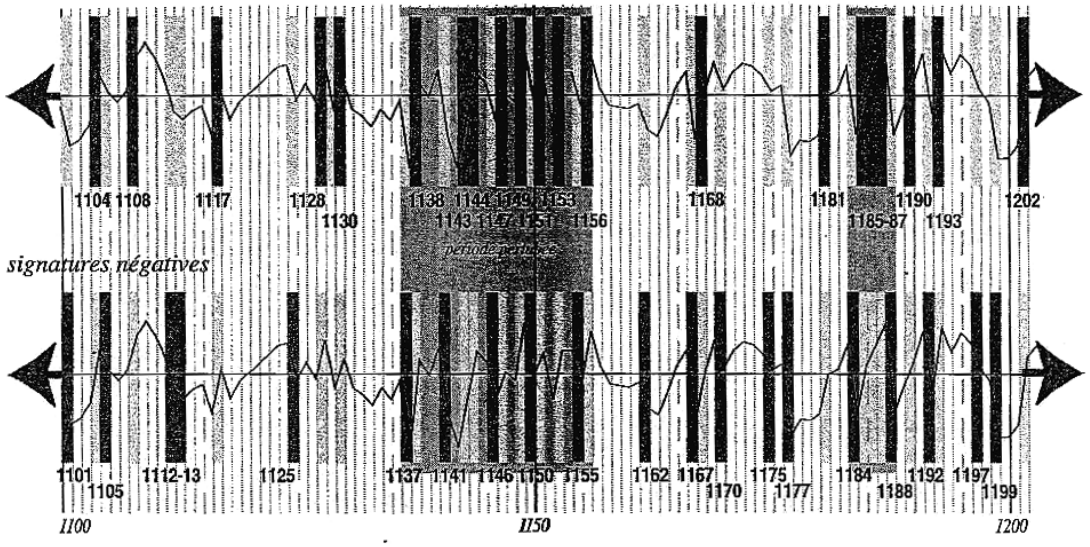



Figura 10– Madeiras do vigamento de Notre-Dame de Paris.
(Modificado de LAMBERT, 2005).

A Figura 10 mostra uma correção por ajustamento das curvas retificadas. As madeiras estudadas são, sobretudo, portadoras de sinais devido ao homem; que produziu um desmatamento brutal ou ao contrário, clareiras, abertura de poços, poda de árvores, deixando traços indeléveis nos anéis. Outros fenômenos como a secagem rápida do lençol freático, ou ao contrário, a subida violenta do seu nível, provocados pelo aumento da água, produzindo os mesmos efeitos. Tais acontecimentos impressos nas amostras podem ser reconhecidos por suas características singulares e localizadas (LAMBERT, 2005).

Não é cômodo encontrar as causas de uma anomalia com segurança suficiente a partir de um anel muito largo ou muito estreito. As anomalias síncronas, visíveis sobre sítios distantes, de muitas dezenas de quilômetros, até mesmo, muitas centenas, têm chance de ser de origem climática. Em compensação as anomalias de crescimento bem localizadas, até mesmo limitadas com qualquer árvore do grupo são bons indicadores das mudanças do micro-meio.

Há dois tipos de índice que nos conduzem em geral sobre as vias interpretativas diferentes: as quedas de crescimento intempestivas e, inversamente, as repetições dos crescimentos anômalos (EVIN, 2005).

A queda de crescimento violenta reduz subitamente o anel a quase zero. É uma indicação quase certa, da intervenção radical sobre a árvore. Em particular a poda que consiste em cortar os galhos, deixando a salvo o tronco, deixa nos anéis um

traço característico. Os galhos podados são cortados regularmente para servir de madeira de aquecimento ou de forragem. A poda é particularmente feita em períodos de seca porque a forragem clássica que vem faltar, ao efeito da seca, se acrescenta as conseqüências de enfraquecimento do crescimento que será agravada. A poda largamente praticada numa certa região tem sido uma forma sistemática de explorar a árvore. É dizer que o sinal cronológico da árvore é fortemente perturbado. As larguras dos anéis não cessam de cair para depois se recuperar antes de recair novamente, após uma nova poda (EVIN, 2005).

Isto explica as dificuldades que o dendrocronólogo encontra quando ele tenta datar as madeiras nas regiões que praticam a poda em grande escala. É, entretanto uma informação positiva que pode ser obtida a respeito do ambiente destas árvores. O sinal inverso, a reprise do crescimento localizado é também um indicador da intervenção humana (HACK, 1985).

As árvores aceleram sua produção de madeira cada vez que surge uma clareira no seu território, sendo que a prática do corte seletivo em rotação nos períodos de 25/30 anos nas florestas é uma atividade silvícola que deixa os traços espetaculares nas séries da largura dos anéis (FERDIÉRE, 2005).

Abatem-se as árvores mais grossas, uma vez que elas dominam o espaço florestal, deixando em pé as que serão abatidas aproximadamente 30 anos mais tarde. Estas árvores jovens serão liberadas do domínio de suas companheiras mais velhas permanecendo num meio arejado, aberto e luminoso. Em geral há uma reprise do crescimento em espessura que favorece a leitura das seqüências dendrocronológicas. Esta reprise vai durar muitos anos, até que um novo equilíbrio e um novo estado de concorrência sejam estabelecidos com seus vizinhos que crescem no mesmo tempo que eles (BAILLIE, 2004).

O mesmo autor considera que o conjunto dá um sinal do crescimento excepcional, depois descendente que se estende aproximadamente de 15 a 20 anos. Em dendrocronologia antrópica, encontra-se frequentemente vestígios de cortes de madeira, que são indicadores de florestas conservadas. Ao contrário, um sinal dendrocronológico sem história é um bom índice de floresta pouco penetrada, mas o crescimento global é lento, podendo-se supor a formação de uma floresta densa.

Não há uma regra absoluta na matéria. A comparação das hipóteses de crescimento, com outras disciplinas suscetíveis de explicar o ambiente torna-se uma regra de ouro. Sobre tais séries a continuidade da curva que se desenrola sem corte, é uma chance de garantia de estabilidade das propriedades do meio e, portanto um sinal climático pouco perturbado (FERDIÉRE, 2005).

### 2.8.3. CLIMA, METEOROLOGIA E DENDROCRONOLOGIA, NOÇÃO DE ÍNDICE DE CRESCIMENTO

O sinal climático serve de fio condutor ao dendrocronólogo. Destaca-se o clima que concerne o fenômeno meteorológico que possui certa amplitude, seja geográfica envolvendo uma ou muitas estações, seja cronológica, com duração de alguns dias, semanas ou meses.

O domínio de duração de 30 anos é considerado como um período climáticos mínimo, mas em dendrocronologia, manipulam-se com frequência as “janelas” de tempos menores que descem até 10 anos, algumas vezes meses (HOLLSTEIN E BESANÇON, 1980). Paradoxalmente o autor considera que este sinal climático é o principal guia do dendrocronólogo e que é o mais difícil de extrair da informação contida no anel.

Retirar todo ruído não climático é uma tarefa a ser feita. A “limpeza” de alguma parte do ruído necessitaria de um método adaptado e distinto. Em geral não é o que se faz porque ocorre a colisão dos efeitos dos diferentes métodos. A retirada do ruído produzido pela idade visando equilibrar os anéis medidos perto da medula e aqueles medidos perto da casca. Os primeiros são mais espessos e os últimos menos.

Outro ruído é do sinal da madeira extraída dos diferentes sítios. Os ricos, bem regados e drenados podem dar em média anéis até 10 vezes mais espessos que outros em locais mal expostos, em solos pobres e sem reservas.

Evidentemente raramente se conhece a origem das árvores das quais se tem retirado as madeiras estudadas na história e na arqueologia. Também o operador é forçado a emitir hipóteses antes de proceder a uma correção. Enfim a retração do sinal antrópico não tem solução simples (LANOS, 1997).

Uma série dendrocronológica “limpa” é dita uma série calibrada ou de índices de crescimento ou ainda catalogada. Há duas formas de técnicas para limpar as séries: as técnicas intrínsecas, que corrigem cada série por elas mesmas e as técnicas extrínsecas que corrigem as séries por um outro sinal tirado de um grupo de madeiras no qual a série a corrigir pertencem. Não se vai evocar se não o princípio dos métodos de correção intrínseca, que são também utilizados corretamente na datação.

O objetivo é obter um sinal onde a ordem de grandeza é marcada no tempo e no espaço. Efetuam-se duas correções ao mesmo tempo: equilibram-se os anéis jovens e velhos e equilibram-se boas estações florestais.

A técnica de equilibrar o sinal consiste em trocar a unidade de medida fixa utilizada de saída (por exemplo, o centímetro e o milímetro) por uma unidade de medida flutuante. Esta nova unidade vai flutuar ao longo de cada série de largura dos anéis a corrigir (HOLLSTEIN, 1980).

Para isto faz-se correr ao longo da seqüência uma janela de alguns anéis, por dois métodos: cinco no método de “Baillie e Pilcher” ou sete no de “Besançon” (HOLLSTEIN, 1980). A janela é colocada anel por anel ao longo da seqüência. A cada passo toma-se como unidade de medida a largura média (média aritmética) dos anéis contidos na janela.

Se o crescimento é rápido, os anéis são largos, portanto, o anel a corrigir é largo, mas a media dos anéis da janela é igualmente larga. A correção efetuada é a divisão de um número elevado (uma largura) por outro número elevado, a média das larguras. Se o crescimento é lento, a largura dos anéis da janela são estreitos e a média dos anéis da janela é igualmente estreita. Divide-se, então, um número pequeno (a largura do anel do meio da janela) por um outro número pequeno (a média das espessuras) e obtém-se ainda um número razoável que está dentro da ordem de grandeza do precedente (HOLLSTEIN, 1965)

Passo a passo todos os anéis são corrigidos, salvo uma meia janela no início e no fim da série que está “oculta” no seguimento das operações. Os cálculos complementares são efetuados para obter as ordens de grandezas, cômodas de manipular e dos números sempre positivos. (HOLLSTEIN & BESANÇON, 1980). A Figura 11 mostra o resultado de tais correções efetuadas sobre 85 árvores da floresta de Chaux, no Jura entre 1880 e 1987.

As mais remarcáveis pela largura anormal do anel são as melhores colocadas em evidência pelos índices. Sobre a figura somente os anéis particularmente estreitos são registrados. Um determinado sinal é explorável em termos de meteorologia anual média, a maior parte dos anos nos anéis estreitos marcados sobre a série (linha clara) correspondem aos anos secos (1920, 1945, 1976 e 1980). Alguns correspondem aos verões desastrados, frios e chuvosos, que são raros devido ao aquecimento que ocorre todos os séculos, mas a diminuição ou a repetição da largura média não é uma informação suficiente em si, convém considerar a grandeza do fenômeno sobre o maior número de árvores possíveis dentro da região dada.

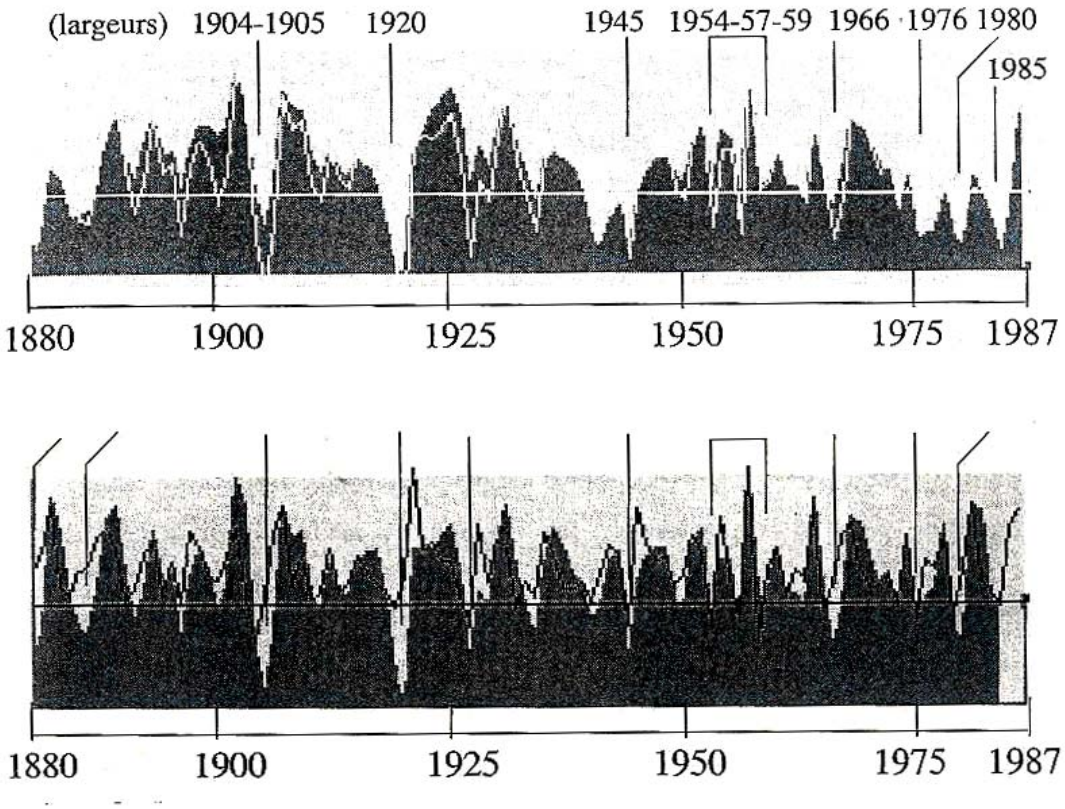



Figura 11– Obtenção de sinais climáticos a partir da largura dos anéis.
(Modificado de LAMBERT, 2005)

Quando num dado ano, pelo menos 75% das árvores acusa o mesmo choque ou a mesma repetição do crescimento, considera-se que o ano é digno de interesse. Este ano é dito característico. Não confundir ano digno de nota com ano característico. Um ano é notável pela pequenez ou largura excepcional de seus anéis,

mas pode estar contido numa série de mesma natureza, e no mesmo sentido não ser característico (LANGOUËT, 2005).

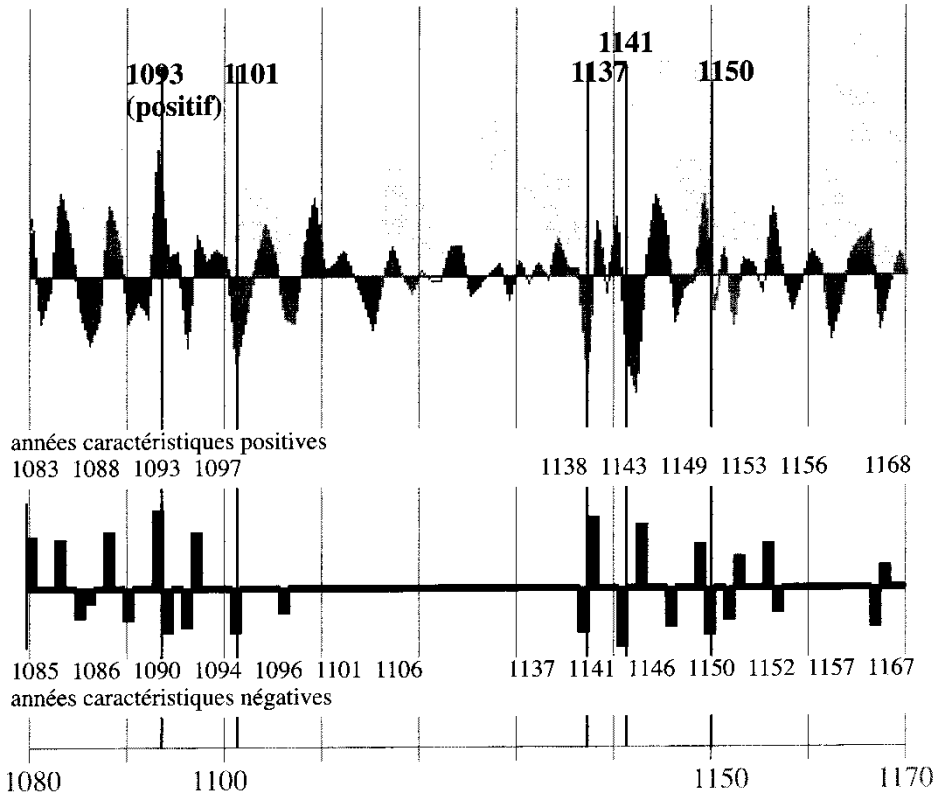



Figura 12– Índices de crescimento e índices climáticos: um exemplo sobre a Idade Média (Modificado de LAMBERT, 2005)

Podem-se reconhecer os anos notáveis sobre os indivíduos, desenhando um *Skeleton plot*. Um ano característico não é uma noção individual, é uma noção de grupo. Uma repetição ou uma perda de crescimento em relação ao ano anterior que é percebido sobre pelo menos 75% dos indivíduos, é um ano característico. Um ano pode ser notável e característico (LANOS, 2005). É precisamente o caso dos anos listados na Figura 12. A interpretação dos anos notáveis e característicos é ambígua, contudo, todo ano notável e característico implica um impacto meteorológico forte. Observando estes anos a dendrocronologia verifica as hipóteses arqueológicas das asserções históricas e coloca novas questões, porque ela encontra fiscalizações no plano histórico.

As técnicas citadas são sobretudo exploradas por seus datadores por estarem ligados ao processo de datação. Estas técnicas manipulam a passagem de um anel a outro. Para os matemáticos, esta manipulação dos anéis concerne um sinal de alta "frequência". Por outro lado a manipulação das tendências ao longo dos séculos ou milênios, é visto como um sinal de "baixa freqüência". Para a sua análise requer a introdução de outras técnicas matemáticas um pouco mais complexas, mas que são, na maior parte, observadas nos programas computacionais cada vez mais difundidos (TURNEY, 2007). Uma dessas técnicas dendroclimatológicas específicas produz resultados interessantes, pois evoca a densitometria experimental que utiliza a radiografia (Figura 13). A primeira é um método principalmente matemático extrínseco que apela para as técnicas de regressão associadas a uma experimentação, em três fases: avaliação - delimitação de um período e de um lugar; calibração - normalização do sinal; e projeção - para outro ponto de estudo. Considera comparável numa certa medida, mas não forçosamente idêntica, para tentar medir certas propriedades do setor estudado (EVIN, 2005).

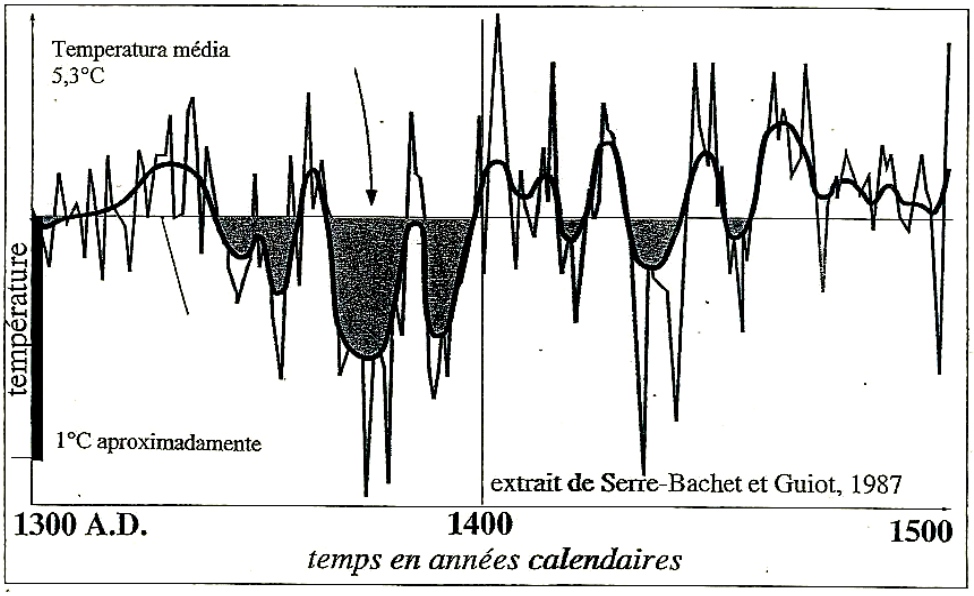
Por exemplo: observando-se um sinal dendrocronológico sobre o Século XX, mede-se os anéis de dezenas ou centenas de árvores. Define-se uma equação ou uma matriz com os parâmetros climáticos conhecidos que são de interesse, tal como temperatura anual ou pluviometria anual. Deduzem-se as técnicas de manipulação do sinal dendrocronológico que estão aptos de restituir os coeficientes climáticos em questão. Depois se aplica as funções encontradas num sinal de outra época, por exemplo a Idade Média (LANGOUËT, 2005).

A Figura 13 mostra o diagrama obtido do estudo do Mélèze Alpino no qual os autores estabelecem uma escala em graus Celsius. Os desvios poderiam significar um resfriamento em toda Europa, por exemplo, uma antecipação da "Pequena Idade Glacial" que coincide com a Guerra dos Cem Anos (LANOS, 1997).

Outra técnica aplicada com sucesso às madeiras resinosas é a densitometria, que consiste em preparar as amostras de espessuras constantes que serão atravessadas por raios-X. A permeabilidade é uma função da densidade do protoplasma global (conteúdo celular vivo). A densidade da madeira é extremamente variável, mesmo no interior do anel, *as madeiras resinosas são em geral mais densas no final do verão*

*queno início da primavera*, isto dá um aspecto de alvo com círculos alternados claros e escuros nos cortes transversais do tronco das resinosas.

Foram mostrados que a relação entre o ponto de densidade mais fraca, no fim da primavera, e o ponto de maior densidade, no final do verão era uma chave de aproximação climática. Isto pode parecer surpreendente, mas a explicação é que a árvore não reage a um estímulo imediato da meteorologia, ela se empenha em prorrogar as respostas que serão medidas a cada dois ou três anos.




O método empregado aqui mostra uma degradação no décimo quarto século e uma repetição do fim do décimo quinto. Considera-se que esta representação é uma primeira amostra da "Pequena Idade Glacial".

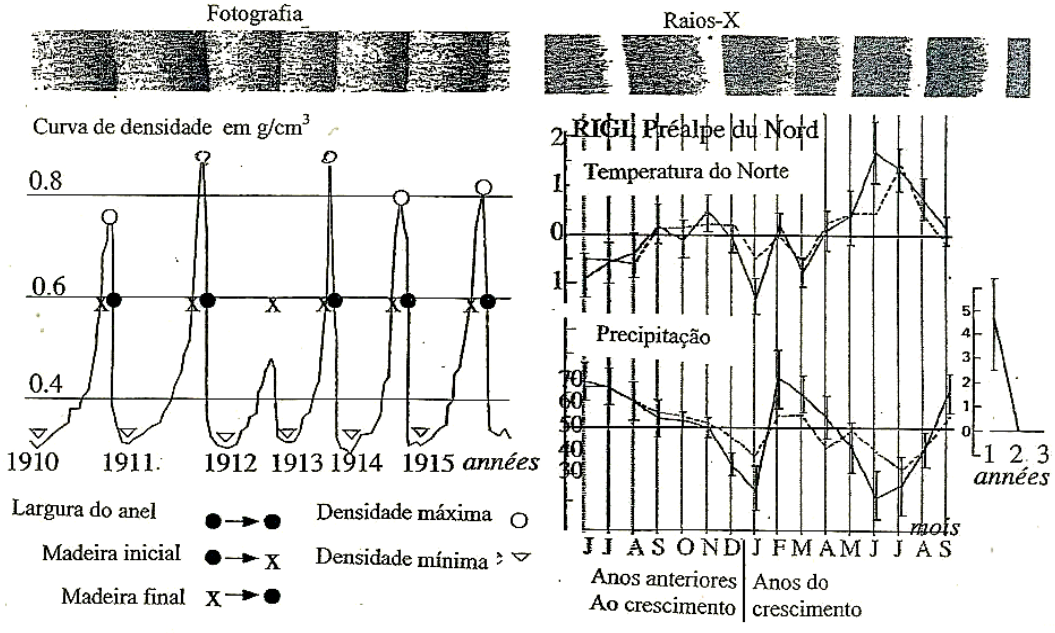



Figura 13– Métodos de dendroclimatologia (Modificado de LAMBERT, 2005).

Os dendrocronólogos investigam as matrizes nas quais se misturam as temperaturas, as precipitações e os anéis que seguem, mês por mês num intervalo de dois ou três anos. São exploradas as matrizes de correlação e as técnicas empregadas são conhecidas com o nome de "função de respostas". (EVIN & OBERLIN , 1950)

Os resultados poderiam ser particularmente precisos e confiáveis. Mas o universo a explorar é verdadeiramente complexo, sendo necessários anos de observação para estabelecer os procedimentos que poderiam ser generalizados. Infelizmente estas técnicas não são adequadas às madeiras arqueológicas devido a grande porosidade da madeira inicial que não permite fazer medidas *ad hoc*.

### 2.8.4. HISTÓRIA E COMÉRCIO

Segundo Ronan (1987), a dendrocronologia permite também emitir hipóteses sobre a circulação da madeira. Num caso preciso o dendrocronólogo, que conhece bem o terreno, pode ter uma idéia da distância que separa o lugar onde a madeira foi encontrada daquela onde a madeira foi conduzida incluindo a quantidade de centenas por quarto de século. Estas quantidades extraídas são colocadas a disposição na maior parte das escavações.

Um bom conhecimento geográfico, hidrográfico, do solo e sociológico da zona próxima da escavação sobre muitas dezenas de quilômetros quadrados, é necessário para colocar as bases de uma paleocartografia, fazendo parte do prado e da floresta. O transporte da madeira a longa distância foi praticado pelos romanos, tanto por terra, como por meio fluviais. Em Marselha tentativas de datar as madeiras, encontraram-se correlações dos crescimentos surpreendentes com as madeiras romanas da Borgonha estudadas em Besançon (RONAN, 1987).

Para Ferdiére (2005), no final da Idade Média o comércio da madeira de qualidade, chamada de “Madeira da Holanda”, estava largamente difundido. Os textos da Corte da Inglaterra no final do século XV consideravam o fato dos pintores flamengos (França e Bélgica) que pintavam sobre madeira, em particular nos retalhos de madeira nos altares, não se deslocavam sem sua carga de madeira, que vinham em geral das costas do Báltico (Figura 14). As árvores de crescimento regular de linhas direitas são procuradas para obras de arte, marcenarias e edifícios de qualidade.

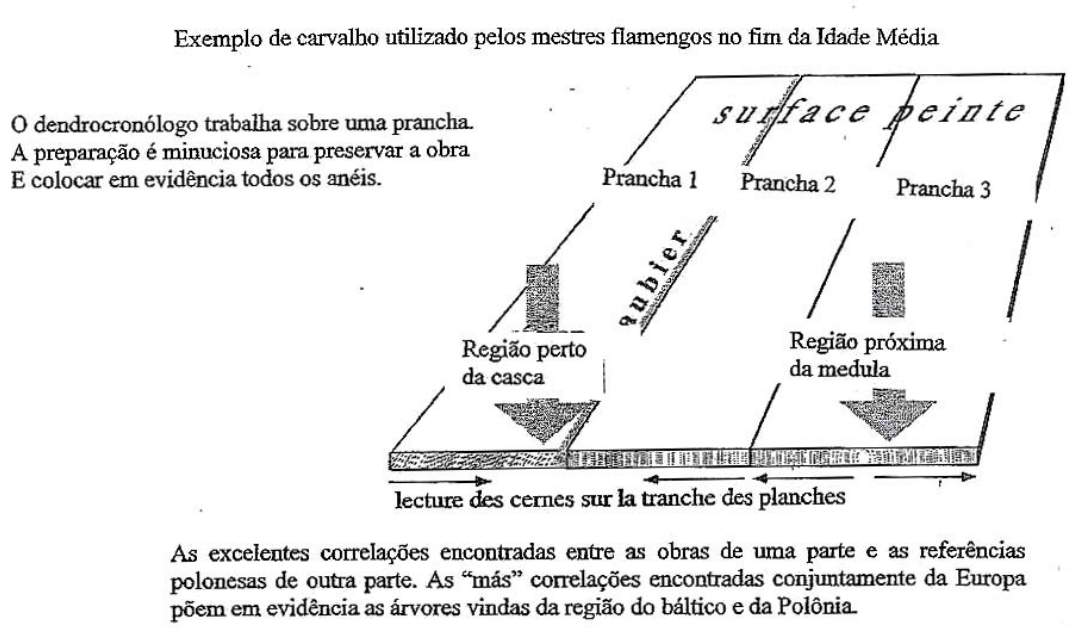



Figura 14– Dendrocronologia das obras de arte (Modificado de LAMBERT, 2005).

Os dendrocronólogos de Hamburgo têm mostrado, que se poderia localizar certas jazidas de madeiras nos limites da Alemanha Oriental e da Polônia, procurando fazer antes de tudo as comparações com as amostras mais próximas (FERDIÈRE, 2005).

### 2.8.5. PERSPECTIVAS PRÁTICAS

A dendrocronologia está em desenvolvimento, tendo as árvores como testemunha dos acontecimentos diversos, sobre o conjunto do planeta. O pequeno mundo dos dendrocronólogos era aproximadamente de algumas dezenas de pesquisadores, europeus. No Brasil eram raras as informações anteriores a 1960 e atualmente contam-se com centenas. A disciplina diversifica sem cessar a parte da datação para a arqueologia e história. Desenvolve cada vez mais suas próprias técnicas e datam-se cada vez mais novas amostras. O passado distante no Hemisfério Sul, descrito pelos anéis das árvores é pouco conhecido. Espera-se uma situação de sensível progresso nos próximos anos, e o aumento dos centros de pesquisa será uma necessidade (OBERLIN, 2005).

É evidente que o andamento do dendrocronólogo é complicado e exige do pesquisador as complacências sempre mais diversificadas. Um dendrocronólogo não se fabrica em cinco minutos, nem mesmo em dois anos, é preciso mais, e a exigência pela competência vai sem dúvida aumentar.

Os datadores, em particular, deveriam integrar mais eficazmente a tecnologia da modelagem e toda matemática que acompanha, em particular, o cálculo matricial que é a base elementar do tratamento dos dados. Além disso, para oferecer um melhor serviço e aproximar melhor uma realidade terrivelmente complexa, é necessário tirar do raciocínio probabilista, as aplicações de fórmulas conhecidas que não se adaptam, ou se adaptam mal. A multiplicidade dos casos particulares e a diversidade das questões tornam necessário explorar em maior número a credibilidade experimental (HOLMES, 1965).

Uma pesquisa comum vai além de uma simples troca de tipo de madeira. Deve-se considerar os resultados dos parceiros que são os arqueólogos e arquitetos. É urgente não jogar fora madeiras históricas ou arqueológicas e, portanto, manter uma política de conservação (LANGOUËT, 2005).

## 2.9. OUTROS MÉTODOS DE DATAÇÃO

Além dos métodos de medição que são, por exemplo, a dendrocronologia e o arqueomagnetismo são também usados técnicas de datação em duas condições: por um lado, é necessário que o alcance dos materiais utilizados seja adequado, no momento da medição, por outro lado este alcance deve estar ligado a acontecimentos que variam com o tempo, por exemplo, um incêndio. Um fenômeno evolutivo é sempre expresso por uma matemática monótona, geralmente simples, seja crescente (no caso de uma acumulação), seja decrescente (como um declínio radioativo). Assim, ao lado dos métodos que foram anteriormente apresentados existe um certo número de outros que possuem características apropriadas onde as principais serão objeto deste capítulo ( LANGOIUËT, 2005).

### 2.9.1. MÉTODO DE DATAÇÃO PELO CARBONO-14

Pelo método de datação usando o carbono-14, podem-se determinar idades de materiais orgânicos de milhares de anos. Por outro lado para determinar a idade das rochas que têm milhões ou bilhões de anos emprega-se o método do urânio-238.

O carbono-14 é bastante preciso em datações de objetos no máximo de 50 mil anos. O primeiro cientista a utilizá-lo foi o americano Willard F. Libby, que recebeu o prêmio Nobel de Química em 1959.

O carbono 14 ou radiocarbono é um isótopo radioativo natural do elemento carbono, recebendo esta numeração porque apresenta massa atômica 14.Este isótopo apresenta dois nêutrons a mais no seu núcleo que o isótopo estável carbono-12.

Entre os cinco isótopos instáveis do carbono, o carbono-14 é o que apresenta a maior meia-vida, que é aproximadamente 5730 anos.

Forma-se nas camadas superiores da atmosfera onde os átomos de nitrogênio-14 são bombardeados por nêutrons contidos nos raios cósmicos:

$$^{14}_{7}N + ^{1}_{o}n \rightarrow ^{14}_{6}C + ^{1}_{1}H$$ **Equação 1**

Este isótopo de carbono reage com o oxigênio do ar e forma o dióxido de carbono ($C^{14}O_2$), cuja quantidade permanece constante na atmosfera, juntamente com o dióxido de carbono normal ($C^{12}O_2$). Estes dióxidos são absorvidos pelos animais e vegetais e através de mecanismos metabólicos são incorporados a estrutura destes organismos.

Enquanto o animal ou vegetal permanecer vivo a relação entre o carbono-14 e o carbono-12 permanece constante. Quando o ser vivo morre inicia-se uma diminuição da quantidade de carbono-14 devido a sua desintegração radioativa. No carbono-14 um nêutron do núcleo se desintegra produzindo um próton que permanece no núcleo, aumentando o número atômico de 6 para 7, com a emissão de uma partícula beta (elétron nuclear). O resultado da desintegração do nêutron nuclear do carbono-14 dá origem ao átomo de nitrogênio-14.

$$C^{14} \rightarrow {}_{7}N^{14} + {}_{-1}\beta^{0}$$ **Equação 2**

Como essa desintegração ocorre num período de meia-vida de 5730 anos é possível fazer a datação radiométrica de objetos ou materiais arqueológicos com idades dentro desta ordem de grandeza. O método não é adequado à datação de fósseis que têm idade na casa dos milhões de anos e que são datados por métodos estratigráficos e por decaimento de outros elementos radioativos.

A expressão matemática usada para o cálculo do tempo decorrido entre a data do abate de uma arvore e a data do ano de 1950 é dada por:

$$t = \frac{\ln \frac{n_f}{n_0}}{-0{,}693} \; T_{\frac{1}{2}}$$

**Equação 3**

Sendo $n_f$ o número de elétrons registrados por minuto, $n_o$ o número inicial de elétrons (13 elétrons por minuto) (TIPLER, 2001).

A contagem dos números de anéis determina o tempo de vida da árvore, enquanto que o método do radiocarbono determina o tempo decorrido após sua morte até os dias atuais (até 1950).

A dendrocronologia tem como objetivo, não apenas conhecer a idade de uma árvore, mas relacionar, estudar e analisar as características dos anéis formados no interior delas, seja por observação direta nos troncos ou por dedução dos registros mostrados nos instrumentos de medição sem a necessidade de causar destruição, procurando estabelecer uma correspondência entre os anéis (principalmente sua posição a partir do centro e a largura) e os acontecimentos ocorridos na ocasião em que este estava se formando, sendo aceitos como testemunhas da história.

As datações por radiocarbono comportam varias suposições importantes: primeiro, deve-se supor que a atmosfera no passado teria a mesma quantidade de carbono-14 que a dos dias atuais; segundo, todos os seres vivos deveriam conter a mesma concentração de radiocarbono, igual a da atmosfera, terceiro, que não fosse acrescentado mais radiocarbono após a morte do ser vivo. Em alguns casos estas condições não se cumprem. Deve-se, então, observar com cautela a medição e a interpretação do resultado final.

### 2.9.2. MÉTODO DE RESSONÂNCIA MAGNÉTICA DO ELÉTRON.

Trata-se de um método que permite olhar os anéis das árvores sem prejudicá-las usando a tomografia de ressonância magnética do elétron. Sendo um processo muito complicado e caro, realmente são poucas as universidades que utilizam este método, para a maioria ainda não pegou. Ainda assim tal método poderá no futuro se tornar comum (JACOBY & HOMBERECK, 1987).

A ressonância magnética do elétron (RME) iniciada por E.Zeller em 1966 foi mais bem desenvolvida a partir de 1975. A finalidade da técnica está muito próxima ao método de termoluminescência (TL), pois ele permite determinar a energia armazenada. num material, após sua formação, isto é, a dose arqueológica (DA). Uma das vantagens deste método reside na ausência de destruição da energia armazenada sob a forma de elétrons aprisionados. Diz-se que a medição é “não destrutiva”.

Num campo magnético intenso ocorre uma duplicação dos níveis de energia dos elétrons; a intensidade I de absorção das ondas de hiperfrequência (centimétricas) é proporcional a quantidade dos elétrons aprisionados, isto é, da energia armazenada.

A RME permite cobrir largamente o domínio cronológico da pré-história.

## 2.10. A DENDROCRONOLOGIA NO BRASIL

Cita-se a seguir, alguns trabalhos realizados no Brasil, envolvendo principalmente o conhecimento dendrocronológico associado a evolução paleoclimática, e o atual estágio das pesquisas nacionais.

### 2.10.1. DESEJO NACIONAL DE INVESTIGAÇÕES TÉCNICAS E CIENTÍFICAS

A dendrocronologia constitui excelente ferramenta utilizada nas pesquisas voltada para as florestas e para a ecologia. Entretanto as análises efetuadas nos anéis de crescimento não são suficientes para cobrir uma vasta área da América do Sul,

mesmo considerando que os anéis das árvores das regiões tropicais são bem definidos (COELHO, 1993).

Os ecossistemas das regiões tropicais são em parte responsáveis pela manutenção da estabilidade biológica do planeta, incluindo o ciclo das águas e do carbono na atmosfera. A competição entre o fraco índice de recuperação e o acelerado processo de destruição das florestas impele os ecossistemas a uma visível degradação (SOUZA, 2010). O desmatamento nos nove estados da Amazônia Brasileira no período 2004/2005 foi de 18.900 $km^2$ (BRASIL, 2005). A recuperação depende de uma concentração de esforços baseados em estudos técnicos e científicos, tendo como matéria prima o excelente ambiente brasileiro, adequado às pesquisas dendrocronológicas, auxiliado pelo clima de sazonalidade anual que promove a formação dos anéis de crescimento. Estima-se que 25,45 % das espécies arbóreas da Amazônia contêm distintos anéis de crescimento. Esta percentagem é semelhante a outras partes do planeta (ROIG, 2006).

"Por isso o emprego dos anéis de crescimento de árvores tropicais deveria ser direcionado para uma fase de expansão e consolidação nas redes de estudos em escala continental" (ROIG, 2006), sobre o paleoclima relacionado com as condições pluviais e as anomalias climáticas.

A dendrocronologia seria essencial na resolução de fatos pouco compreendidos, como determinar a real idade das árvores tropicais e a respectivas taxas de crescimento, facilitando uma política de conservação que amenize as influências negativas sobre o ambiente.

No Brasil, a diversidade das espécies oferece grande oportunidade para o incremento das pesquisas no terreno dendrocronológico.

### 2.10.2. CONHECER A IDADE DAS ÁRVORES, IMPORTÂNCIA E APLICAÇÃO

Botosso & Tomazello-Filho (2001) e Matos *et al.* (1999) consideram relevante a linha de pesquisa desenvolvida na Embrapa, que vem investigar a idade e a taxa de crescimento das arvores tropicais e subtropicais. Neste estudo os autores mostram a importância, as dificuldades e aplicações das pesquisas dos anéis de

crescimento em espécies tropicais em especial as nativas. Inicialmente apresentam o Jequitibá, árvore de 54 metros de altura localizada em Carangola/MG, tendo a idade de 1500 anos. Outros consideram o Jequitibá Rosa como a árvore mais velha do Brasil, com 40 metros de altura, na cidade de Santa Rita do Passa Quatro/SP, possui 3,60 metros de diâmetro a 1,60 metros do nível do solo, sua idade é estimada em 3020 anos (VARELLA, 1997).

No Brasil poucas são as informações sobre a idade das árvores em condições naturais, a maioria não passa de especulações sem qualquer base científica. Poucas são as pesquisas realizadas no país sobre o assunto, principalmente em árvores da Floresta Amazônica. Com base nas medições, usando radiocarbono ($^{14}C$), constataram idades variando entre 53 e 512 anos.

### 2.10.3 ESTUDO DENDROCRONOLÓGICO DAS ÁRVORES DA MATA ATLÂNTICA

Lisi *et al*. (2008) neste Relatório descreve espécies arbóreas da Floresta Ombrófila Densa Atlântica, observando as camadas de crescimento do lenho do tronco e selecionando para estudos dendrocronológicos. Outro fator de seleção foi a densidade das árvores destas espécies: *Araucária angustifólia, Cedrela odorata, Schizolobium parahyba.*

As cronologias dos anéis de crescimento das espécies guapuruvu (*Schizolobium parahyba),* possuem valores de intercorrelação de 66% a 28%. Os valores de intercorrelação estão relacionados aos fatores que controlam o crescimento das plantas, como a genética, luz, precipitação, nutrientes e declividade do terreno.

Outras árvores estão sendo acrescidas às cronologias para melhorar os valores de intercorrelação dos anéis para obter uma representatividade regional. As espécies como *Pseudobombax grandiflorum* e *Citharexylum miyrianthum* coletadas pelo programa Mata Atlântica apresentam anéis de crescimento bem delimitados anatomicamente, com número correspondente entre as datas de plantio e coleta, indicando serem anuais. Outras espécies como a *Copaifera langsdorffii* e

*Controloium robustum* possuem camadas de crescimento distintas e já foram indicadas para estudo.

### 2.10.4 DENDROCRONOLOGIA DE ESPÉCIES DE FLORESTA OMBRÓFILAS MISTA DO MUNICÍPIO DE CANDÓI, PR

Seis espécies da Floresta Ambrófila Mista (FOM) foram submetidas a análise do potencial dendrocronológico, juntamente com a coleta de troncos em Candói, PR, numa área pertencente a Centrais Elétricas do Rio Jordão. As espécies investigadas foram: Araucária *(Araucária angustifólia),* Carne de Vaca *(Cethrascabra),* Cedro Vermelho *(Cedrela lilloi),* Imbuia *(Ocotea porosa),* Pinheiro Bravo *(Podocarpus lambertii)* e Branqilla *(Sebastiana commersoniania)* (MATTOS et al. 1999).

Vinte troncos foram serrados e retirados amostras na altura do peito, da prancha central, de casca a casca, cruzando a medula para análise macroscópica. As amostras foram secas e lixadas, possibilitando o reconhecimento e medição dos anéis de crescimento. O diâmetro das árvores, na altura do peito (ver Tabela 1), variava entre 14 cm e 40 cm, com idade média de 51 anos e incremento anual médio de 0,55 cm.

Apesar do pequeno número de árvores foi possível observar que as condições do ambiente não foram limitantes para as espécies, pois, os anéis de crescimento se mostraram pouco sensíveis. Entretanto, as condições climáticas dos anos 1999 e 2000, quando ocorreu um período de precipitação extremamente baixa, seguido por um inverno rigoroso, ficaram registradas nos anéis decrescimento em muitos discos analisados nesse trabalho (MATTOS, 1999). A série climática utilizada foi fornecida pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR.

**Tabela 1** - Espécie, diâmetro, idade, crescimento anual médio, crescimento periódico nos últimos10 anos

| N°. ESPÉCIE | DIÂMETRO (CM) | IDADE ESTIMADA | CRESCIMEN-TO MÉDIO ANUAL (CM) | CRESCIMENTO PERIÓDICO NOS ÚLTIMOS 10 ANOS |
|---|---|---|---|---|
| 1.Araucária*(Araucariaangustifólia)* | 24,3 | 18 | 1,3 | 1,3 |
| 2. Araucária *(Araucaria angustifólia)* | 23,5 | 34 | 0,7 | 0,5 |
| 3. Araucária *(Araucaria angustifólia)* | 30,3 | 30 | 1.0 | 0,9 |
| 4. Carne de Vaca *(Cethrascabra)* | 14,0 | 55 | 0,3 | 0,2 |
| 5. Carne de Vaca *(Cethrascabra)* | 18,9 | 47 | 0,4 | 0,4 |
| 6. Carne de Vaca *(Cethrascabra)* | 22,0 | 45 | 0,5 | 0,1 |
| 7 Cedro Vermelho (*Cedrelalilloi)* | 22,1 | 82 | 0,3 | 0,2 |
| 8 Cedro Vermelho (*Cedrelalilloi)* | 21,8 | 16 | 1,4 | 1,1 |
| 9 Cedro Vermelho*(Cedrelalilloi)* | 23,5 | 73 | 0,3 | 0,2 |
| 10Cedro Vermelho*(Cedrelalilloi)* | 27,2 | 30 | 0,9 | 1,3 |
| 11 Cedro Vermelho *(Cedrelalilloi)* | 39,9 | 122 | 0,3 | 0,1 |
| 12. Imbuia *(Ocotea porosa)* | 21,2 | 70 | 0,3 | 0,5 |
| 13. Imbuia *(Ocotea porosa)* | 19,9 | 80 | 0,2 | 0,2 |
| 14. Pinheiro Bravo *(Podocarpuslambertii)* | 18,4 | 26 | 0,7 | 0,6 |
| 15. Pinheiro Bravo *(Podocarpuslambertii)* | 19,0 | 42 | 0,5 | 0,4 |
| 16. Pinheiro Bravo *(Podocarpuslambertii)* | 23,0 | 48 | 0,5 | 0,7 |
| 17. Pinheiro Bravo *(Podocarpuslambertii)* | 23,7 | 50 | 0,5 | 0,8 |
| 18. Branqilla*(Sebastianianiacommersoniania)* | 24,8 | 62 | 0,4 | 0,7 |
| 19.Branqilla*(Sebastianianiacommersoniania)* | 21,5 | 43 | 0,5 | 0,7 |
| 20. Branqilla*(Sebastianianiacommersoniania)* | 22,7 | 46 | 0,5 | 0,6 |

(Fonte: MATTOS, *et al.*, 1999)

## 2.11 COSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conjunto de referências citadas concentra grande parte do assunto pesquisado. Conceitos, definições, leis naturais, princípios e postulados, foram revistos no sentido de ampliar os conhecimentos na área da dendrocronologia.

No presente trabalho foram consultados livros de conteúdo sobre dendrocronologia, biologia, arqueologia, mecânica quântica, datações arqueológicas, história antiga, astronomia, botânica, física moderna e paleontologia, os quais compuseram a multidisciplinaridade usada nesta investigação.

A dendrocronologia utiliza um conjunto de variáveis que agem como fixadoras do tempo de um determinado evento.

O pequeno mundo dos dendrólogos passou de algumas dezenas de pesquisadores, algumas décadas atrás, para várias centenas atualmente. Esta

disciplina se diversifica sem cessar, a arqueologia e a história desenvolvem cada vez mais suas técnicas, comprovando a veracidade dos testos descritos na história. O último milênio ficou mais bem conhecido com o auxílio da dendrocronologia, principalmente no hemisfério norte; no hemisfério sul esta disciplina começa a despertar o interesse dos pesquisadores dedicados ao estudo nesta área, com poucas referências a relação entre as idades e os acontecimentos históricos de qualquer região.

Para obter-se a idade por radiocarbono, deve-se empregar um ponto no tempo como referência. De nada serve falar da antiguidade de uma amostra no momento em que se realiza a medição. A datação por radiocarbono vai além dos cinqüenta anos entre nós; se hoje determinássemos a idade de uma semente antiga que anteriormente fosse inspecionada por Libby, apareceria uma diferença de cinqüenta anos devido às desintegrações acumuladas desde a primeira análise, entretanto a planta de onde veio a semente não poderia surgir de dois momentos distintos da história.

Para superar este problema se utiliza 1950 como o ano zero, e todas as idades se expressam em função desta data acompanhadas da expressão BP (*beforepresent*) ou a.p. antes do presente. No caso de amostras arqueológicas usa-se a.C. ou d.C.

O radiocarbono não proporciona uma data exata. Praticamente nenhum método científico de datação permite determinar com precisão o ano correto, com exceção da datação por anéis anuais das árvores. Após determinar a quantidade de radiocarbono, no laboratório, deve-se ter em conta os fatores de incerteza no cálculo final da idade.

Sempre existe a possibilidade de que uma amostra tenha sido contaminada durante o trabalho no laboratório; podem surgir diferenças nas desintegrações radioativas que pode superar os limites de precisão do equipamento. Por isso, o resultado expresso pelos laboratórios é a margem de idade que se considera mais provável para a amostra.

Compreender as informações trazidas pelos anéis nos dá a oportunidade de conhecer alguns aspectos dos eventos passados. Ao situar os acontecimentos pretéritos em um sistema de referência cronológico, podemos ver se as catástrofes nos dão respostas sobre como devemos reagir.

Desta forma esta revisão bibliográfica buscou:

1- apresentar os resultados das pesquisas sobre dendrocronologia com o propósito de descrever a evolução dos anéis de crescimento das árvores, comparando com os eventos da história dos povos;

2- descrever a formação dos anéis de crescimento identificando, através deles, as madeiras utilizadas no passado, em construções civil, móveis e obras de arte.

# 3. MATERIAL E MÉTODO

Neste item será descrito o material e métodos para desenvolvimento desta pesquisa. O material utilizado na datação de uma árvore é descrito em primeiro lugar. Depois é apresentado o método de datação de uma árvore a partir de um fragmento da seção transversal de um tronco, considerando os anéis presentes.

Há dois métodos de estimar a idade das árvores, sendo o método direto e o método indireto:

a) Métodos diretos: contagem dos anéis por métodos destrutivos e não destrutivos obtendo baquetas com o uso do trado;
b) Métodos indiretos: datação por métodos radioativos, contagem dos anéis e estimativas por medições contínuas do diâmetro.

   Neste trabalho será utilizado primeiramente o método direto destrutivo, com a coleta de um disco para a contagem dos anéis. Posteriormente, é proposto uma método de calcular a idade de uma árvore, a partir de um fragmento de disco, contendo uma parte dos anéis.

## 3.1. MATERIAL

O material pesquisado para realização desta tese foi o Cambará (*Gochnatia polymorrpha*), da família *Asteraceae*, apresentando também os seguintes nomes populares: candeia, cambará-de-folha-grande, cambará-do-mato, cambará-guaçu, cambará-pérola. Essa espécie originada do cerrado temocorrência também nos estados da Bahia, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul chegando até o Rio Grande do Sul, também foi registrado sua presença na Argentina e Paraguai.

### 3.1.1. CARACTERÍSTICA DA ESPÉCIE CAMBARÁ

O Cambará apresenta as seguintes características morfológicas: Altura entre 6 m a 8 m (Figura 15), com tronco tortuoso de 40 cm a 80 cm de diâmetro, revestido com casca grossa e suberoso (Figura 16) com sulcos profundos e cristas agudas,.

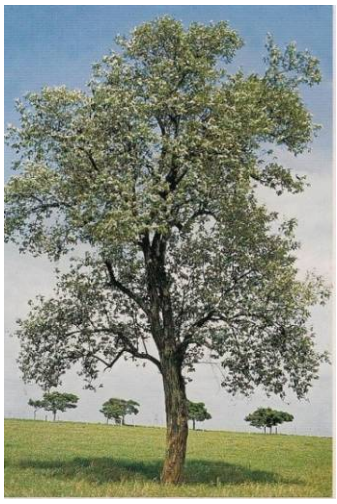
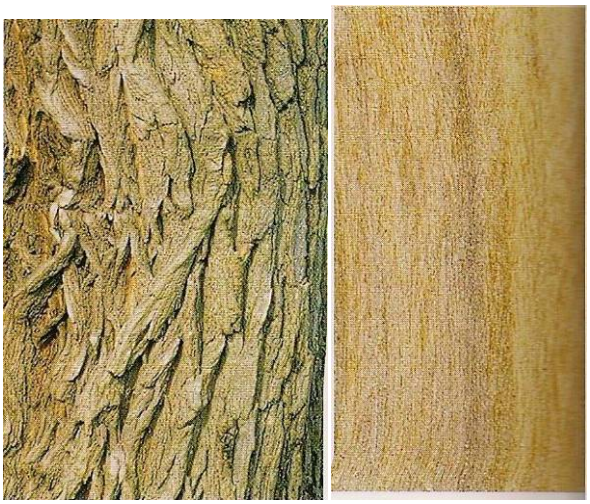


Figura 15- Cambará (*Gochnatia polymorrpha*)
**Fonte:** LORENZI (2008)



(a) Casca (b) Madeira

Figura 16- Representação da casca e da madeira do Cambará
**Fonte:** LORENZI (2008)

As folhas simples, elípticas a ovaladas, brancas - tomentosas na face inferior de 14 cm a 18 cm de comprimento por 4 cm a 6 cm de largura. Inflorescência em

panículas axilares e terminas de capítulos de coloração esbranquiçada, Figura 17 (LORENZI, 2008, p. 54).

(a) Folha (b) Flor (c) Panículas axilares

Figura 17- Características Morfológicas
**Fonte:** LORENZI (2008)

A espécie Cambará (*Gochnatia polymorrpha*) produz madeira moderadamente pesada (densidade 0,76 g/cm$^3$), compacta, rija, quebradiça, de poros muito finos, de grande duração sob condições adversas (quase incorruptível). Devido a sua natureza, durante o corte com machado chega a produzir faísca.

A utilidade da madeira do Cambará (*Gochnatia polymorrpha*) é propria para obras imersas, construção civil, mourões, pontes, para confecções de cabo de ferramentas, palitos de fósforos, artefatos de uso domésticos, esquadrias e curvas para construção naval. A árvore apresenta características ornamentais, principalmente pela cor prateada da folhagem e a forma retorcida de seus ramos, podendo ser empregada no paisagismo em geral. Como planta pioneira adaptada a terrenos pobre se secos é útil para composição de reflorestamentos mistos de áreas degradadas. (LORENZI, 2008, p. 54).

### 3.1.2. ÁREA DE ESTUDO

O estado de Mato Grosso é formado por três biomas: Cerrado, Floresta e Pantanal. Para esta pesquisa escolheu-se a região do Pantanal para a coleta de

amostra de madeira da espécie Cambará. O Pantanal revela-se com muitas particularidades do ponto de vista geográfico, por sua localização estratégica, clima, relevo e vegetação, diferenciados dos demais municípios vizinhos.

A madeira encontrava-se em forma de tronco na área experimental localizada na Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN SESC – Pantanal, município de Barão de Melgaço – MT, distante 160 km de Cuiabá – MT em que estava instalada uma torre micrometeorológica de 32 m de altura (16º33’19’’S; 56º17’11’’O) e altitude de 120 m. Esta área apresenta vegetação monodominante de Cambará (Vochysiadivergens), conhecido localmente como cambarazal, com altura do dossel variando entre 28 a 30 m. O solo foi classificado como GLEISSOLO HÁPLICO Ta Distrófico e o clima Aw segundo Köppen. Ocorrem estações bem definidas. Uma estação seca, entre abril e setembro, e uma chuvosa, entre outubro e março.

Na Figura 18 a seguir está representada a área de estudo para realização desta pesquisa.

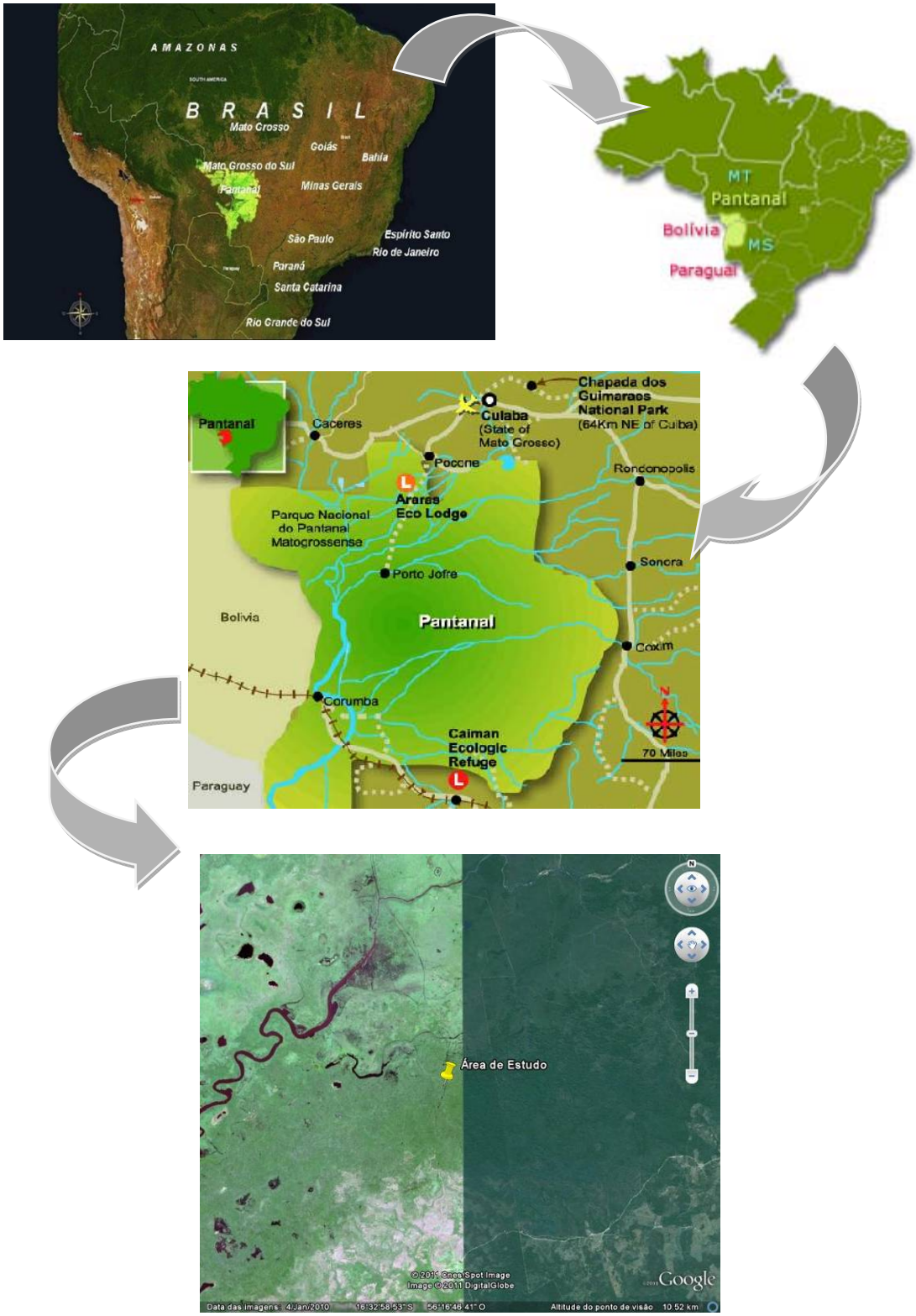



Figura 18- Localização da área de estudo.

## 3.2. MÉTODO

O tempo de vida de uma árvore, desde o seu surgimento até o abate, é determinado pelo número de anéis. A dendrocronologia está baseada na contagem e análise dos anéis anuais das árvores com a melhor precisão possível, nas condições mais favoráveis de datar a sua morte. Freqüentemente, devido à natureza destes objetos raramente possuem seções completas, esta precisão é da ordem de alguns anos.

Este crescimento é medido anel por anel, em cortes transversais efetuados sobre o tronco. As larguras dos anéis são projetadas sobre um gráfico chamado de curvas dendrocronológicas. A escala de tempo, no eixo das abscissas, é dada pela sucessão anual dos anéis. No eixo das ordenadas, a largura dos anéis em milímetros.

Segundo Gonçalves (1981), a dendrocronologia oferece também motivos para reflexão que vão além da datação. Esta disciplina pode operar no domínio do paleo-ambiente, e do paleo-clima. Para conhecer a idade de uma árvore Douglas imaginou um tipo de gráfico simples que seria um dos métodos utilizados na construção de uma escala discreta de dados para a análise da largura dos anéis de uma ou de muitas árvores, em forma de barras, como se vê na Figura 19.

Uma das bases da dendrocronologia consiste em encontrar sobre as séries dos anéis aqueles que são excepcionalmente estreitos ou largos e ignorar os outros, considerados atípicos e não revelam fenômenos climáticos particulares. Os pesquisadores “marcam” os anos que lhes parecem excepcionais sobre os gráficos do crescimento das árvores por uma barra cujo comprimento é proporcional a largura do anel. A Figura 19 fica com aspecto de espinha de peixe batizada de “*skeleton plot*”. Este método é essencialmente manual (RIGBY, 2004).

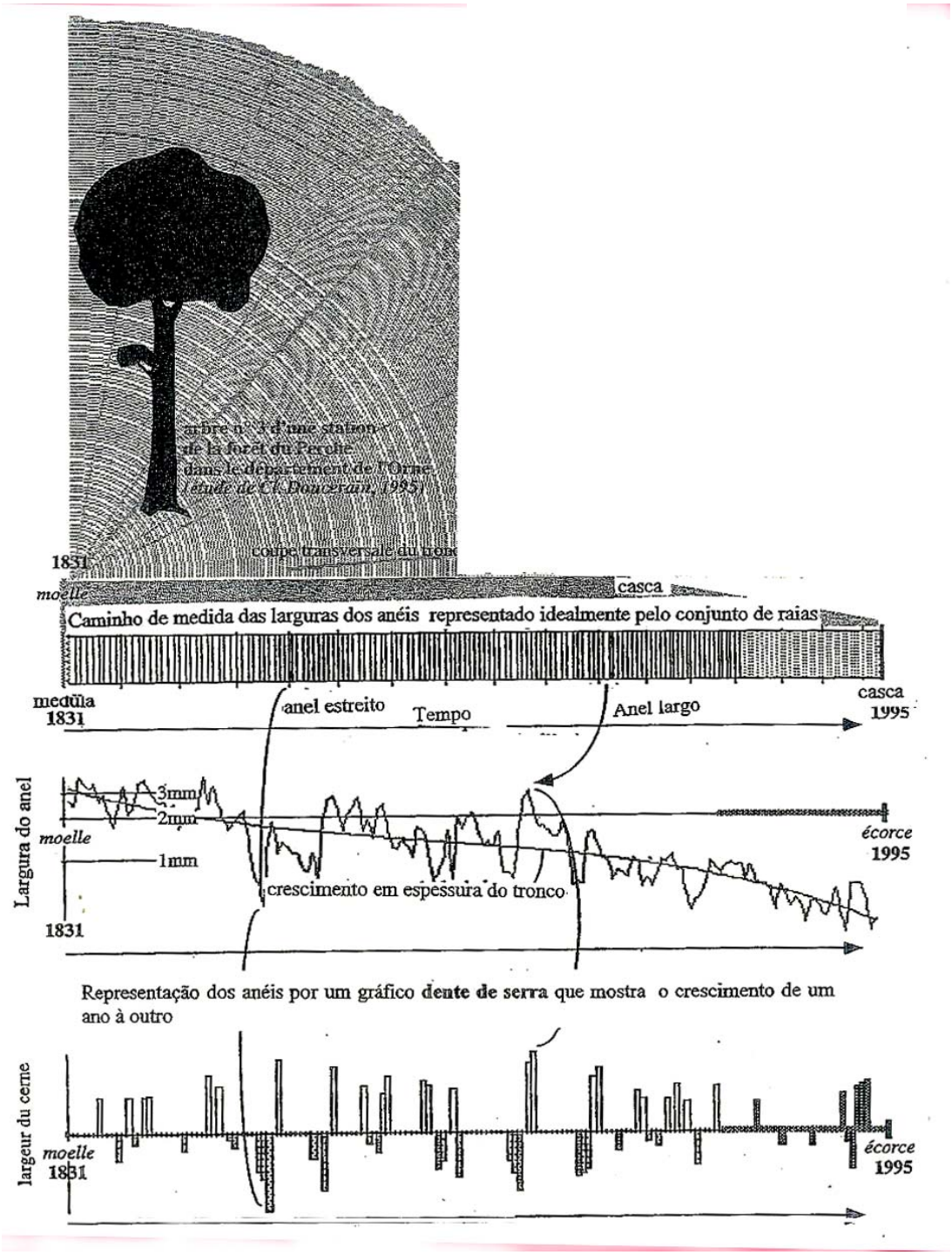



Figura 19- Representações do crescimento de uma árvore. (Modificado de LAMBERT, 2005)

### 3.2.1. FORMAÇÃO DOS ANÉIS DE CRESCIMENTO EM UMA ÁRVORE.

Quando uma árvore cresce produz uma capa que cobre o tronco e os ramos, a casca. Uma das camadas abaixo da casca é o *cambio* composto de duas partes, uma é o floema que transporta açúcares e outros produtos da fotossíntese. A segunda parte é o xilema por onde sobe a água absorvida do solo pelas raízes e que se transforma em matéria prima dos anéis.

As células do xilema normalmente formam duas partes em um ano. O tecido lenhoso interno é composto de células relativamente grandes que se formam no início da temporada de crescimento, na primavera quando alcançam o nível ótimo apresentam fatores que controlam o crescimento: os nutrientes, a temperatura e a umidade. Na temporada mais avançada esses fatores começam a escassear formando células relativamente pequenas de paredes grossas e de cor mais escura que o tecido lenhoso interno.

Com o tempo as mudanças das condições ambientais podem produzir anéis largos e estreitos em função do clima. É importante que cada anel coincida com outro de árvore diferente.

## 3.3. OS ANÉIS DE CRESCIMENTO DAS ÁRVORES E AS ESPÉCIES

As árvores são comumente classificadas em dois grupos: resinosas – gimnospermas - que possuem óvulos e sementes a descoberto; folheadas – angiospermas - grupo de plantas floríferas providas de sementes encerradas no pericarpo (AMABIS & MARTHO, 1999).

As estruturas das madeiras são muito diferentes umas das outras. Na classificação dos vegetais as árvores pertencem a famílias que se agrupam em espécies. Os pinheiros constituem uma vasta família. A espécie é normalmente definida a partir dos órgãos de reprodução.

Madeiras das árvores de uma dada espécie apresentam uma grande quantidade de pontos em comum, sendo que os lugares de predileção das espécies numa mesma família podem ser extremamente contrastados. Algumas preferem ambientes quentes e ensolarados, outros se refugiam na sombra e frescos, outros preferem solos bem drenados, alguns se comprazem em ambientes úmidos outros se acomodam em ambientes quimicamente neutros e outros se recusam a alcalinidades dos solos calcários (FRANKEL, 2000).

Compreende-se que a reação das árvores de espécies diferentes a um mesmo clima será diversa segundo os meios que pertencem a mesma família. Assim em dendrocronologia experimenta-se separar melhor a família e a espécie. Esta determinação da natureza íntima se faz de forma macroscópica.

No domínio das madeiras das construções, pode-se facilmente distinguir as resinosas das folheadas e reconhecer entre estas últimas as essenciais, as mais utilizadas, sobre um corte transversal. As resinosas (Figura 20) têm uma estrutura monótona, concêntrica, nas quais o fim de cada anel (madeira final do anel que se desenvolve da primavera ao fim do verão) é muito mais escura que no início e nunca mostram raios (sulcos ou linhas fortes), e consequentemente não apresentam malhas (BURCHFIELD, 1990).

A madeira das folheadas é perfurada por canais verticais ou poros que se solidificam à medida que a árvore envelhece. A maior parte desses canais é difusa dentro de toda madeira e não são visíveis a olho nu. Outros canais mais grossos não se dispõem senão na parte jovem da árvore e formam círculos sucessivos separados por marcas que mostram o início de cada anel (AMABIS & MARTHO, 1999).

Os mesmos autores consideram que podem resumir estas observações, no corte transversal do tronco das árvores ou do galho, Figura 20.

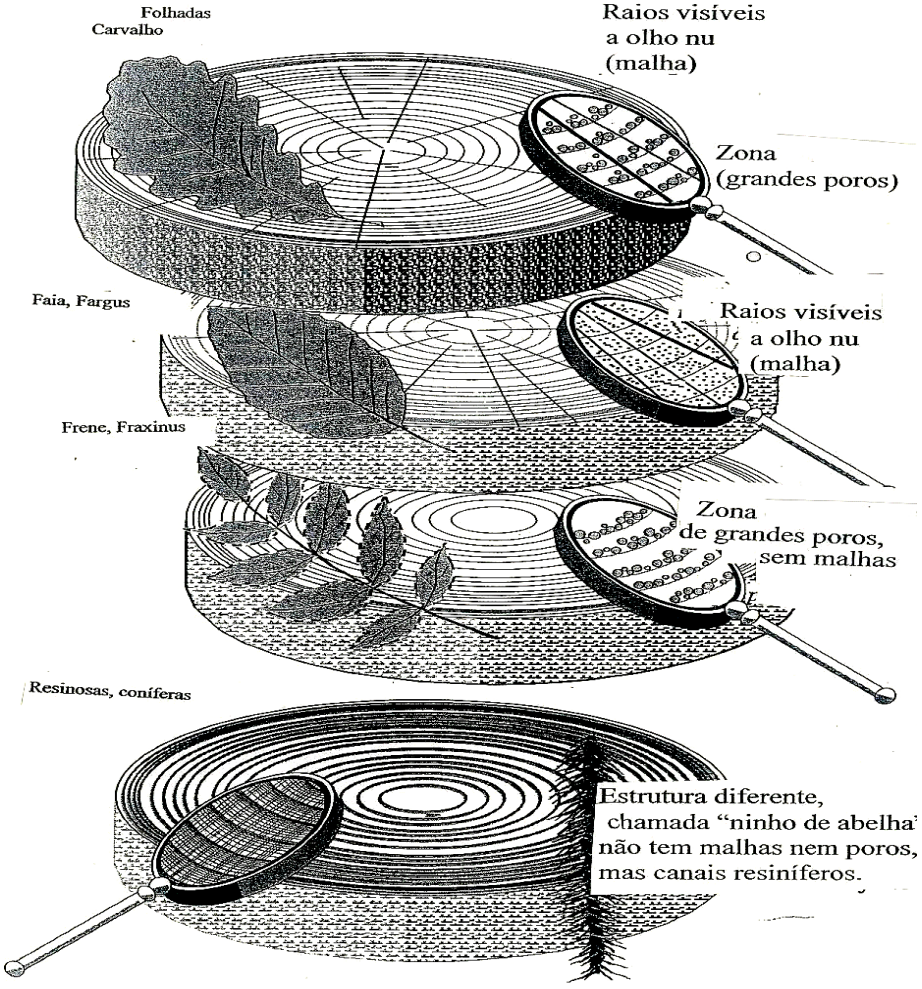



Figura 20- Descrição macroscópica das essências mais utilizadas em dendrocronologia. (Modificado de Lambert, 2005).

Determinar a espécie da madeira é a primeira operação que realiza o dendrocronólogo que aborda uma nova amostra. O segundo procedimento do pesquisador é avaliar, a primeira vista, o número de anéis de crescimento visíveis sobre a amostra (LANOS, 1967).

A qualidade da datação está, com efeito, em grande parte ligada à duração da cronologia que será pesquisada. Quanto maior o número de anéis, maiores são as chances de boa datação.

### 3.3.1. COLETA DE AMOSTRA PARA DENDROCRONOLOGIA

Para a datação dendrocronologica, as amostras de discos da árvore devem ser cortados na altura do peito, ou próximos à base do tronco. O disco deve ter uma espessura em torno de 5 cm, lixados e polidos.

A maior parte das análises é feita sobre baguetas de 6 a 12 mm de largura, obtida das árvores ou madeiras históricas ou arqueológicas. Assim o trabalho de medição é feito sobre fatias obtidas nos locais onde a seção é a mais completa possível e, sobretudo nos desvios dos nós.

As seções da parte superior do tronco, ou uma seção do galho não são boas indicadoras para a avaliação da idade (Figura 21). A largura dos anéis varia consideravelmente, não somente de uma árvore para outra, mas também dentro da mesma árvore, em particular os anéis situados próximos ao cerne são quase sempre mais largos que os do exterior (LAMBERT, 2005).

É o efeito da juventude ou da velhice, ao qual se acrescenta o efeito da geometria ligada a conicidade acentuada do anel em direção ao alto do talo que faz com que a amostra com 10 cm de secção na periferia possa dar três vezes mais anéis que uma amostra no cerne de 30 cm.

A ordem de grandeza da largura dos anéis é extremamente variável, não é raro encontrar uma relação de ordem de grandeza variando de 1 a 10 ou até mesmo de 1 a 15 sobre uma mesma amostra (AMABIS & MARTHO, 1999).

Avaliar a idade de uma amostra com base no diâmetro é um mau método. É preciso por conseqüência não ter pressa em observar atentamente a fatia para contagem dos anéis, enfim a proximidade de um nó ou de um colo (abaixo do tronco, resto do tronco cortado rente ao solo), são regiões tipicamente desfavoráveis para análise cronológica (BURCHFIELD, 1990). A Figura 21 resume as observações que conduzem a escolha das amostras para estudo.

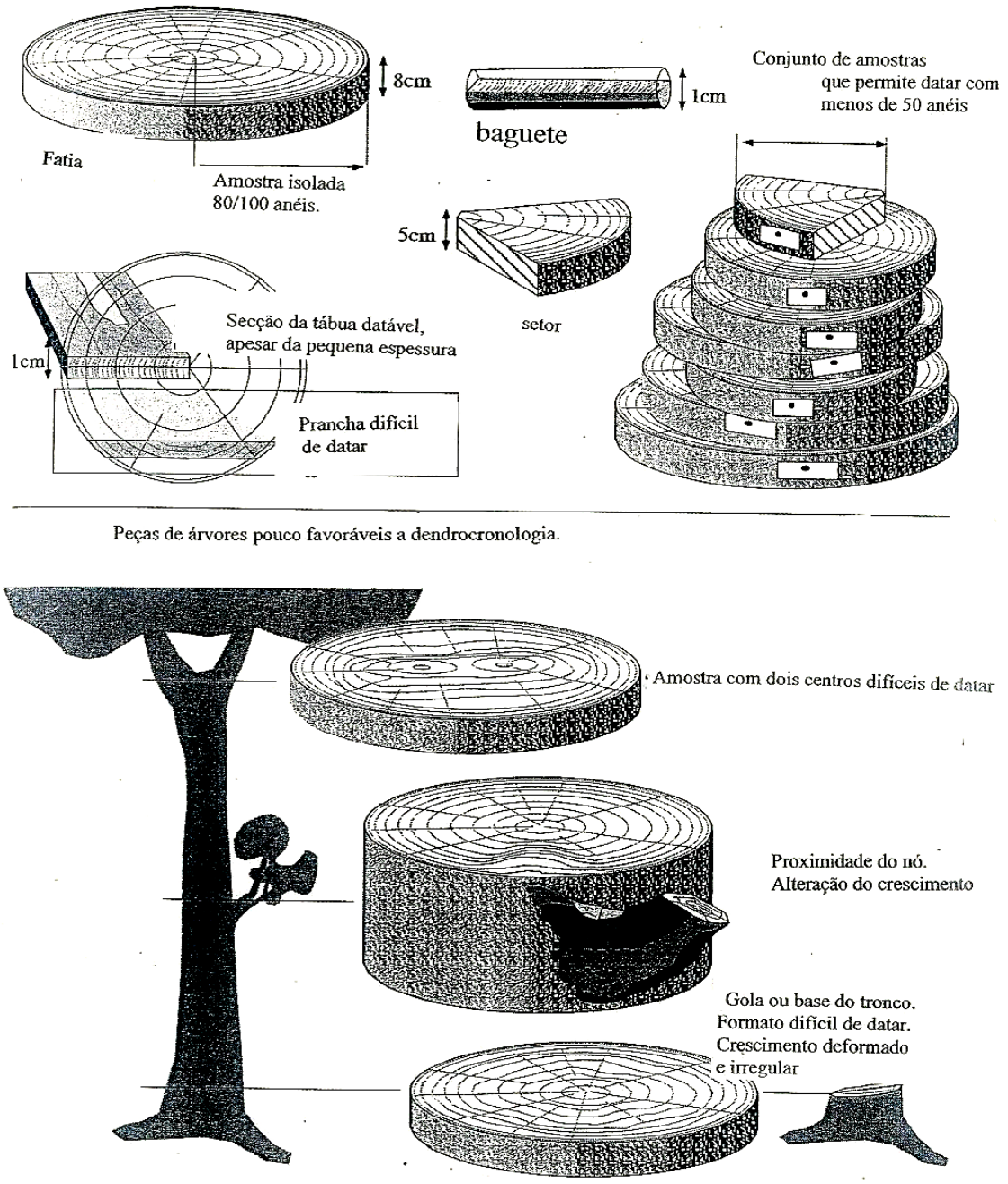



Figura 21– Dendrocronologia: escolha de amostras.
(Modificado de Lambert,2005).

Segundo Lambert (2005) quando uma árvore cresce, os anéis se empilham uns sobre os outros, como cones sucessivos. O cone do ano precedente não muda mais de dimensão, nem em espessura nem em altura (Figura 22).

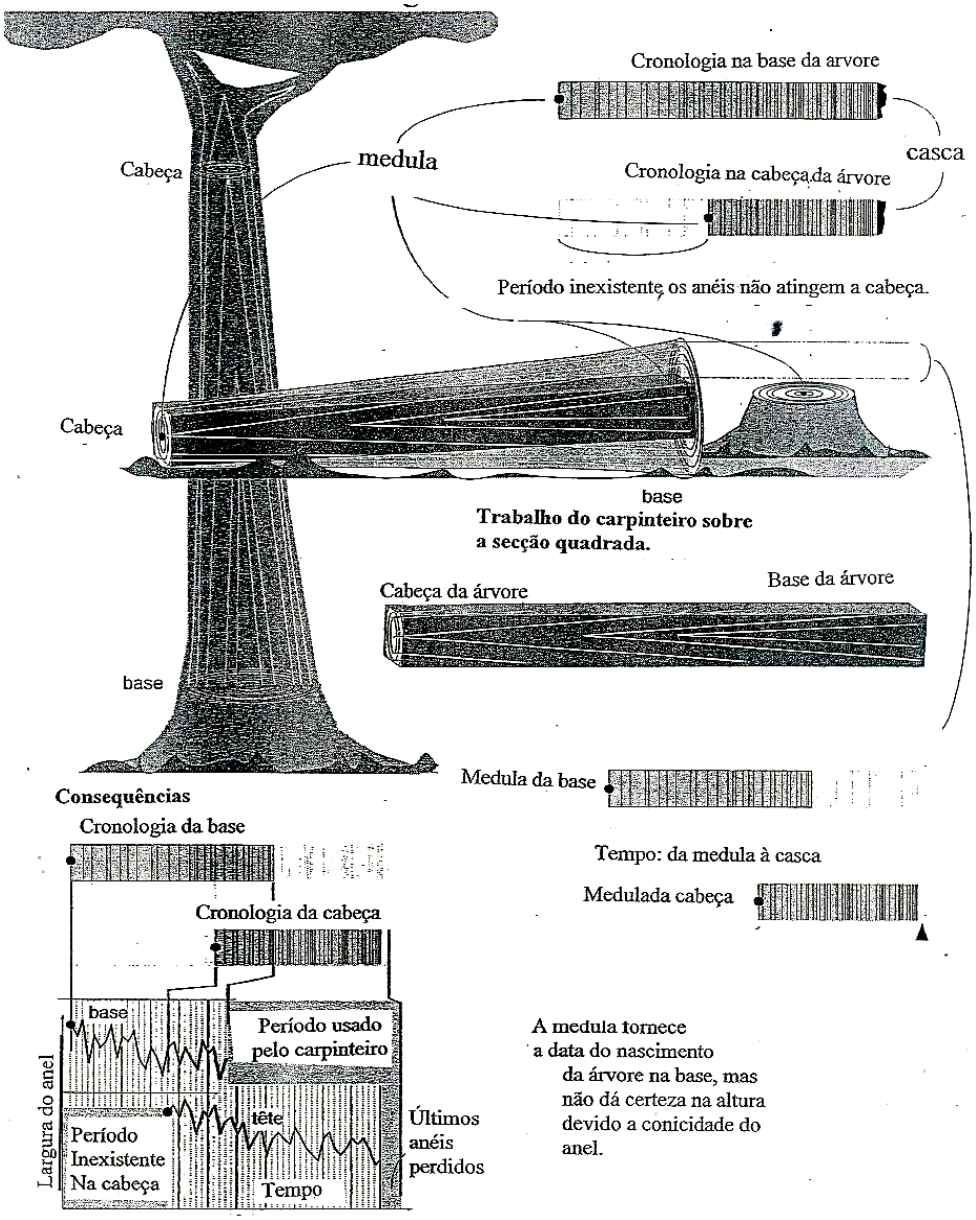



Figura 22– Conicidade dos anéis e trabalho de carpinteiro
(Modificado de Lambert, 2005).

Assim a medula representa bem o nascimento da árvore na base do tronco, porém a uma altura de 10 m, pode ser formada vinte a trinta anos depois do nascimento, em certos casos até mesmo em maior número.

O último anel está formado por muitas camadas onde dois são produtos do vegetal vivo, o câmbio e a camada *subero-phellodermica* que não se pode observar senão com uma lupa ou microscópio. Estes tecidos tênues localizados entre a madeira e a casca podem ficar visíveis sobre uma amostra, mesmo quando a casca

está partida (Figura 23). Também o operador pode determinar com menor incerteza que a presença dessas camadas garante que o último anel observado é o último anel da vida da árvore (LAMBERT, 2005).

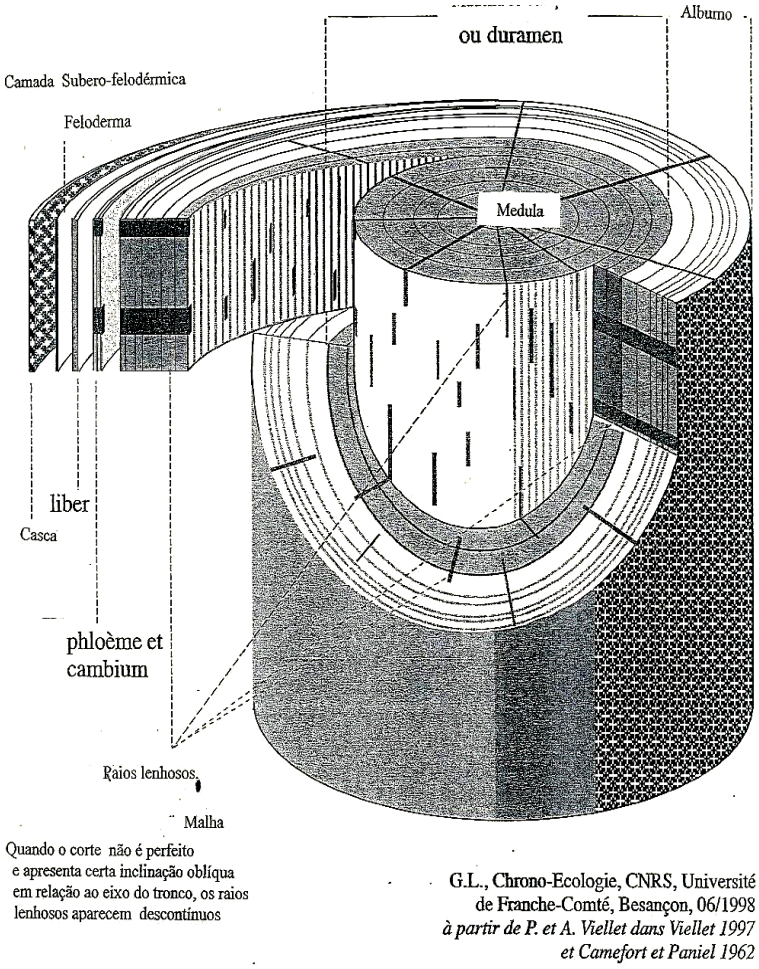



Figura 23– Anatomia do tronco e dos anéis
(Modificado de Lambert, 2005).

Procura-se determinar a localização do câmbio, que é o conjunto primário que fabrica a madeira (xilema). A data da formação do último anel é a data do começo da pesquisa (LAMBERT, 2005).

Entretanto certas madeiras apresentam na periferia da fatia um anel mais claro, que varia entre alguns milímetros e alguns centímetros de largura e que incluem anéis mais exteriores. Este anel não é visível em certas madeiras tais como o cambará e a castanheira, madeiras que possuem alburno bem visível, característica esta que não se vê nas resinosas. Este anel mais claro aparece no pinheiro no

momento em que é cortado ficando visível durante alguns minutos, mas não têm a mesma função que nas folheadas onde o alburno integra o essencial da parte viva da madeira (LAMBERT, 2005).

Com efeito, a seiva circula dentro dos canais das folheadas que aparecem cortadas transversalmente sob forma de poros, à medida que a árvore envelhece seus poros ficam obstruídos (entupidos) progressivamente de uma matéria chamada tilose que termina por interrompe toda circulação, mas que se torna um material de sustentação do vegetal que aumenta e engrossa (LAMBERT, 2005).

Este processo de consolidação pela tilose se desenvolve sem interrupção, entretanto os poros, os canais livres e aptos de transportar a seiva não existem mais no alburno até mesmo nos três ou quatro últimos anéis que se encontram próximos ao exterior. O restante do alburno começa também a ser obstruído parcialmente e, à medida que a árvore envelhece os anéis do alburno, os mais interiores se transformam na madeira do durame. Esta porosidade do alburno explica porque é particularmente desejada pelos insetos xilófagos que aproveitam as microcavidades da madeira para por seus ovos e desenvolver suas larvas, seu ciclo de reprodução e mesmo suas vidas (AMABIS & MARTHO, 1999).

Esta particularidade é útil na dendrocronologia que não tendo atingido o câmbio da amostra atinge um pouco o alburno. Sabe-se que isto é periférico e que a data do abate não esta muito longe, a avaliação da largura do alburno varia sensivelmente segundo cada laboratório e admite-se que numa árvore séssil o alburno varie em torno de uma média de vinte anéis, com desvio médio que varia entre 10 e 20 anéis (JACOBY & HOMBERECK, 1987).

Ao contrário da medula que não é uma marca cronológica estável ao longo do tronco, o anel mais externo do tronco, justamente sob a casca é um indicador estável. Este anel é o último formado pela árvore e, salvo condições particulares, marca o último ano de vida da árvore (DUNCAN, 1999).

Em certas condições favoráveis de observação o operador pode estimar se este anel está completo ou não. Isto permite emitir a hipótese sobre o período do ano ao qual a árvore foi tombada (Figura 24). No jargão do ofício diz-se que se estima a estação, mas isto, não é exato, sendo que a árvore não produz praticamente nada de

visível no que concerne a madeira, no inverno, isto é, quase seis meses de latência, impossível de decompor.

Inversamente, pode-se melhorar a precisão durante o período de produção de madeira, é possível ver se houve tempo para o anel se formar completamente. Para distinguir um anel incompleto de um anel curto, deve-se observar muitas amostras retiradas de árvores diferentes e abatidas no mesmo ano, ou antes, de ser utilizada num mesmo edifício. A qualidade da observação deve estar ligada ao estado de conservação da periferia da peça estudada (MANNING, 2001).

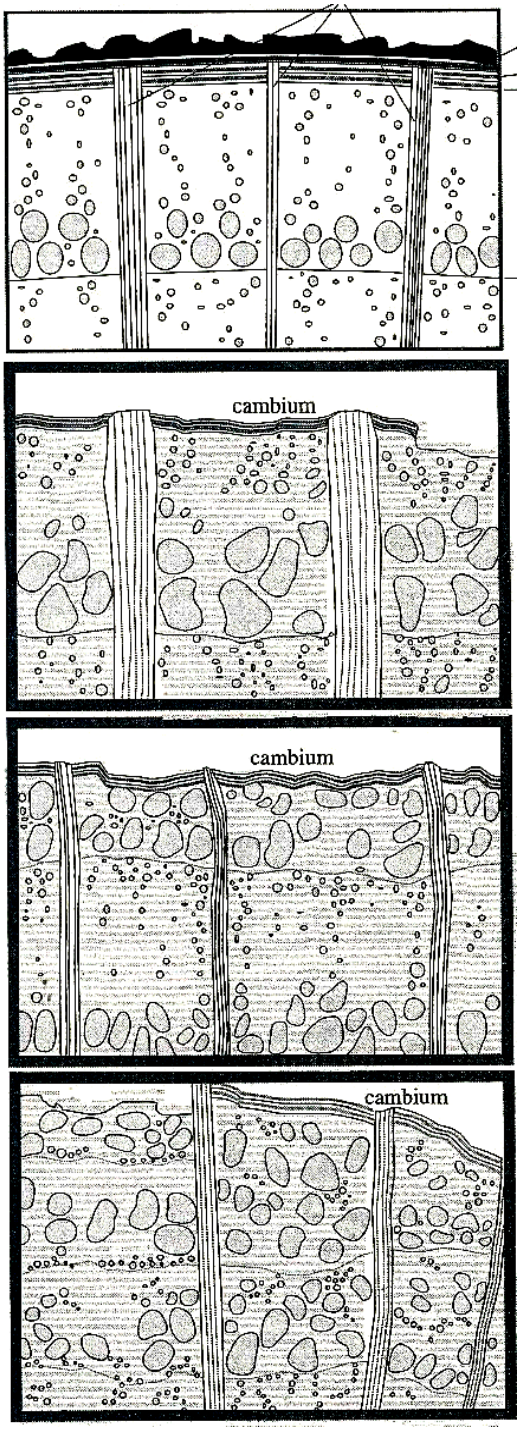



Figura 24– Detalhe do anel mais periférico (Modificado de Lambert,2005).

A maioria das madeiras encontrada pelos arqueólogos ou fornecida por arquitetos dos monumentos históricos está alterada pelo tempo, ou trabalhadas pelo homem. As peças de vigamentos são cortadas em ângulo reto e frequentemente sem a casca. A periferia das estacas é freqüentemente corroída pela pressão do solo

(Figura 25) ou correntes subaquáticas nas quais são encontradas (GONÇALVES, 1981).

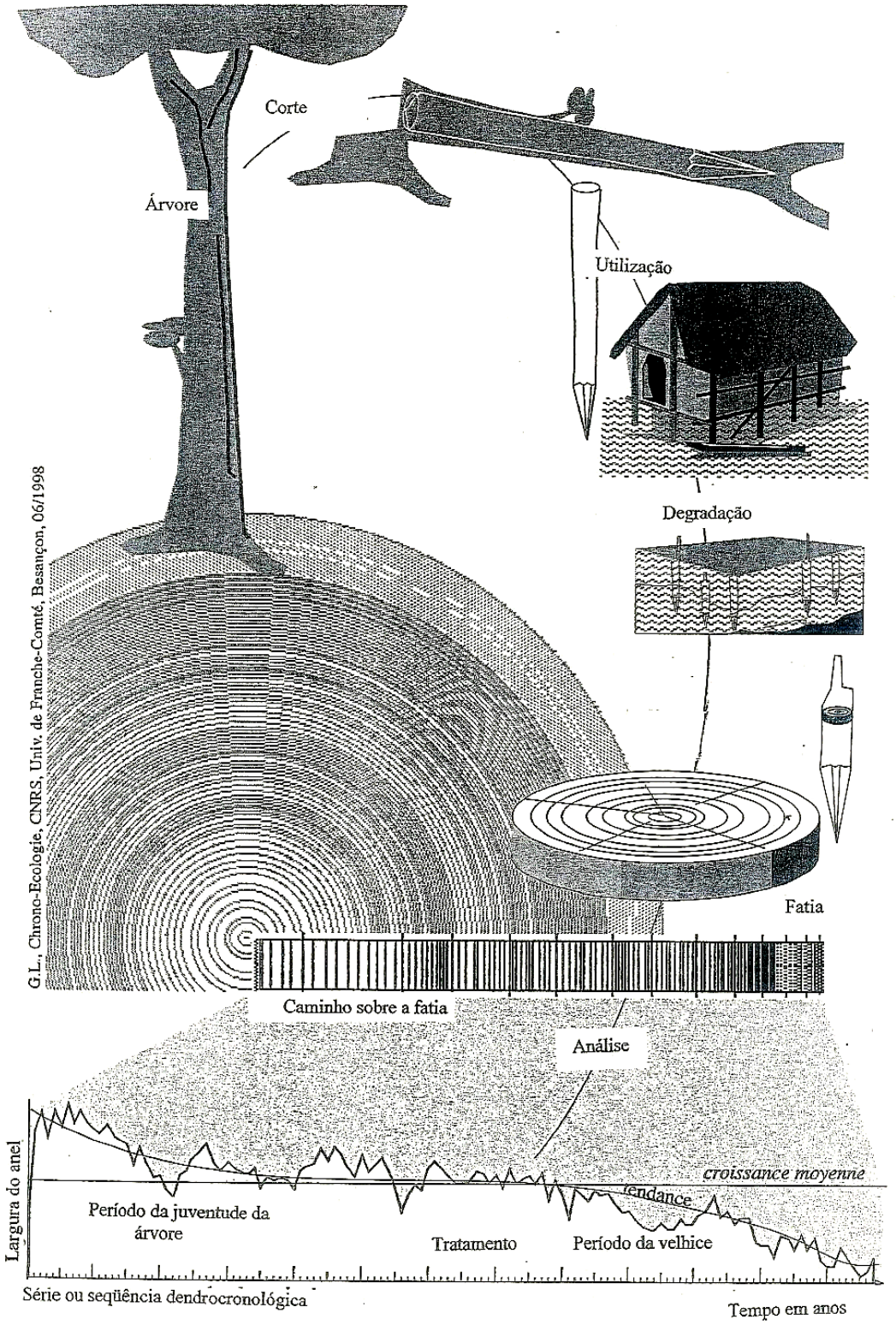



Figura 25– Leitura dos anéis e representação gráfica (Modificado de Lambert, 2005)

Isto leva a uma perda dos anéis da periferia e, portanto perda de informação quanto ao fim da vida da árvore, perda que se acrescenta aquela que concerne ao início da sua vida (no outro extremo da amostra) ligada a sua conicidade. Tenta-se compensar estes efeitos aumentando as amostras levantados sobre cada conjunto arqueológico ou arquitetural a datar (Lambert, 2005).

O próximo passo é identificar os eventos de crescimento diferenciado, isto é, os máximos e os mínimos, na série. A seguir correlacionar com os eventos climáticos conhecidos.

### 3.3.2. DENSIDADE E CALOR ESPECÍFICO FÍSICAS DAS AMOSTRAS DE MADEIRA.

As propriedades físicas densidade de amostras de madeira são determinadas da seguinte maneira:

densidade = massa/volume.

O Calor específico é calculado pela Equação 4.

$$C_a = \frac{C_1 m (t_i - t_f)}{m_a (t_f - t_i)}$$ **Equação 4**

Onde:

Ca = Calor específico da amostra;
$C_1$ = Calor específico da água;
m = Massa da água;
$m_a$ = Massa do corpo-de-prova;
$t_i$ = Temperatura inicial;
$t_f$ = Temperatura final.

O procedimento para determinação do calor específico: aquece-se a água em um recipiente metálico controlando sua temperatura com termômetro de mercúrio e escala em graus centigrados. Após a verificação do aquecimento da água a uma temperatura maior que a temperatura ambiente (ar), insere-se o corpo-de-prova, e verifica-se o decréscimo na temperatura da água, e um correspondente acréscimo na

temperatura do corpo-de-prova. Tendo determinado anteriormente a massa do corpo-de-prova e da água, e considerando o calor específico da água no valor de 1 cal/g.°C, emprega-se a Equação 04. ver Figura 26 a seguir.

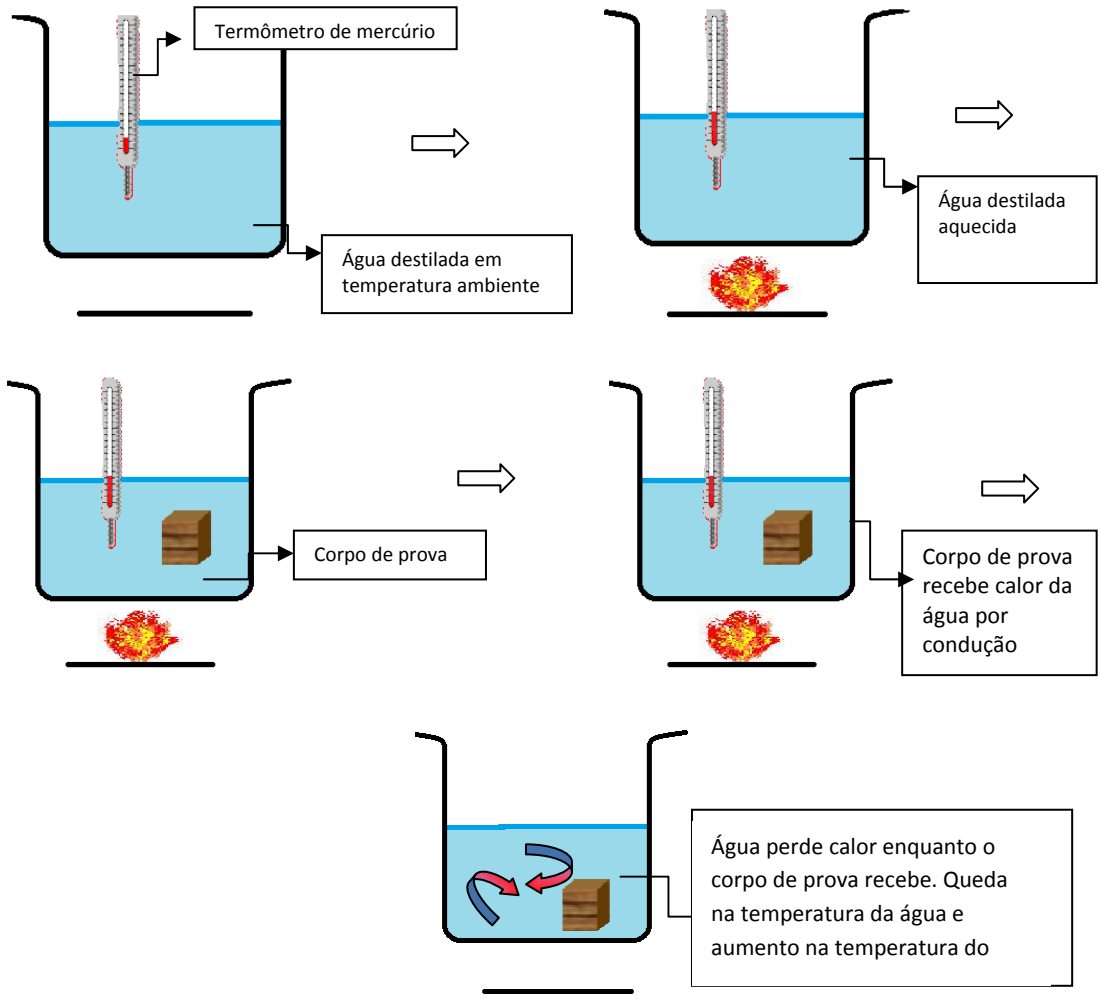



Figura 26- Representação esquemática para determinação do calor específico

## 3.4. MÉTODO MATEMÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DA IDADE DAS ÁRVORES

A expressão a seguir foi desenvolvida e introduzida nesta tese com a finalidade de auxiliar os pesquisadores que operam nesta área, empenhados na contagem dos anéis de crescimento. Trata-se de um método de fácil aplicação quando se deseja conhecer a idade de uma árvore que não mais existe dispondo apenas de uma sobra, um fragmento da mesma que resistiu ao tempo e a destruição,

isto é, tendo em mãos um velho pedaço de madeira contendo a figura de alguns anéis de crescimento que serão de grande importância na aplicação do método matemático.

A Figura 27 mostra uma seqüência de anéis concêntricos de um tronco de árvore que ao se afastarem do centro *c* ficam mais próximos entre si. A largura de um anel é expressa por *a* que obedece a seguinte distribuição: $a_1$ é a distância entre o centro *c* das circunferências e a borda do primeiro anel, $a_2$ é a largura do segundo anel, e assim sucessivamente, formando uma seqüência de termos. A seqüência é representada pelo conjunto $\{a_1, a_2, a_3,...,a_n\}$ sendo que:

$$a_1 > a_2 > a_3 > ..... > a_n \text{ ,} \qquad \textbf{Equação 5}$$

as diferenças entre um termo e o anterior é constante: representada por *r*.

$$a_2 - a_1 = -r$$
$$a_3 - a_2 = -r$$
$$.....$$

Sendo,

$$a_2 = a_1 - r$$
$$a_3 = a_1 - 2r$$
$$.....$$

Tal que

$$a_n = a_1 - (n-1)r \qquad \textbf{Equação 6}$$

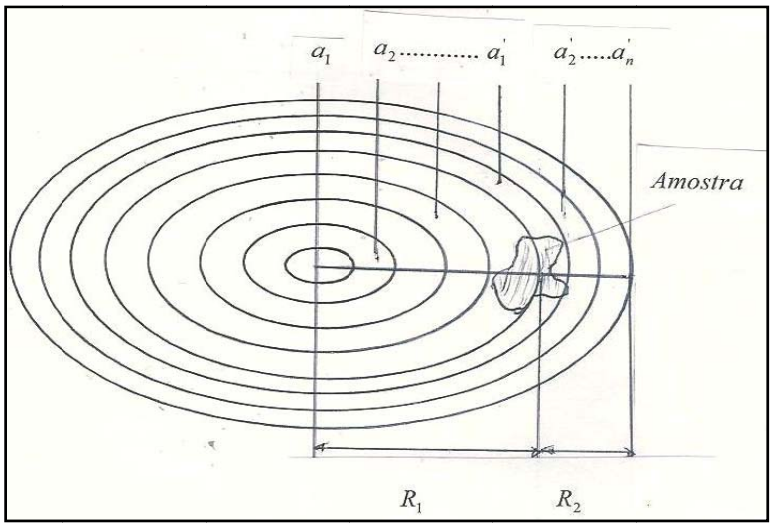



Figura 27- Esquema da distribuição dos anéis na seção transversal da madeira

Esta expressão é uma progressão aritmética decrescente, tendo como soma *S* o produto do termo médio $a_m = (a_1 + a_n)/2$ pelo número de termos $n$ e a equação torna-se:

$$S = \frac{a_1 + a_n}{2} n$$

**Equação 7**

Para determinar a idade de uma árvore conhecendo-se apenas um fragmento da sua madeira (Figura 28), contendo alguns arcos dos anéis de crescimento,

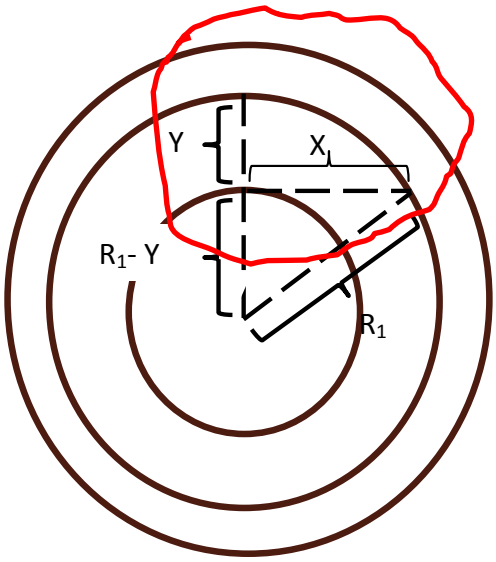



Figura 28. Determinação do raio $R_1$ da amostra. Em vermelho está o contorno da amostra e em preto três dos anéis de crescimento.

Deve-se medir as distâncias:

*r* entre os arcos,

X do ponto tangente a um arco até o arco seguinte,

Y a distancia entre os dois arcos.

O raio $R_1$ é calculado pela Equação 08:

$$R_1 = \frac{x^2 + y^2}{2y}$$

**Equação 8**

A soma dos termos: $a_1', a_2', ....a_n$, que são as larguras dos anéis que estão além de $R_1$, e fornece a distância $R_2$ que é dada por:

$$S = R_2 = \frac{a' + a_n}{2} n' \qquad \textbf{Equação 9}$$

$$a_n = a' - (n' - 1)r \qquad \textbf{Equação 10}$$

Como a distância entre os últimos anéis é muito pequena podemos considerar $na = 0$ separando $n'$ na Equação 10 e substituindo na expressão da soma na Equação 09, obtem-se:

$$n' = \frac{a'}{r} + 1, \qquad e$$
$$R_2 = \frac{a'^2}{2r} + \frac{a'}{2} \qquad \textbf{Equação 11}$$

O raio do tronco da árvore $R_T$ é a soma de $R_1$ com $R_2$, $R_T = R_1 + R_2$ portanto

$$R_T = \frac{x^2 + y^2}{2y} + \frac{a'^2}{2r} + \frac{a'}{2} \qquad \textbf{Equação 12}$$

O qual pode também ser calculado usando-se as Equações 06 e 07,

para as quais $a_n = 0$ então:

$$a_1 = (n-1)r, \qquad como \qquad R_T = S = \frac{a_1 + a_n}{2} n$$

e

$$R_T = \frac{(n^2 - n)r}{2} \qquad \textbf{Equação 13}$$

Igualando as duas expressões em $R_T$ obtém-se:

$$n^2 - n = \frac{2}{r}\left[\frac{x^2 + y^2}{2y} + \frac{a'^2}{2r} + \frac{a'}{2}\right] \qquad \textbf{Equação 14}$$

Chamando o segundo membro da equação 14 de L esta pode ser escrita na forma:

$$n^2 - n = L \quad e \quad n^2 - n - L = 0. \qquad \textbf{Equação 15}$$

Resolvendo pode-se escrever:

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + L}\,. \qquad \textbf{Equação 16}$$

Onde *n* corresponde à idade da árvore.

# 4. RESULTADOS

## 4.1. PORQUE ESCOLHER O CAMBARÁ PARA ESTUDO DENDROCRONOLÓGICO DO PANTANAL?

Atualmente encontra-se em curso vários projetos de pesquisa na área do Pantanal Matogrossense. Há pesquisas sendo desenvolvidas nos programa de pós-graduação em “Física Ambiental”, “Agricultura Tropical”, “Geografia” e “Ecologia e Conservação da Biodiversidade” aqui na UFMT. Na Física Ambiental esta investigação dos anéis de crescimento do cambará, pode auxiliar no estudo das variações do clima, chuvas e inundações do Pantanal ocorridos no passado e que devem estar marcados nestes anéis dos troncos de madeira da região.

## 4.2 COLETA DE AMOSTRA DE CAMBARÁ

A amostra coletada foi oriunda de uma árvore que se encontrava caída (Figura 29). Para fazer os ensaios cortaram-se cinco discos de seção transversal desse tronco.

Figura 29- Tronco onde retirou-se os discos da madeira Cambará

A Figura 30 mostra o disco da madeira Cambará cortada pela motosserra para preparo dos corpos-de-prova e realizar o experimento desta pesquisa.

Figura 30- Disco da madeira Cambará para preparo dos corpos-de-prova

Em seguida, essas amostras foram trazidas para o Campus da UFMT e levadas a serralheria. Primeiramente passou cada disco em uma plaina para depois realizar o lixamento desses discos com o objetivo de verificar e destacar os anéis de crescimento da espécie pesquisada.

## 4.3 OS ANÉIS DE CRESCIMENTO DO CAMBARÁ.

Empregou-se um paquímetro manual metálico para realizar as medições das larguras dos anéis de crescimento. As medidas se deram no sentido medula-casca e os resultados registrados em forma de gráfico apresentado na Figura 31. No eixo das ordenadas estão as espessuras dos anéis de crescimento, em milímetros, e no eixo das abscissas o tempo em anos.

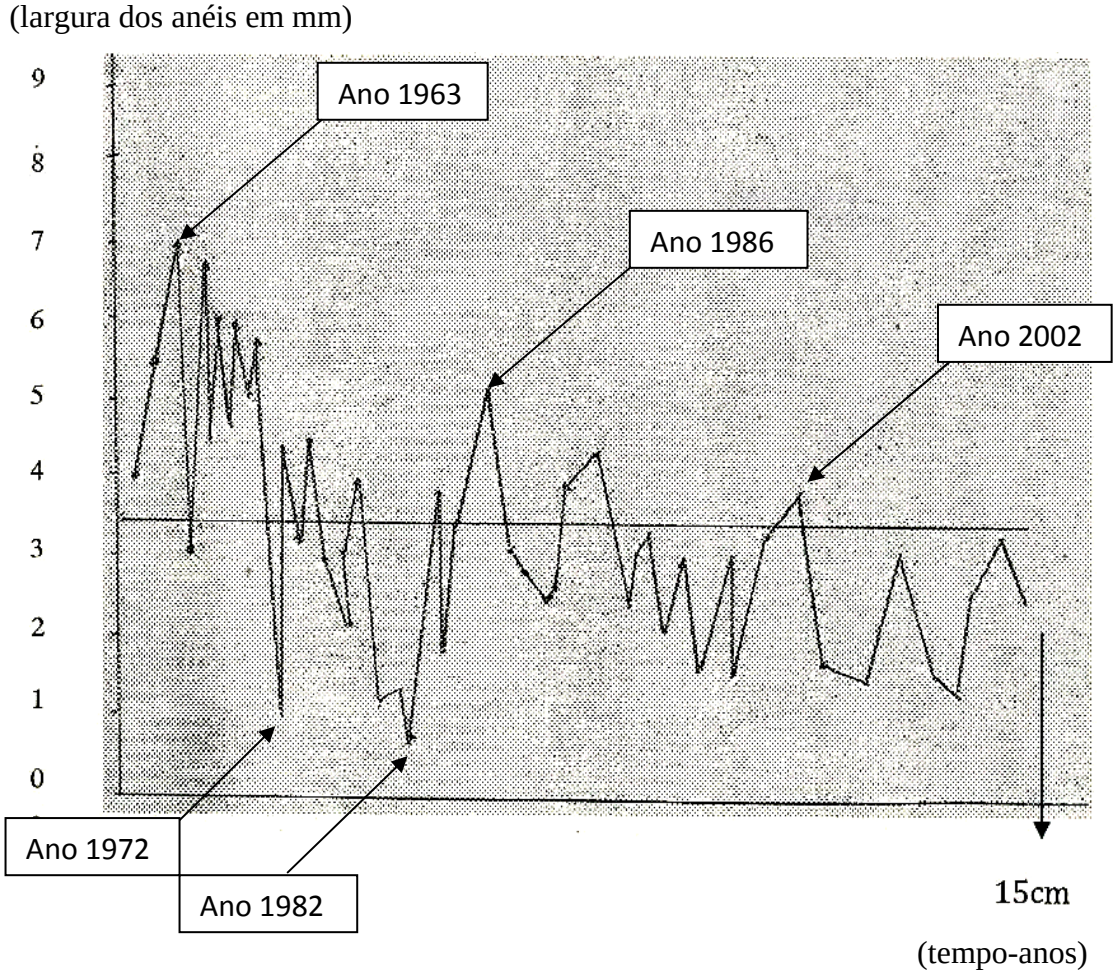



Figura 31 – Diagrama da espessura dos anéis de crescimento do Cambará

O gráfico apresenta um padrão de dente de serra, decrescente, como observado nas árvores em geral. Observa-se também o decréscimo mais rápido nos primeiros 20 anos e mais lento nos anos seguintes. Não foi possível determinar com clareza o número exato de anéis, pelos problemas de identificação dos anéis no

alburno. Contudo considerando que esta árvore caiu em 2010, indicando este ano no último anel, a árvore teria cerca de 60 anos.

Foram identificados espessuras mínimas nos anéis em 1972 e 1982. Os máximos em 1963, 1986 e 2002.

Procurou-se correlacionar com os eventos climáticos extremos conhecidos. Um dos eventos notáveis foi a enchente de 1974.

Cortaram-se dois pequenos cubos, um do cerne e outro do alburno, com dimensão de 5 cm x 5 cm x 5 cm, com volume de 125 $cm^3$. O cubo foi inserido em uma vasilha contendo água, com escala graduada de 0 cm a 20 cm de altura, com divisões milimétricas. A determinação da massa do corpo-de-prova foi obtido em balança analítica. Com esses dados. calcularam-se as referidas densidades com os valores foi determinado a densidade do cerne (durâmen) chegando ao valor de 0,75 $g/cm^3$; a densidade do alburno com valor de 0,46 $g/cm^3$.

Utilizando os procedimentos descritos no Item 3.3.2, pg 73 o Calor específico do cerne foi determinado com valor de 0,150 cal/g.°C, pela Equação 4.

## 4.4. DETERMINAÇÃO DA IDADE DE UMA ÁRVORE A PARTIR DE UM FRAGMENTO. EXEMPLO PRÁTICO.

Considerando um fragmento de árvore como o da foto da Figura 31, foram tomadas as medidas a seguir para determinação da idade:

$$x = 2{,}8\,cm$$
$$y = 0{,}2\,cm$$
$$a' = 0{,}4\,cm$$
$$r = 0{,}01\,cm$$

Substituindo nas Equações 08 e 11 obtém-se

$$R_1 = \frac{x^2 + y^2}{2y} = \frac{7{,}84 + 0{,}04}{0{,}4} = 19{,}7\,cm$$
$$R_2 = \frac{a'^2}{2r} + \frac{a'}{2} = \frac{0{,}16}{0{,}02} + \frac{0{,}4}{2} = 8{,}2\,cm$$

Somando $R_1$ e $R_2$ obtem-se $R_T$ . e pode-se calcular $L = R_T (2/r)$

A idade da árvore é então o número de anéis *n* da Equação 16:

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + L} = 75{,}20$$ Anéis, que corresponde a 75,2 anos.

Portanto, o número é a idade da árvore.

Figura 32-Secção transversal de um tronco de árvore

### 4.4.1. APLICAÇÃO DO MÉTODO NAS ÁRVORES DA TABELA 1

Aplicando a média dos diâmetros *D* da Tabela 1 (pag. 51), 26,105 cm na Equação 16:

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + L}$$

Onde:

$$L = \frac{2}{r} R$$

Tem-se:

$$n = \frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{D}{r}} \cong \sqrt{\frac{D}{r}},$$

Com $r = 0{,}01cm$

O resultado do cálculo correspondente a média das idades é 51,09 anos. A média das idades da Tabela 1 é 50,95 anos sendo *0,14* anos a diferença entre os dois valores obtidos, isto é, 0,27%.

# 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÃO

A dendrocronologia é uma disciplina que estuda a idade das árvores juntamente com o tempo decorrido após suas mortes utilizando um conjunto de métodos, como a contagem dos anéis, decaimento radioativo do carbono-14, sondagem por meio de trados e ressonância magnética dos elétrons, procurando relacionar as marcas registradas nos anéis com as informações dos fatos descritos na história.

Um dos objetivos foi mostrar como correlacionar a espessura dos anéis, o clima e a história. Desta forma na revisão bibliográfica foi orientado no sentido de mostrar como encontrar a correspondência, entre os anéis mais atípicos e a possibilidade de fixar a data da sua formação, causada pelo comportamento do clima. Os efeitos sobre o ser humano foram citados na história dos povos da antiguidade.

Uma amostra de Cambará foi colhida em campo e a idade foi estimada em 50 anos, partindo do ano do corte em 2010 e retrocedendo na contagem dos anéis a 1960.

Foram identificados alguns episódios relacionados a períodos secos.

Foram também determinados a densidade (0,75 g/cm$^3$, e o calor específico (0,150 cal/g ºC) do Cambará.

Neste trabalho também foi mostrado como determinar a idade de árvores que não mais existem quando se possui apenas um fragmento de madeira destas árvores, utilizando o método matemático aqui apresentado para esta finalidade. Esta fórmula simples, partiu da condição de que a espessura dos anéis de crescimento das árvores decai em uma razão linear, isto é, o coeficiente angular da reta de decimento da espessura dos anéis é constante.

A aplicação desta expresão em um fragmento mostrou uma idade de 75 anos. Outra aplicação foram em dados de árvores que se conheciam as idade e os diâmetros, e mostrando a validade da aplicação da expressão.

## 5.1 COMENTARIOS FINAIS

A dendrocronologia é um conjunto vivo de árvores testemunhas de eventos diversos. No planeta a disciplina se diversifica sem cessar, sendo que as datações se desenvolvem cada vez mais. As árvores no último milênio ficaram melhor conhecidas, as cronologias ultrapassam a 7000 anos em muitos pontos. No Brasil o público interessado é precursor eficaz da evolução desta disciplina. Pode-se esperarum progresso nos anos futuros, multiplicar os centros de pesquisa é uma necessidade que se impõe.

Entretanto, é evidente que o modo de andar da dendrocronologia é complicado e requer do pesquisador a competência sempre diversificada. Um dendrocronólogo não se fabrica em poucos minutos até mesmo em dois anos, é preciso mais. A exigência de competência vai, sem dúvida, além.

Os datadores, em particular, deverão integrar à tecnologia dos “modelos” e a matemática que o acompanha que é a base do tratamento dos dados, por outro lado, para oferecer melhor serviço e se aproximar de uma realidade complexa é necessário utilizar raciocínio probabilístico *a priori* que se adaptam aos casos conhecidos e não a multiplicidade dos casos e a diversidade das questões e explorar a certeza que os experimentos mostram.

Uma pesquisa comum vai além de uma simples troca de tipo “madeira contra os resultados”. É importante não se desfazer das madeiras históricas ou arqueológicas e, portanto usar uma política de conservação como existe para o mobiliário arqueológico.

Por fim, a pretensão do resultado inicialmente era relacionar as datas das árvores com os acontecimentos históricos e ao final da pesquisa o resultado obtido foi além do pretendido inicialmente, também foram encontrados comprovações de que anéis mais estreitos sofreram a influência do clima da época.

Alguns especialistas esforçam-se para encontrar novos métodos de datação. É possível definir previamente alguns aspectos. Os métodos conhecidos estão apoiados nos materiais que nos chegam e atravessaram o tempo.

Esta condição limita o domínio das futuras pesquisas, por outro lado, com os fenômenos evolutivos monótonos, isto é, aqueles em que se observa um crescimento

ou decrescimento da grandeza explorada. Será possível no futuro conhecermos a vida pretérita de uma árvore mantendo-nos a distância. A tecnologia das investigações espaciais poderá informar com melhor precisão a posição, o tempo de vida de uma árvore que combinada com a tomografia fornecerá seu *curriculum vitae*. A diversidade dos isótopos permite esperar sua utilização tomando como base a concentração destes elementos. Fazendo-se um balanço dos fatos relacionados pode-se prever que a mistura dos produtos químicos e os depósitos orgânicos fornecerão novos dado utilizando melhores métodos.

Existe um real desejo de utilizar os instrumentos de análise dos dados cronológicos fornecido pelas diversas fontes. Os dendrocronólogos e estatísticos trabalham em conjunto para desenvolver tais equipamentos juntamente com um ramo particular da teoria das probabilidades e da estatística.

# 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


AMABIS, J. M. & MARTHO, G. M. **Fundamentos da Biologia Moderna**. 2° Ed. Editora Moderna. São Paulo, SP. 1999.

ARQUEOLOGIA BÍBLICA. **As Pragas do Egito**.Êxodo, 7;14-24 Ano

BAILLIE, M. ***Exodus to Arthur***, Basfordd, London, pg 91. 2004.

BENTON, W. ***Encyclopaedia Britannica Publisher***,Vol 9, pg 940. 1973.

BOMBLED, Jorge. **Meio seculo de meteorologia**. Cuiabá: EdUFMT, S. d.

BOTOSSO P.C. & TOMAZELLO-FILHO M.. **Aplicação de faixas dendrométricas na dendrocronologia**. EDUC, SãoPaulo. 2001

BRASIL. Secretaria Geral da Presidência da República. Desmatamento na Amazônia cai pela primeira vez em nove anos. **Em Questão**, nº 381 - Brasília, 2005.

BURCHFIELD, J.D. ***Lord Kelvin and the Age of the Eath***, University of Chicago, 1990.

COELHO, J. V. ***Mecânica Quântica***. Ed. Universitária. UFMT, Cuiabá, MT. 1993.

DUNCAN,D.E.***The Calendar***, Forth Estate, Londres, 1999

EFE ***Vulcão Santonrini Causa catástrofe a cada 20 mil anos***. Globo Ciências. (http://oglobo.globo.com/ciencia/mat/2007/03/17/294972839.asp. acesso em 17/03/ 2007)

EVIN, J. ***La méthode de datation par le radiocarbone***. Ed. Errance. Paris. 1965.

EVIN, J. & OBERLIN,C ***Les autres methods de datation en laboratoire***. *In:* FERDIÈRE, A. (Dir.) La datation en laboratoire. Ed. Errance. Paris. 2005.

FERDIÉRE, A. (dir .) ***La Datation en laboratoire***. Ed. Errance. Paris. 2005.

FRANKEL, C. ***The end of the dinosaurs***, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

GAECIA, E.A. ***Biofísica***. Ed. Sarvier, São Paulo, SP. 1998.

GONÇALVES, G.V. ***Dendrocronologia. Princípios Teóricos, Problemas Práticos e Aplicabilidade*** .Cidehus, Universidade de Évora. 1981.

INPE,. **INPE estima 7.008 km2 de desmatamento por corte raso na Amazônia.** 2009. http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/grafico1_prodes2009.pdf, (Acesso em 20/06/2011)

HACK, M. **Astronomia.** Ed.Rio Gráfica. São Paulo, 1985

HOLLSTEINE & BESANÇON. ***Dendrocronologie***. Editora Bon. 1980.

HOLLSTEIN, E. ***Chronologie du Rhin Moyen***. Landesmuseum de Trèves, Rhenanie. 1965.

JACOBY, G.C. & HOMBERECK, J.W., (Compilers) ***Proceedings of the Int. Sym. on Ecological Aspects of Tree-Ring Analisis***. Dept. of Energy, Washington. 1987.
.
HOLMES, A. ***Principles of Physical Geology***. Thomas Nelson & Sons, Londres 1965.

LANOS, P. .***Archéomagnétisme***. *In:* FERDIÈRE, A. (Dir.) La datation en laboratoire. Ed. Errance, Paris. 2005.

LAMBERT, G.N. **La dendrochronologie, Mémoire de l'arbre**. *In:* FERDIÈRE, A. (Dir.) La datation en laboratoire. Ed. Errance. Paris 2005

LANGOUËT, L. ***Les autres methods de datation en laboratoire***. *In:* FERDIÈRE, A. (Dir.) La datation en laboratoire. Ed. Errance, Paris. 2005.

LISI C. S. PESSENDA L.C.R., TOMASELLO (). ***Tree- ring Research***. *IAWA Journal*. 2001.

MONTGON, A. ***L'Egipte*** Ed. Fernand Nathan. Paris VI$^{e}$.1951.

MANNING, S.W. ***A test of Time: TheVolcano of Thera and theChronology and History of theAegean and East Mediterraean in theMid-second Millennium BC,*** Oxbow Books, Oxford, 1999.

MATTOS,P.P. SANTOS, A.T. MALHEIROS, Y.M. e ROSOT, M.A.D. *Dendrocronologia de espécies de floresta Ombrófila do municipio de Candói, PR.*1999.

OBERIN, ***La préhistoire***. Collection "Archéologiques, Paris. 2005.

PARCHERON, M. ***La Chine***. Ed. Fernand Nathan. Paris. 1935

RIGBY, E. M. SYMODS y D. WARDS- TOMPSOM *A comet impact* in A.D 536. ***Astronomy & Geophysics*** Vol 45 (2004*)* 1.1-1.4

RONAN, A.C ***História Ilustrada da Ciência***. Universidade de Cambridge. Tradução de Jorge Enéias Fortes. Ed. Zahar Editor. Rio de Janeiro Vol. I e II, 1987

ROIG, F.A. ***Dendrocronologia em América Latina***. EDIUNC, MENDOZA. 2000.

JPL - Jet Propulsion Institute of Technology. **SHOEMACKER/ LEVY 9.** ***Collision With Jupiter***.,(www.jpl.nasa.gov/sl9/sl9.html acesso em 18/03/20011.)

SOUZA, A. F. & MATOS, D.U. *Aleatoriedade Explica Produtividade de Sementes de Araucária*. **Scientific American**. Vol. I, 2010..

TATI, T. **Mecânica Quântica**. Tradução: João de V. Coelho. Ed. Universitária, UFMT. Cuiabá, MT. 1995.

TIPLER, P.A ***Física moderna***. Ed. LTC.. Rio de Janeiro. 340p, 2001.

TRAVINIK, N. A. S. **Cometas**. Ed. Três Ltda. São Paulo. 1985.

TURNEY C. ***Huesos, piedras y estrellas***. Ed .Crítica. Barcelona. 2007.

ZEILINGER, A. **A face Oculta da Natureza, O Novo Mundo da Física Quântica**. Ed. Globo S.A São Paulo. 2005.