

Diagnóstico e análise de risco de queda de árvores

Sergio Brazolin
Reinaldo Araújo de Lima

*Palestra apresentada no Curso teórico e prático para arboristas
do Centro Tecnológico da Marinha, São Paulo 23-27/08/23.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública. **PROIBIDO REPRODUÇÃO**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
S/A - IPT
Av. Prof. Almeida Prado, 532 | Cidade Universitária ou
Caixa Postal 0141 | CEP 01064-970
São Paulo | SP | Brasil | CEP 05508-901
Tel 11 3767 4374/4000 | Fax 11 3767-4099

www.ipt.br



Diagnóstico e análise de risco de queda de árvores



Biólogo Reinaldo Araujo de Lima
Biólogo Sérgio Brazolin



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS

- Uma das primeiras instituições de P&D&I aplicados no Brasil (126 anos)
- Missão
“Criar e aplicar **soluções tecnológicas** para aumentar a competitividade das empresas e promover a **qualidade de vida.**”



Curso teórico

- **Dias: 21, 22 e 23/08**
- **Horário: a combinar**
- **Conteúdo**
 - A árvore: morfologia externa (raiz, fuste e copa) e interna (anatomia);
 - Biodeterioração (fungo apodrecedores, cupins, coleobrocas, sucessão de organismos);
 - Mecanismos de resistência das árvores;
 - Técnicas de controle;
 - Plantas epífitas, parasitas e hemiparasitas;
 - Biomecânica de árvores (conceitos, defeitos, vento, raiz fuste e ramos); e
 - Técnicas de diagnóstico
 - Análise de risco de queda de árvores (aspectos legais e éticos, critérios de avaliação)
 - Planejamento e gestão da arborização urbana: diretrizes e ferramentas para gestão da arborização;
 - Solicitação de corte e poda: Leis vigentes para o município de São Paulo.



Curso prático

- **Dia 24/08 – *Campus* do IPT**
- **Horário: 8:00 às 17:00**
- **Conteúdo**
 - Protocolo IPT
 - Técnicas de diagnóstico (análise externa e interna);
 - Ferramentas clássicas para inspeção;
 - Técnicas para inspeção interna do tronco (Tomografia e Penetrografia);
 - Caracterização de defeitos e aplicação dos conceitos de biomecânica;
 - Discussão e análise de risco de queda de árvores; e
 - Recomendações de manejo.



Piloto

- **Dia 25/08 – *Campus do CTMSP***
- **Horário: 8:00 às 17:00**
- **Atividades**
 - Inspeção de árvores
 - Análise de risco
 - Recomendações de manejo



AVALIAÇÃO DO CURSO E PROFESSORES



Reinaldo Araujo de Lima
reinaldol@ipt.br

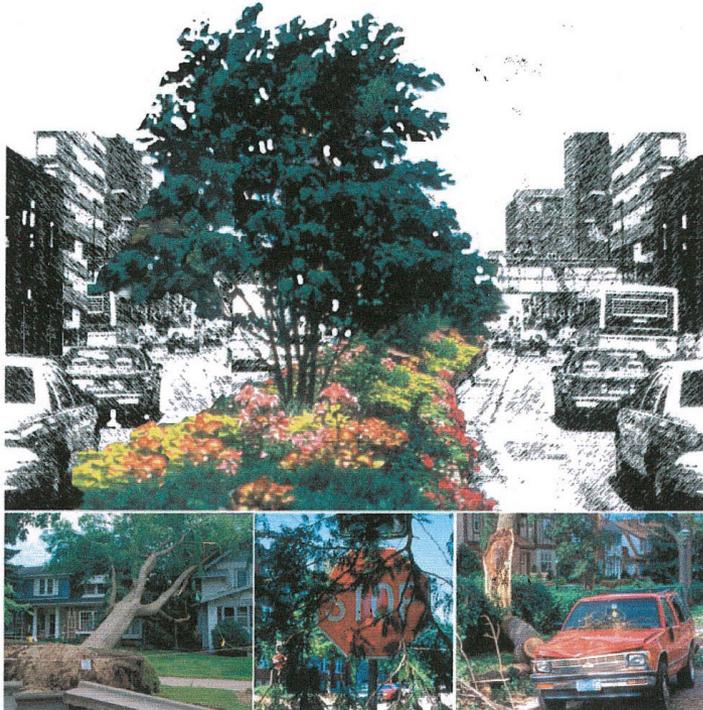
Sérgio Brazolin
brazolin@ipt.br

Análise de Risco de Queda de Árvores



Urban Tree Risk Management:

A Community Guide to Program Design and Implementation



USDA Forest Service
Northeastern Area
State and Private Forestry

1992 Folwell Ave.
St. Paul, MN 55108

NA-TP-03-03





Norma Brasileira ABNT 16246-3

Florestas urbanas — Manejo de
árvores, arbustos e outras plantas
lenhosas Parte 3: Avaliação de risco
de árvores

Avaliação de Risco

Tipos de falhas



Pivotamento do sistema radicular



Árvores fragilizadas por biodeterioração

Avaliação de Risco

Nível de inspeção

Nível 1 – Análise Visual de árvore ou grupamento

- Linhas de transmissão
- Rodovias
- Ferrovias
- Taludes...



Avaliação de Risco

Nível de inspeção

Nível 2 – Análise Visual Externa

- Localização
- Identificação botânica
- Dendrometria
- Condições de entorno
- Estado Fitossanitário
- Estado geral (raiz, fuste e copa)
- Ação antrópica
- Biomecânica
- **Análise de alvo**
- Análise de risco de queda
- Ação antrópica
- Manejo...

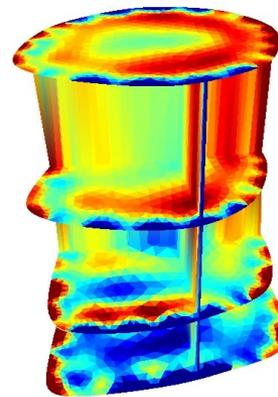


Avaliação de Risco

Nível de inspeção

Nível 3

- Análise externa e **interna**
- Análise da **resistência** e **ancoragem da árvore** e **galhos** em grandes alturas.



Análise Visual Externa (Nível 2)



- **segurança de pessoas e danos à propriedade**
- Problemas no sistema radicular
- Deterioração (fungos apodrecedores e insetos)
- Defeitos no tronco
- Defeitos na copa
 - Forquilhas
 - Arquitetura desfavorável (poda)

Análise de Alvo

Risco: bens materiais, pessoas, outros

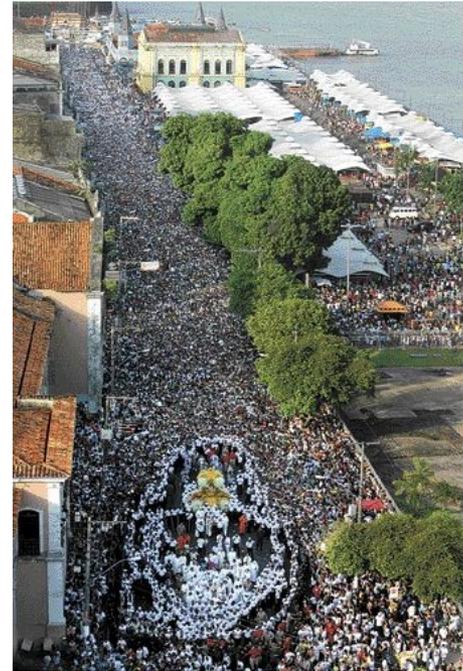
Uso: ocasional, pouco frequente, frequente

Tráfego: via local, coletora ou arterial

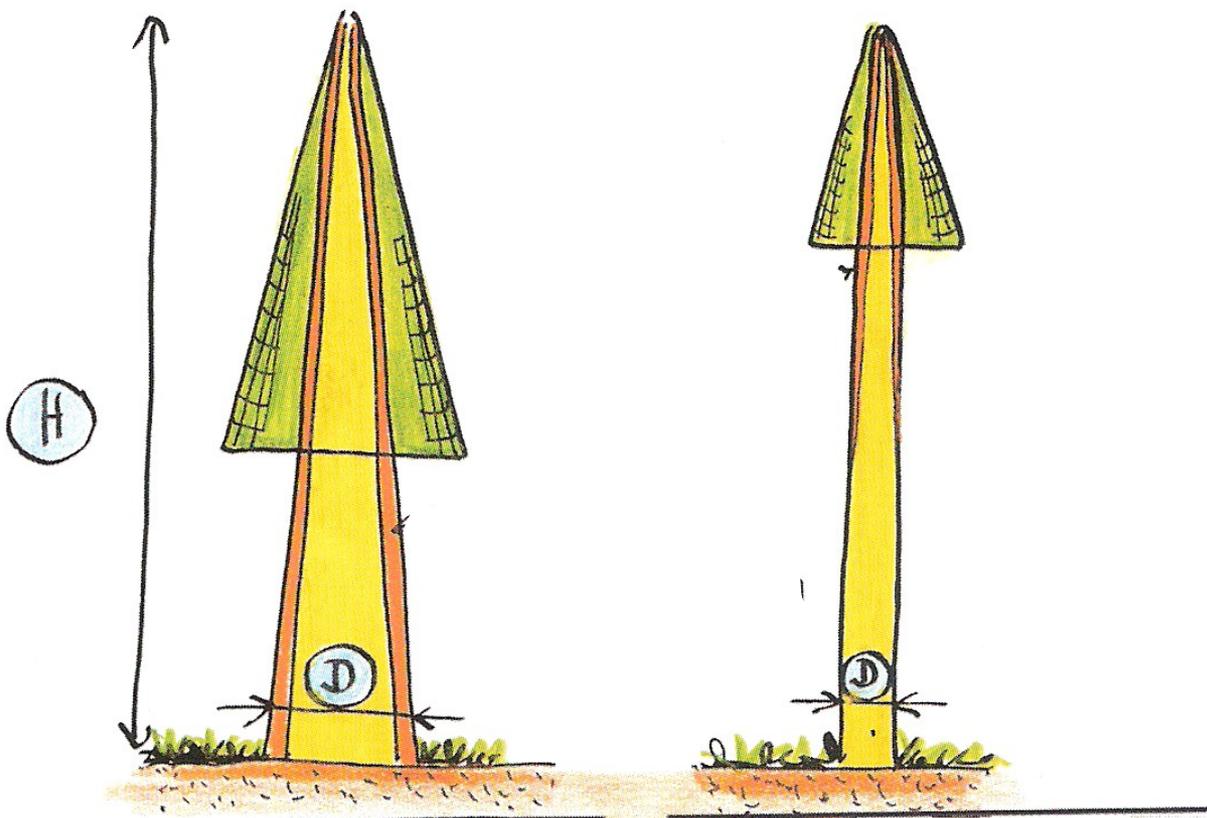
O alvo pode ser removido?

O acesso pode ser restringido?

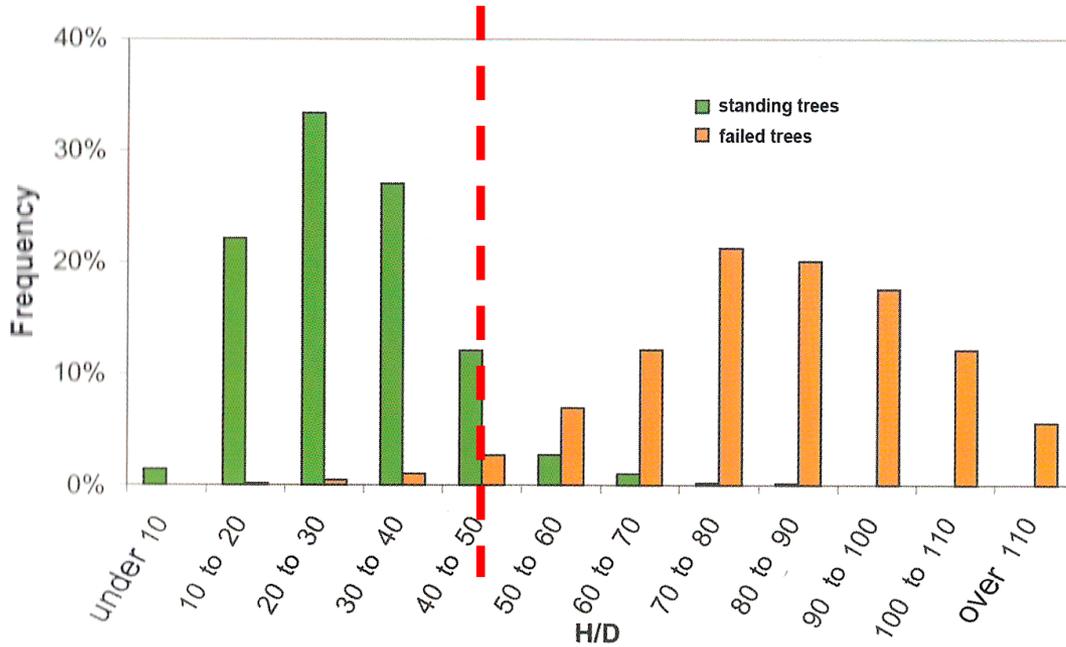
Árvores tombadas!



Qual o tamanho crítico para uma árvore?

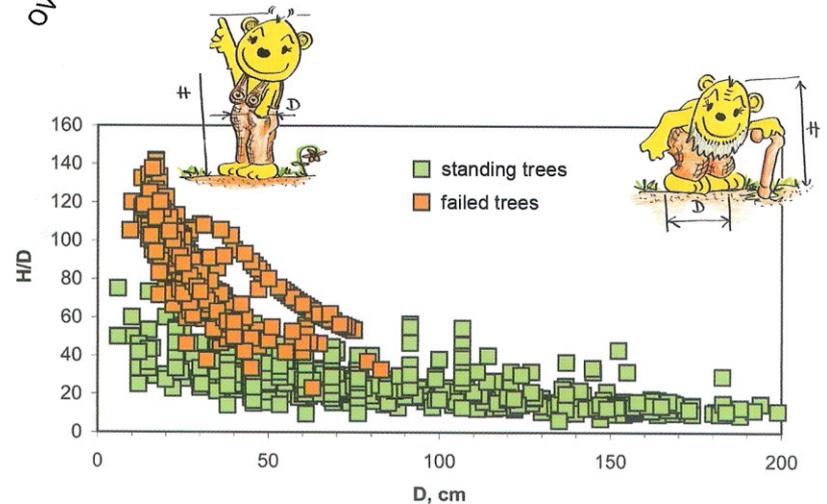


Relação altura (H) e DAP (D)



Somente para árvores adultas!!

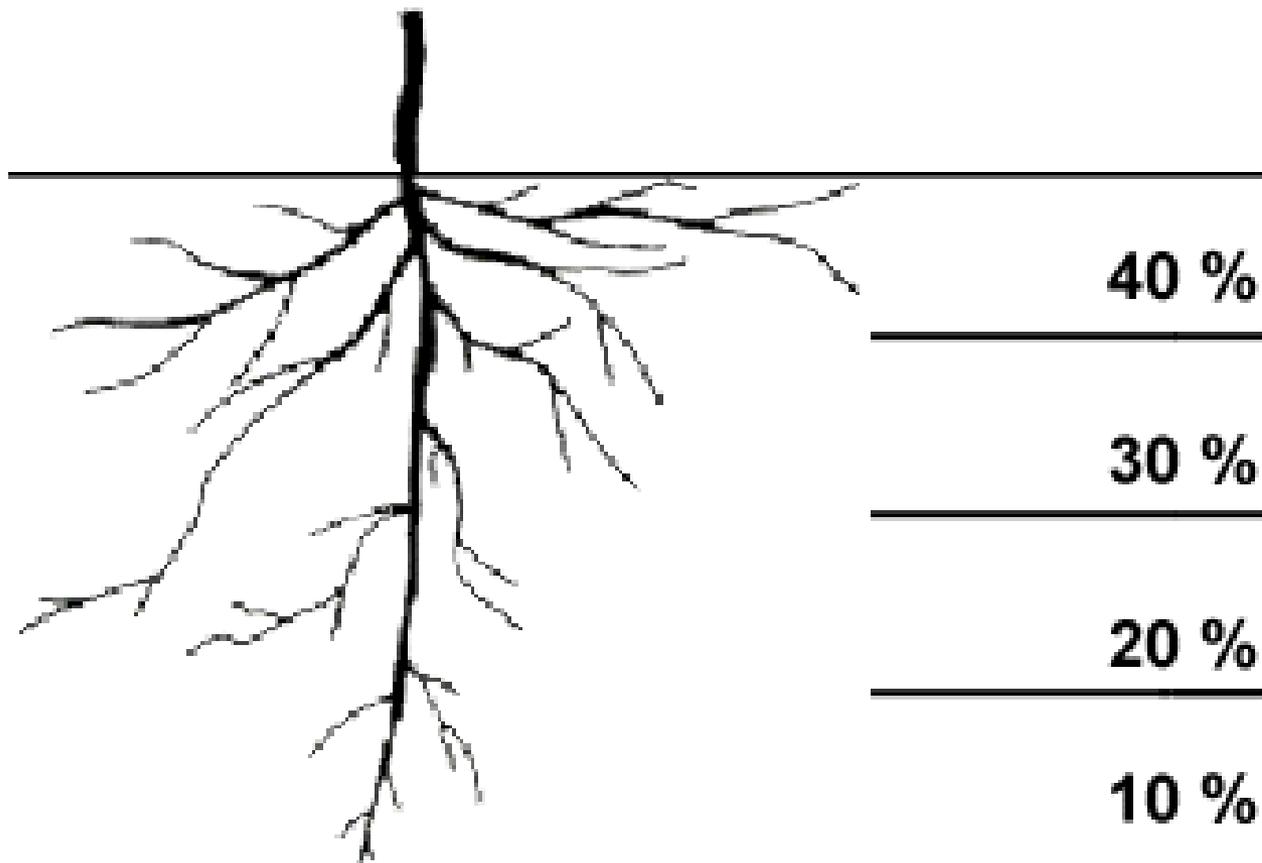
- $H/D > 50$ – probabilidade de falha aumenta
- $H/D > 30$ – “árvores solitárias”





Problemas no Sistema radicular

Sistema radicular

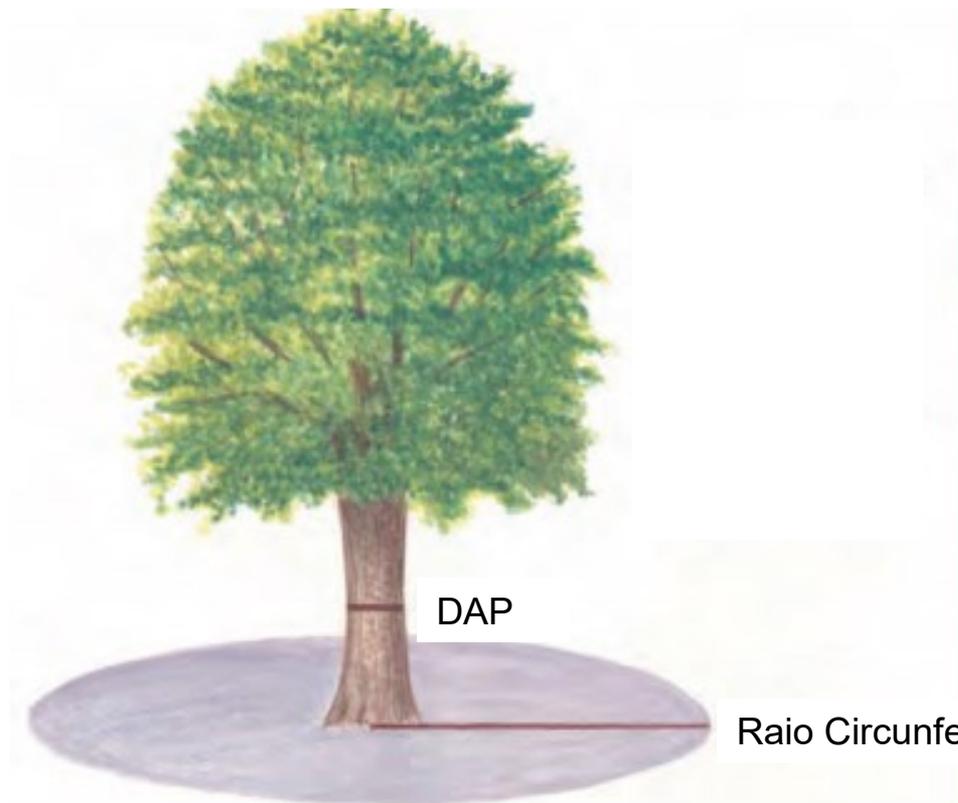


Sistema radicular

Classes de DAP das árvores (m)	Relação do sistema radicular com o DAP das árvores de tipuana	
	Diâmetro do sist. rad./DAP _{médio}	Profundidade da raiz/ DAP _{médio}
0,10 a 0,20	10,0	4,0
0,21 a 0,30	10,0	2,4
0,31 a 0,40	10,0	1,7
0,41 a 0,50	8,9	1,3
0,51 a 0,60	7,3	1,1
0,61 a 0,70	6,2	0,9
0,71 a 0,80	5,3	0,8
0,81 a 0,90	4,7	0,7
0,91 a 1,00	4,2	0,6
1,01 a 1,10	3,8	0,6

Sistema radicular

Department of Agriculture of United States - USDA



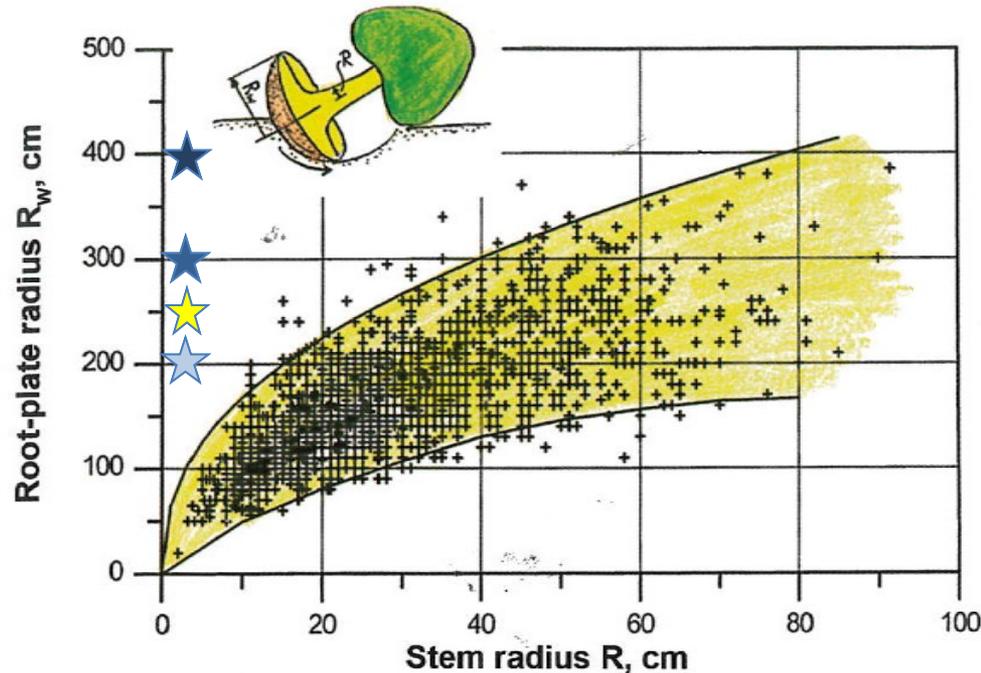
DAP ~ 18 x RCR

DAP = 20 cm

RCR = 360 cm

Sistema Radicular

Qual o tamanho crítico para o sistema radicular?



BSI 5837

- ★ Adultas
- ★ Meia idade
- ★ Jovens

★ Alemanha

Considerações:

- Tipo de solo;
- Atrito do torrão/água;
- Compactação de solo;
- Arquitetura do sistema radicular.

Folhosas e coníferas – dados empíricos de árvores de parques e jardins (Mattheck, 2007)

Sistema Radicular

- Árvores inclinadas + Movimentação de solo
 - Levantamento de passeio/pavimentação?
- Raiz dobrada
 - Interferências; quais?
 - vento preferencial
- Raiz enovelada



Sistema Radicular

Poda de raiz



Alerta: lado tracionado da árvore é crítico!!!

Sistema Radicular

Apodrecimento ou poda de raiz
(40 % da área do sistema radicular)



E o cupim?

Lembrete:
Euchroma gigantea

Alerta: lado tracionado da árvore é crítico!!!

Sistema Radicular

Lado tracionado!!!! + inclinação da árvore



Sistema Radicular

Exposição do sistema radicular/erosão do solo



Alerta: lado tracionado da árvore é crítico!!!



Deterioração na raiz, tronco e galhos

Entomologia e micologia



cupins



Coleobrocas



Fungos apodrecedores

Corpo de Frutificação



Fungos apodrecedores



Ganoderma sp.



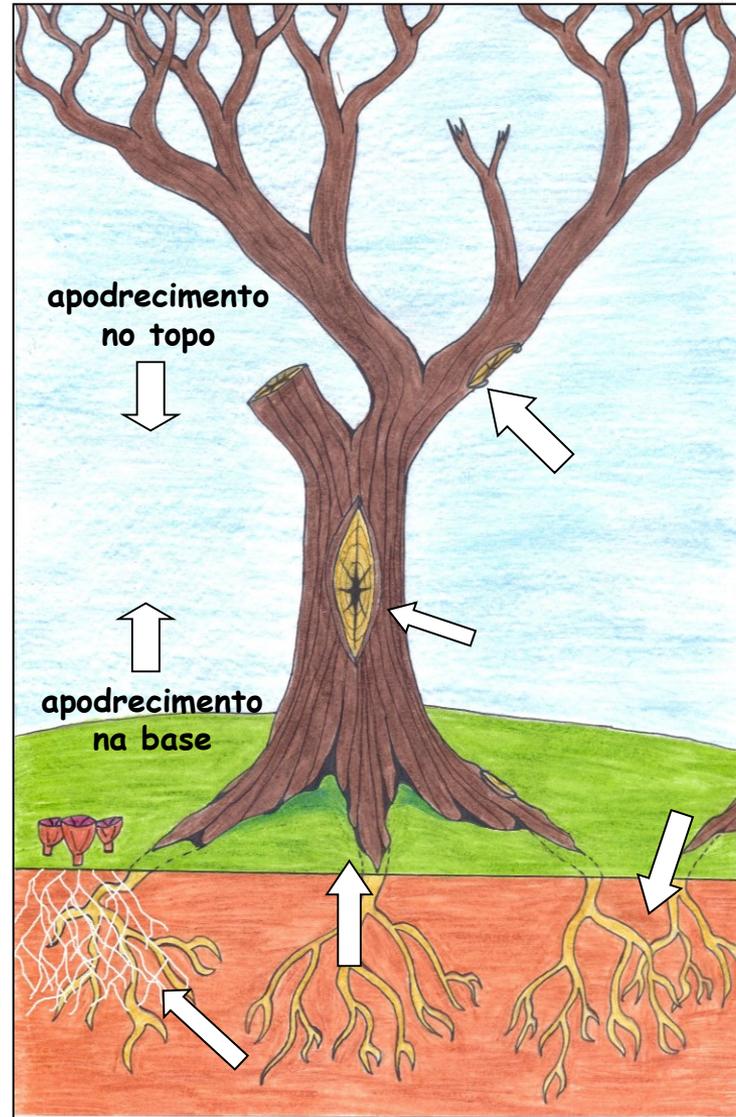
Rua Bela Cintra, SP

Praça, John Lennon, SP

Rotas de infecção

Injúrias

Organismos oportunistas



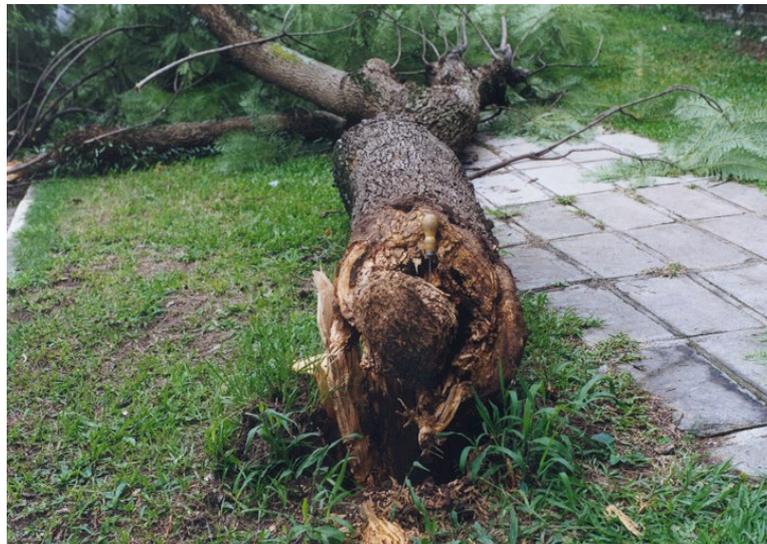
Cupim Subterrâneo



Coptotermes gestroi
(antigo *havilandi*)



Heterotermes spp.



Jacarandá-mimoso



Cupim Arborícola



Nasutitermes sp.



“ O cupim está na árvore atacando a minha casa”!!!!

Xiiii!! Tem cupim na minha árvore, vou chamar o bombeiro para cortar!!!



Associação Fungos e Cupins Subterrâneos

- *Tipuana tipu*
 - Ocorrência externa ($X^2 = 14,85$; $\Phi = 0,12$)
 - Exame macroscópico (91% das amostras)



Precisava suprimir esta árvore?



Cavidades

Qual o tamanho crítico da cavidade?

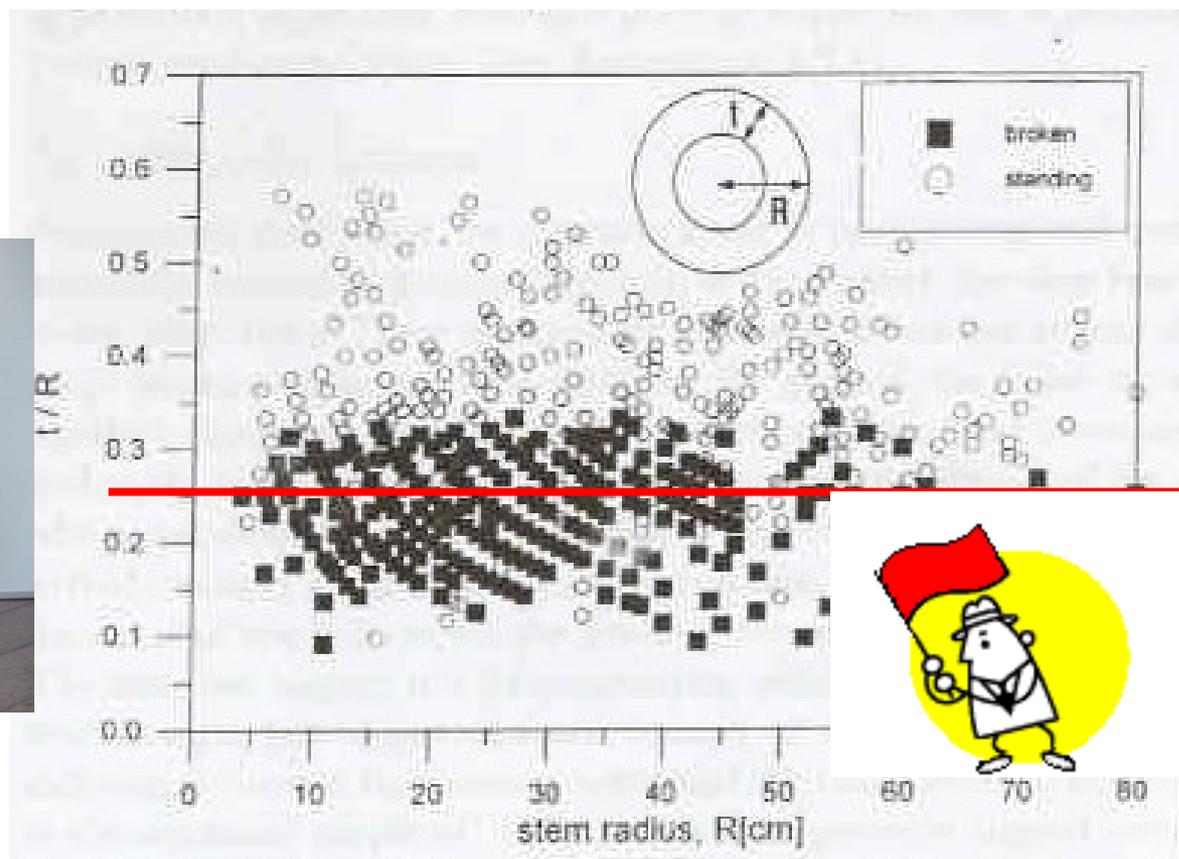
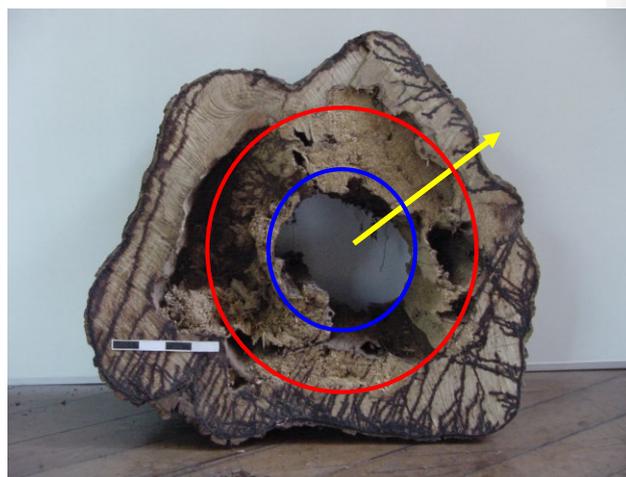


Intensidade da Biodeterioração

Análise estrutural

Ruptura por Flexão

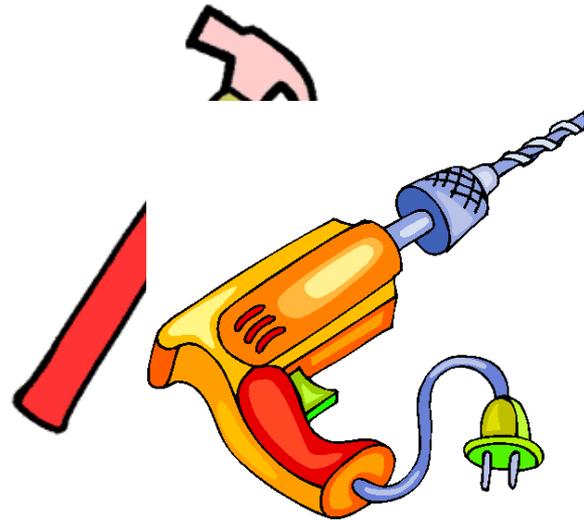
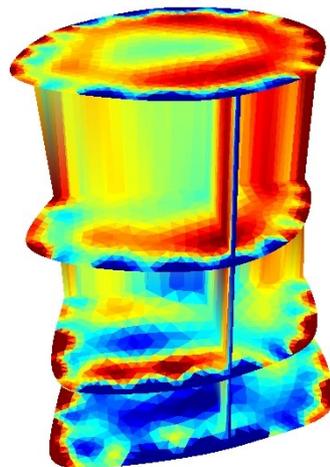
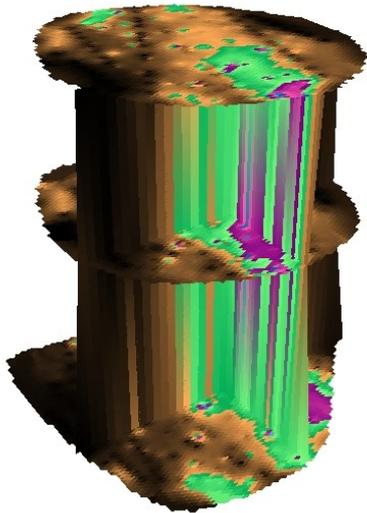
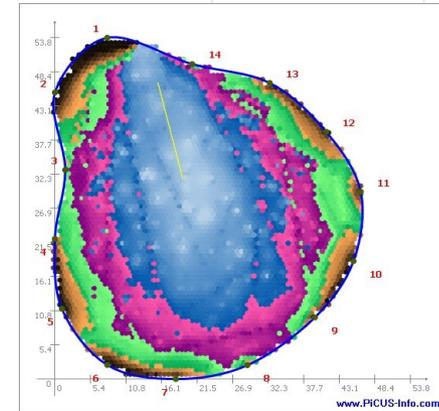
Relação raio do tronco e parede sadia remanescente



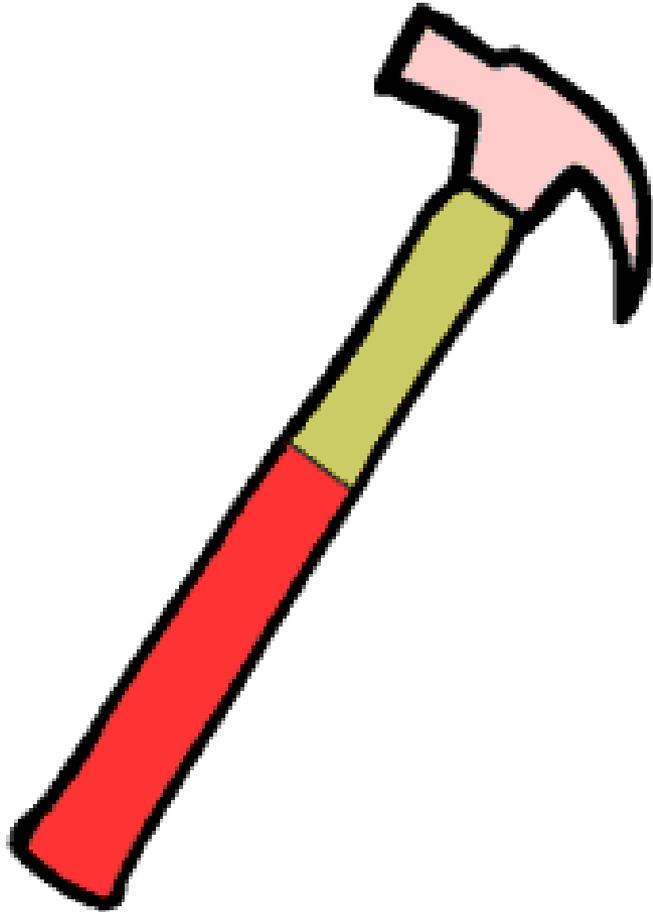
Regra do 1/3

Fonte: Mattheck e Breloer (1997)

Não há como escapar...



Tecnologia não destrutiva



Avaliação externa e interna



Rua Bela Cintra, SP





Defeitos no Tronco

Inclinação do Tronco



- 40°
- apodrecimento colo



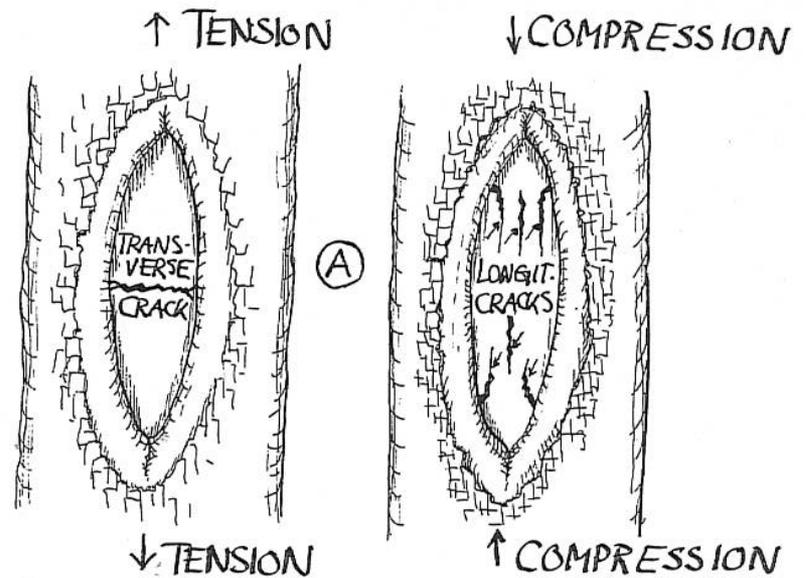
Rachaduras Longitudinais



Rachaduras Transversais

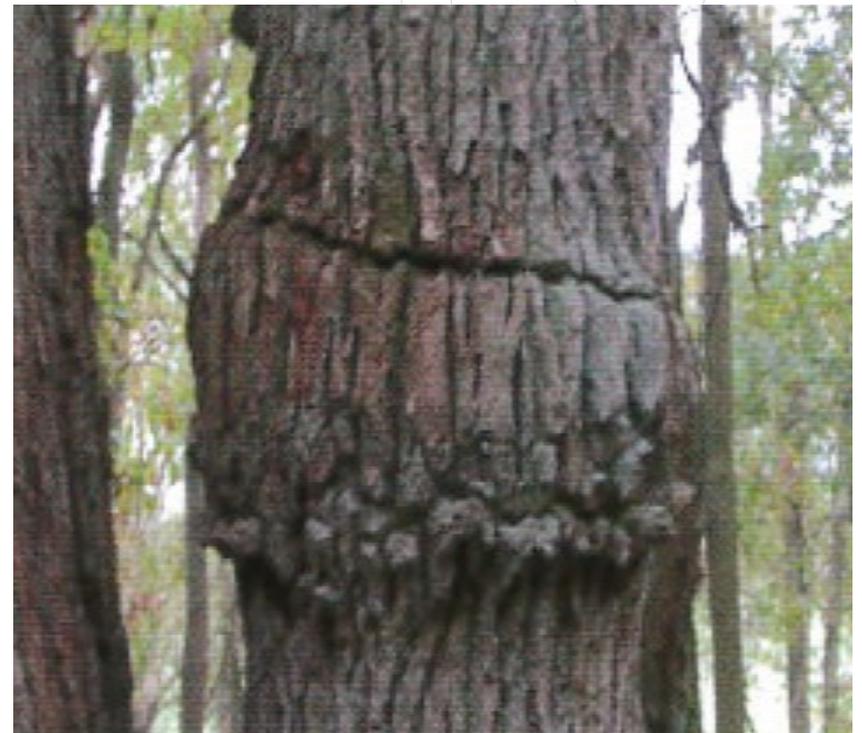


Rachaduras em feridas



Protuberâncias

Flambagem das fibras



Cavidades abertas



Regra do 1/3

Lembrete:

- Observar crescimento adaptado

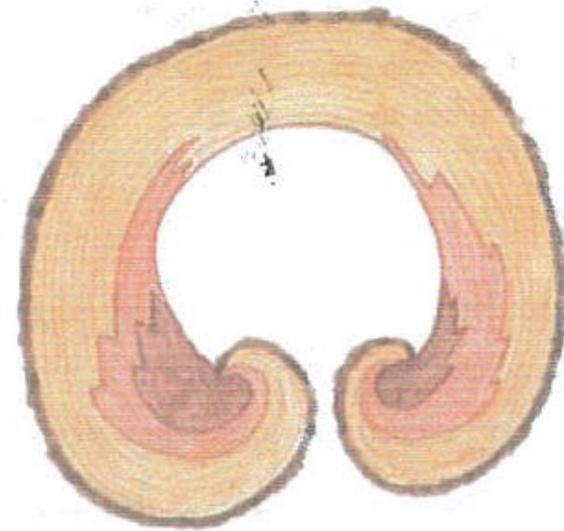
Cavidades abertas

“inrolled cracks”

Regra do 1/3

Lembrete:

- Observar crescimento adaptado
- Rachaduras?





Forquilhas/Ramos

Qual o tamanho crítico para um ramo sadio?

$$l/D \geq 40$$

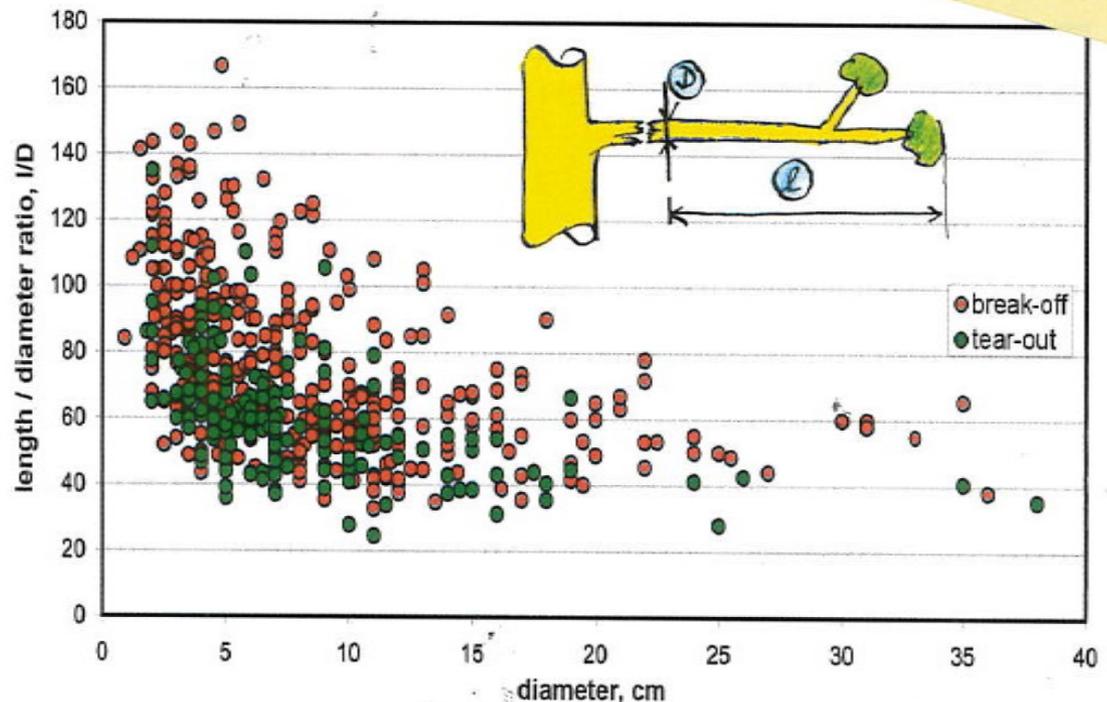
l = comprimento

D = diâmetro na base

Observar:

Crescimento adaptado

Ramos jovens



Forquilhas

Casca inclusa

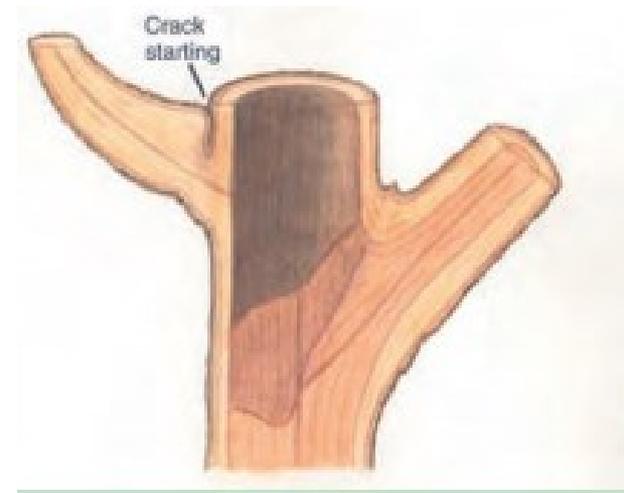
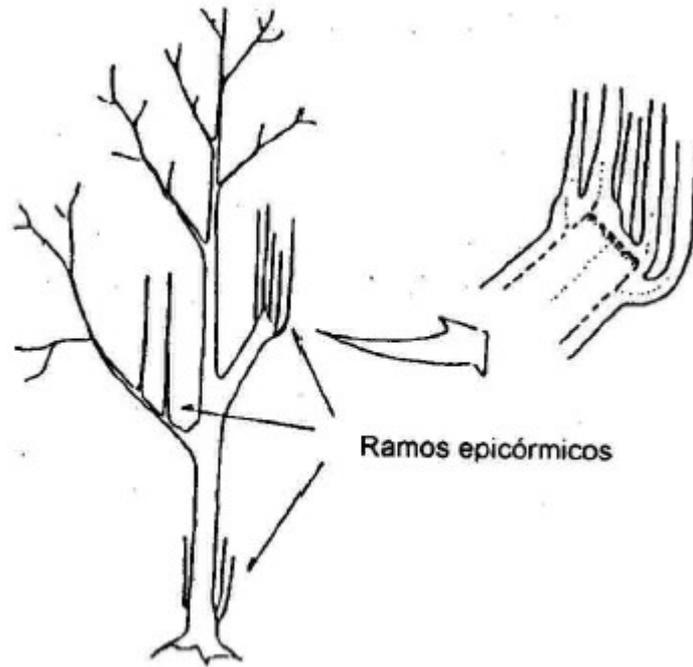


Com apodrecimento



Bifurcação baixa baixa, em relação à altura total

Ramos Epicórmicos



Forquilha

Crescimento Adaptado/Casca inclusa



Casca inclusa: normalmente $\alpha < 25^\circ$



Arquitetura Desfavorável (Poda)

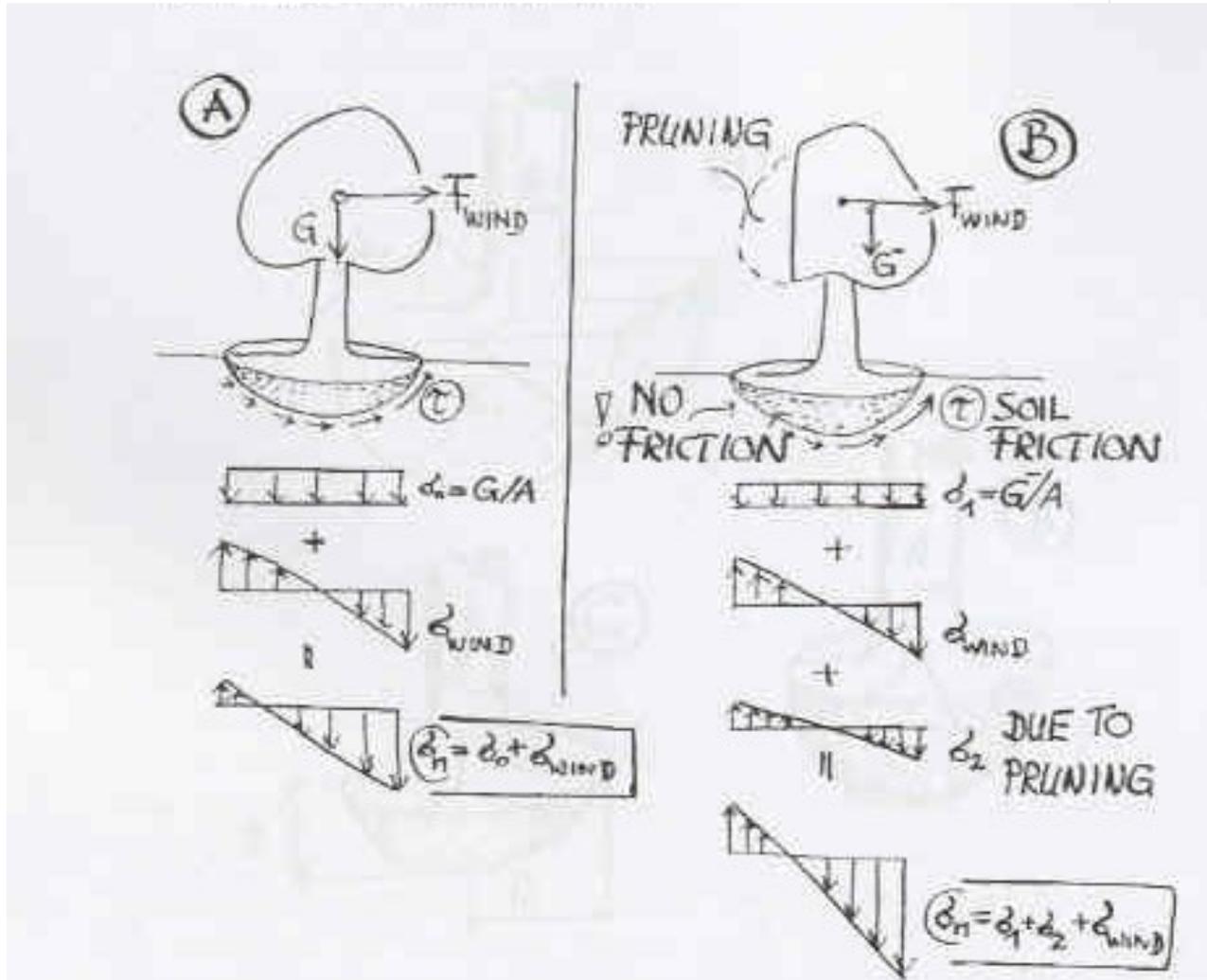
Poda Lateral



Poda em “V”



PODA MAL PLANEJADA



Outras Situações

- “Dendrocirurgia”



Colo soterrado

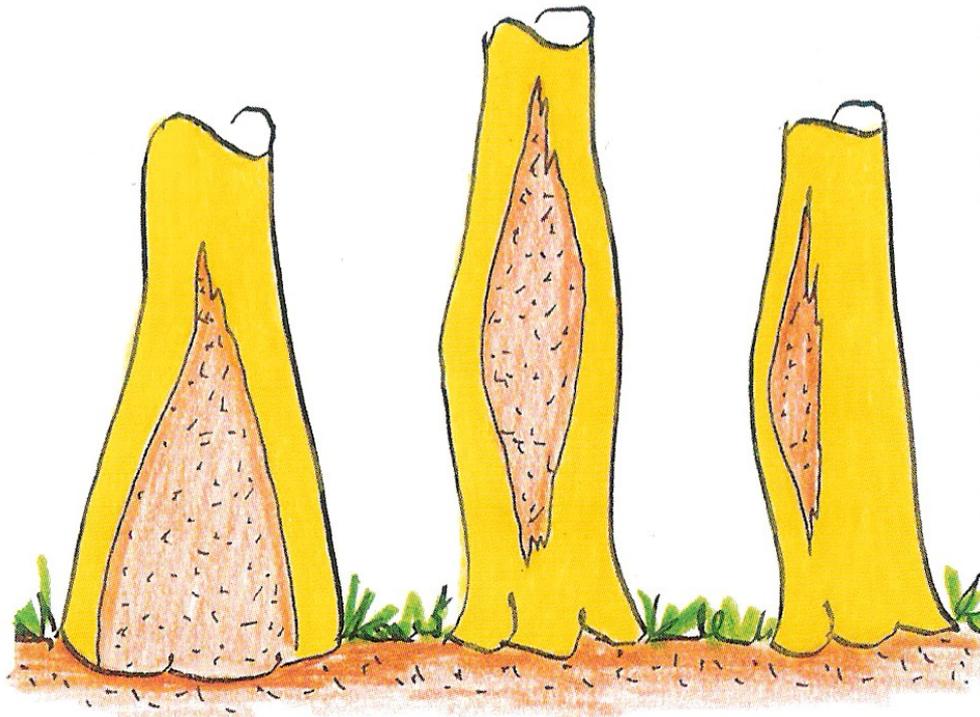


Outras Situações



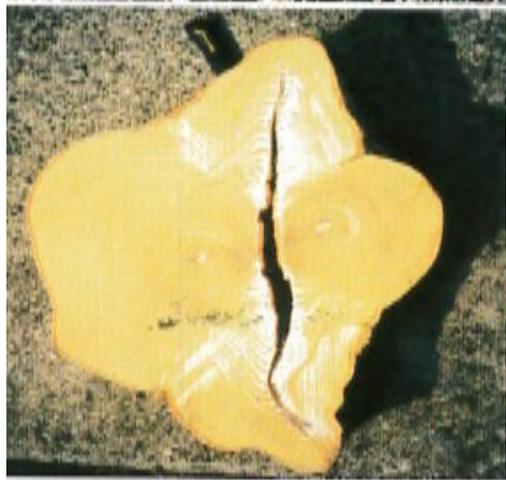


Crescimento Adaptado Auto Otimização

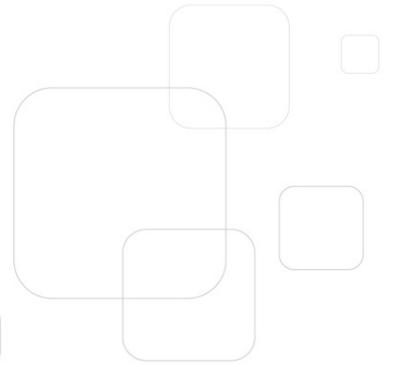


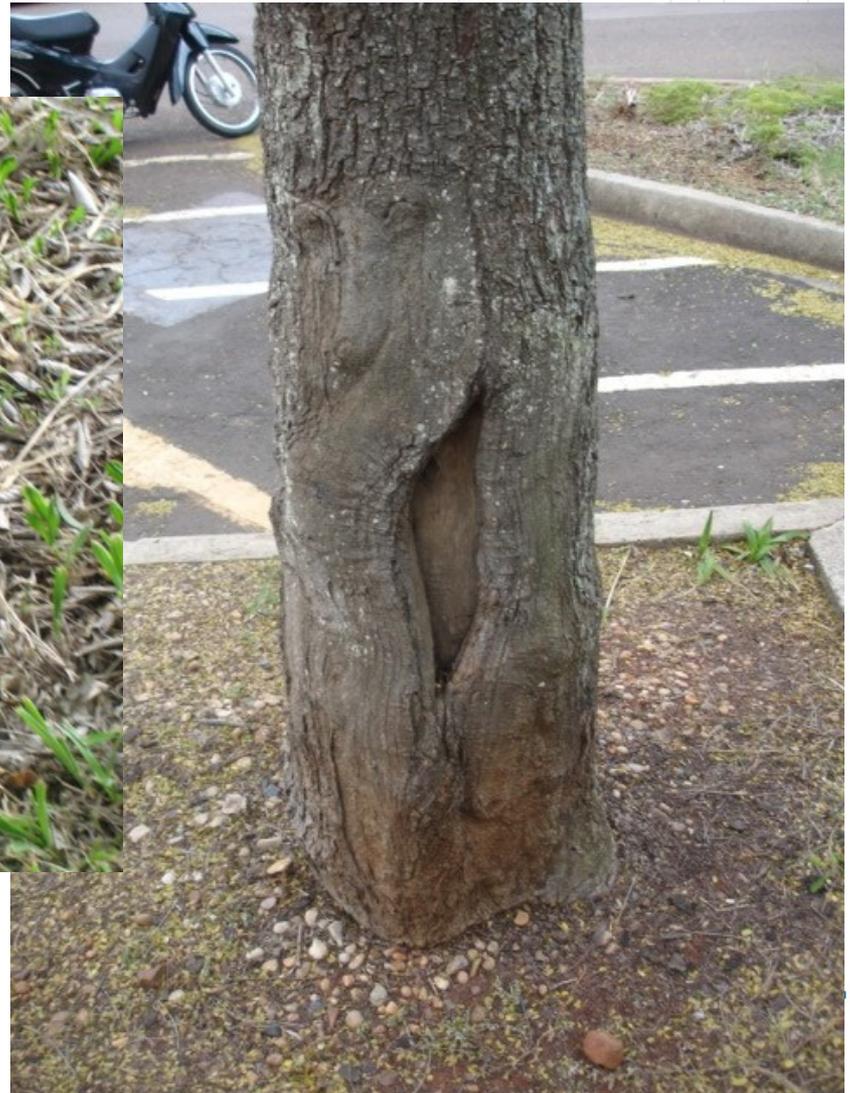


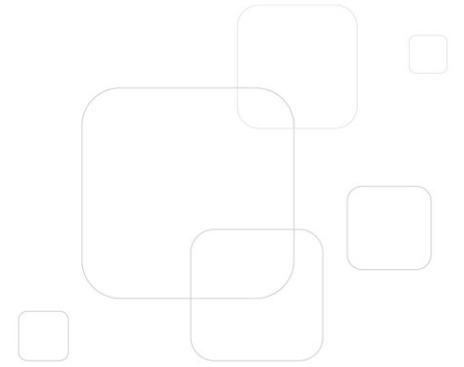






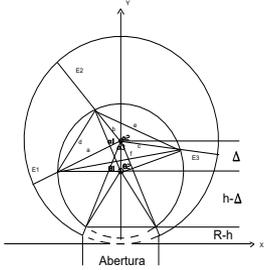






$$CG_{11} = y_{G11} - y_G$$

$$CG_{21} = y_{G21} - y_G$$



$$CG_{22} = y_{G22} - y_G$$

$$J_t = \frac{4A^2_m}{\int \frac{ds}{e}}$$

$$I_x = (I_{x,cg1} + CG_1^2 A_1) - (I_{x,cg2} + CG_2^2 A_2) - (I_{x,cg11} + CG_{11}^2 A_{11}) + (I_{x,cg12} + CG_{12}^2 A_{12}) + (I_{x,cg21} + CG_{21}^2 A_{21}) - (I_{x,cg22} + CG_{22}^2 A_{22})$$

$$CG_2 = y_{G2} - y_G$$

$$CG_{12} = y_{G12} - y_G$$

$$CG_1 = y_{G1} - y_G$$

$$y_G = \frac{A_1 y_{G1} - A_2 y_{G2} - A_{11} y_{G11} + A_{12} y_{G11} + A_{21} y_{G21} - A_{22} y_{G22}}{A}$$

$$\int \frac{ds}{e} = 2 \int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi} \frac{\left(r + \frac{c-r}{2}\right)}{(c-r)} * \left[\frac{(R * \cos \alpha - \Delta) * R * \cos \alpha + R^2 * \sin^2 \alpha}{(R * \cos \alpha - \Delta)^2 + R^2 \sin^2 \alpha} \right] d\alpha$$

$$W_x = \text{mínimo} \left(\frac{I_x}{y_G}; \frac{I_x}{(2R - y_G)} \right)$$

$$J_t = \frac{4A^2_m}{\int \frac{ds}{e}}$$

$$f_{c,0,k} = 0,7 * f_{c0} \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

Modelo de Cálculo Estrutural

$$f_{m,k} = 0,7 * f_m * \left(\frac{V_{ref-fm}}{2R} \right)^{0,2} \quad f_{t,90,k} = 0,7 * f_{t,90} * \left(\frac{V_{ref-ft}}{2R} \right)^{0,2} \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$A = \pi R^2 - \pi r^2 - \alpha R^2 + r(\Delta + r \cos \beta) \sin \beta + \beta r^2 - r^2 \cos \beta * \sin \beta \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,x} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

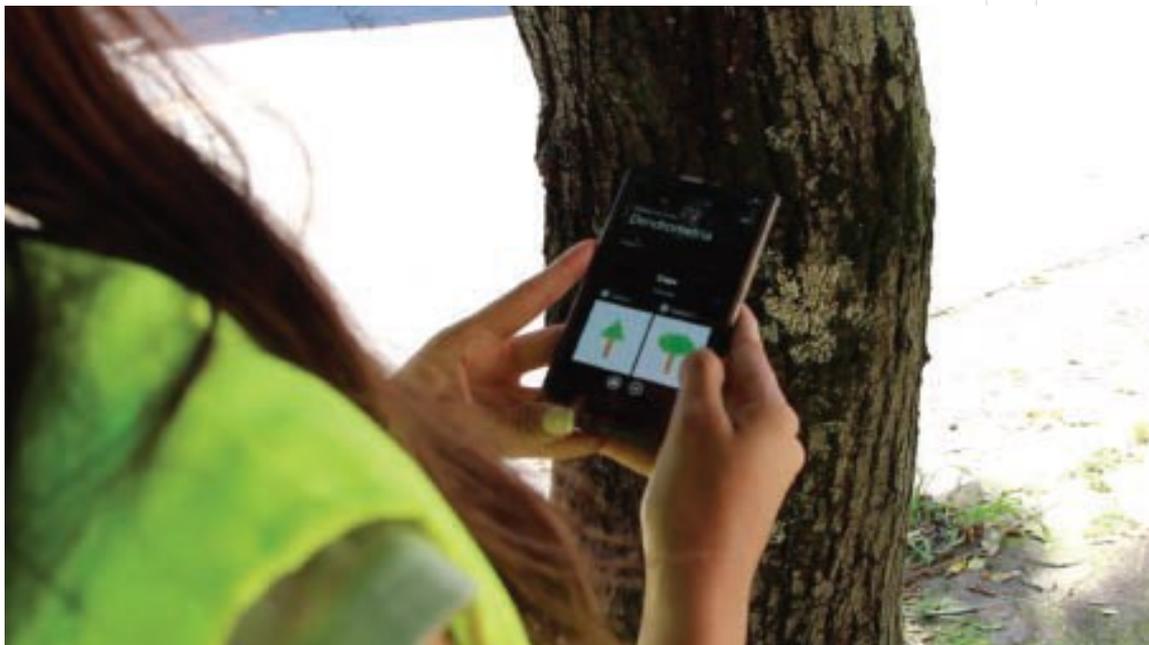
$$J_t = \frac{2}{3} \int_{\alpha_0}^{\alpha_N} (c-r)^3 \left(r + \frac{c-r}{2} \right) * \left[\frac{(R * \cos \alpha - \Delta) * R * \cos \alpha + R^2 * \sin^2 \alpha}{(R * \cos \alpha - \Delta)^2 + R^2 \sin^2 \alpha} \right] d\alpha \quad M_E = E_{p1} * \left(\frac{1}{3} H_p * D \right) + E_{p2} * \left(\frac{1}{2} H_p * D \right) + P_p * \left(\frac{H_L * D}{2} \right) * K_{fator}$$

Solução Tecnológica IPT para Gestão da Arborização Urbana



Software “**genérico**” para Gestão da Arborização Urbana

(Projeto de Capacitação IPT – recursos GESP)



Sistema móvel - Smartphone

Programa IPT de estímulo à inovação e à produtividade tecnológica
Prêmio na categoria patentes - individual

Software **genérico** para Gestão da Arborização Urbana

(Projeto de Capacitação IPT – recursos GESP)

arbio

Administração Inventário Planejamento Queda Sair

Inventário

Dados Principais Condição Entorno Dendrometria Estado Fitossanitário Avaliação Radicular Avaliação Fuste

Avaliação Copa Ação Antrópica Análise Interna Análise Risco Relatório de Risco Fotos Recomendações

Dados Principais

Inspeção Localização Identificação botânica Vitalidade

Responsável *

Data *

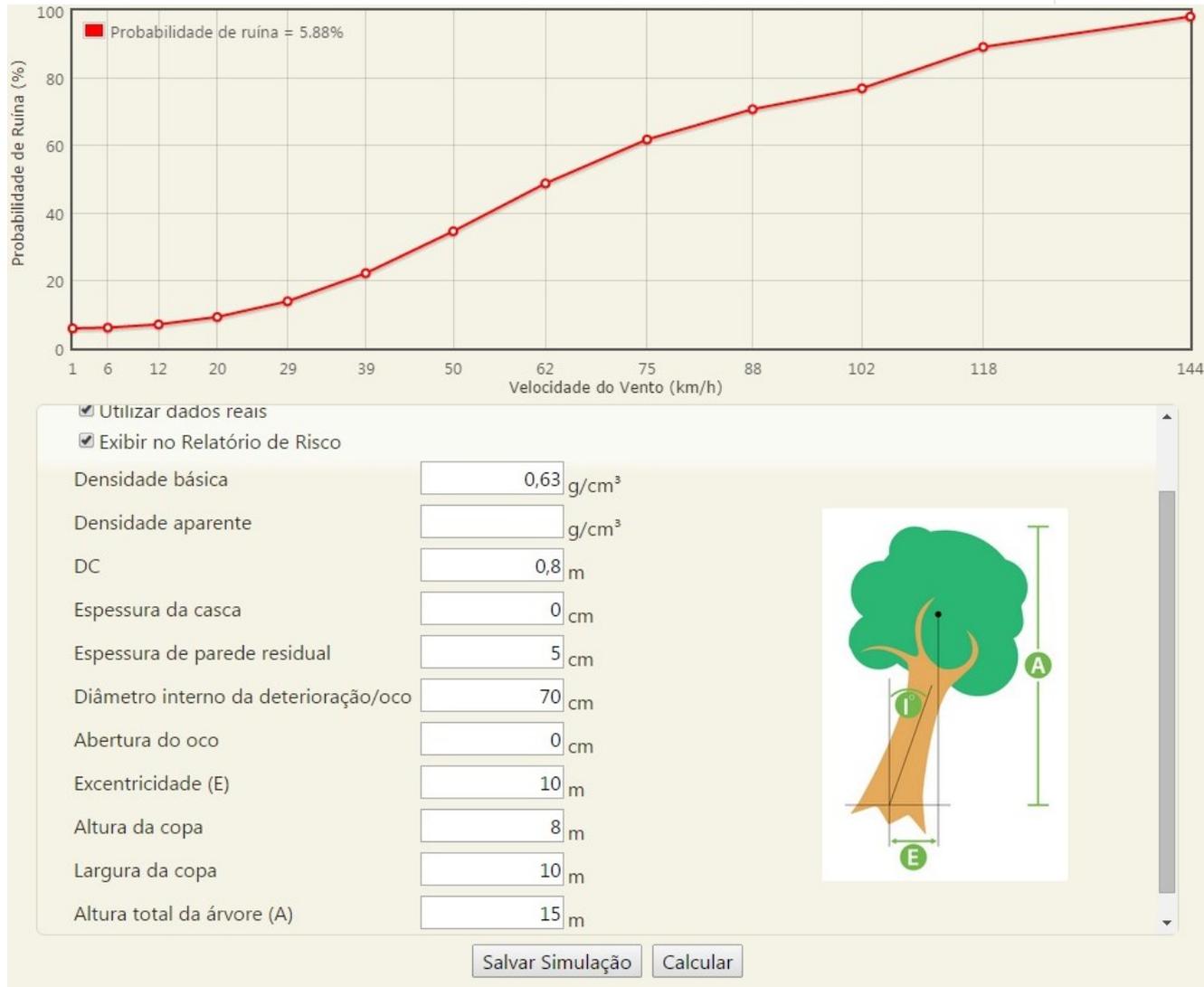
* Campos obrigatórios

Finalizar Cadastro Cancelar

Sistema web - Intranet ou internet

Análise de Risco

Modelo de Cálculo estrutural – Ferramenta auxiliar



Diagnóstico complementar

- Modelos consideram probabilidades – **ferramenta auxiliar**
- Experiência profissional de campo
- Segurança às pessoas e/ou propriedades
- Raridade/patrimônio histórico
- Outros atributos sugeridos:
 - tipo de via de tráfego; tipo de edificação; área permeável (tipo de pavimento e calçada verde); levantamento de passeio; instalações e interferências; inclinação do tronco; barreiras físicas do canteiro; injúrias na raiz, colo e/ou tronco; poda de raiz; dobra ou enovelamento de raiz; anelamento do colo ou tronco; colo soterrado; oco aberto no colo ou tronco; casca inclusa; rachas/fendas; dendrocirurgia; galhos secos/podres/declínio; parasitas; presença de brocas-de-madeira e cupins-de-madeira-seca; poda inadequada (em “V”, lateral ou drástica); desequilíbrio da copa.

Dados históricos

- Deterioração interna (**cerne** e alburno)

Espécie	Com deterioração interna (%)	Sem deterioração interna (%)
<i>Tipuana tipu</i>	62,1	37,9
<i>Jacaranda mimosaeifolia</i>	47,6	52,4
<i>Ligustrum lucidum</i>	43,4	56,6
<i>Caesalpinia peltophoroides</i>	37,2	62,6
<i>Holocalyx balansae</i>	35,2	64,8
<i>Delonix regia</i>	35,0	64,0
<i>Tibouchina granulosa</i>	23,5	76,5
<i>Spathodea nilotica</i>	22,5	76,9
<i>Grevillea robusta</i>	10,4	89,6
<i>Caesalpinia ferrea</i> var. <i>leiostachya</i>	7,6	92,4
<i>Lagerstroemia indica</i>	6,7	92,8

Projeto Operação Árvore Saudável – PMSP (2004)

Responsabilidade

- Alemanha
 - “De uma árvore na rua, naturalmente, não se pode esperar que seja completamente livre de defeitos e potenciais perigos. **Tal estado é simplesmente intangível**”
 - Fraturas previsíveis x imprevisíveis
 - “The body language of the trees”



Responsabilidade

- Brasil
 - Poder público: plantio, cuidados (manejo) e monitoramento
 - Concessionária de Energia Elétrica e empresas: corresponsáveis
 - Árvores de risco
 - **Carência de mão de obra, conhecimento técnico e infraestrutura**
 - **Argumento: fatalidade!**



Av. Pompéia, SP

Ciclone em Piracicaba, SP (2005)



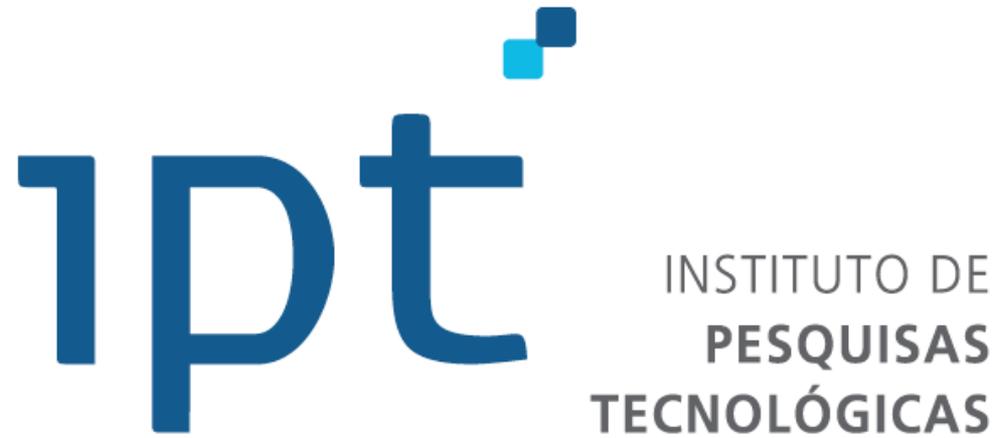
Nunca haverá uma árvore totalmente segura!!

Coragem!!!



Respeito à natureza
Respeito ao ser humano

Ética
Responsabilidade



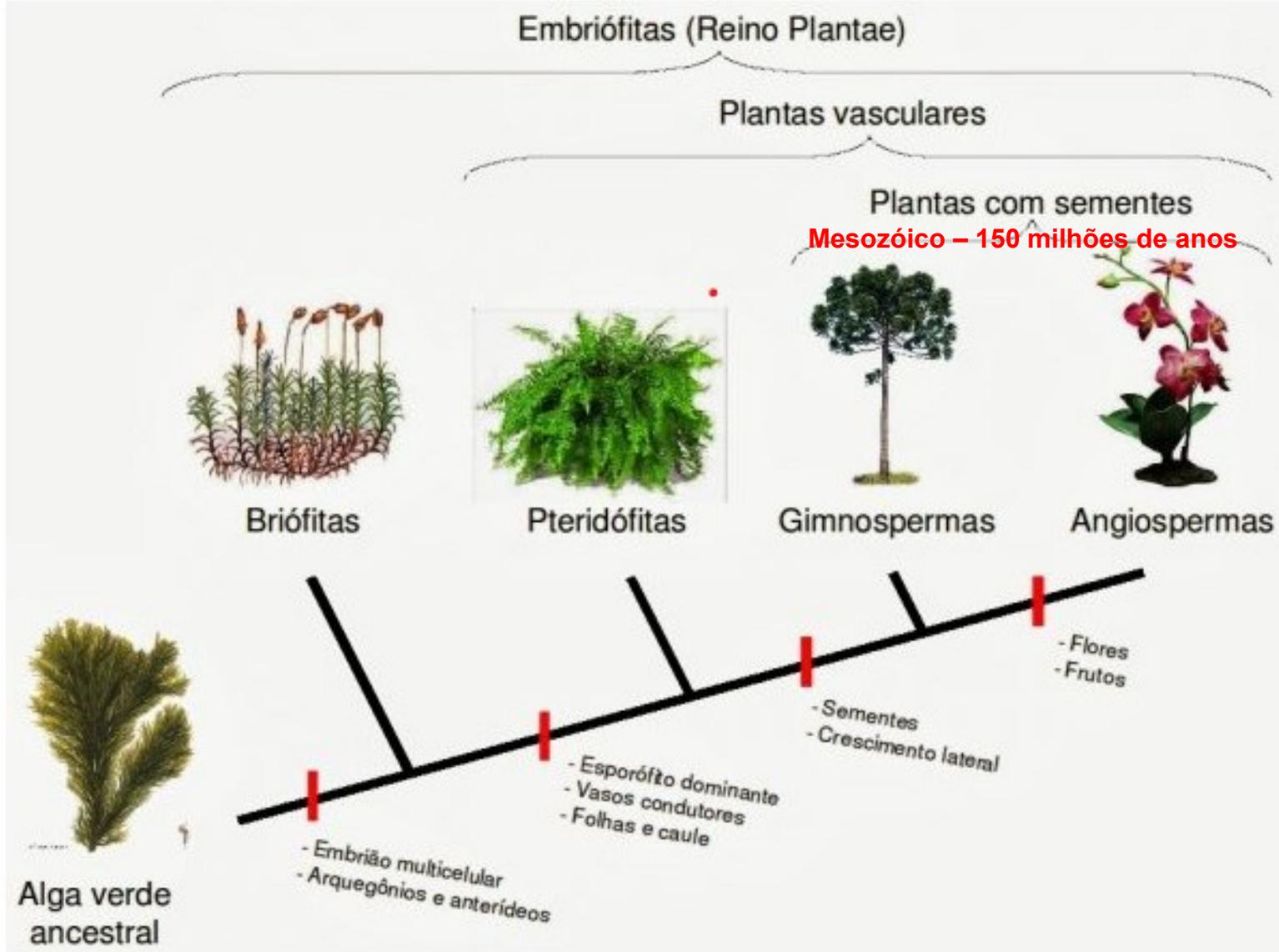
Obrigado!



A árvore: morfologia e anatomia do lenho



Evolução das plantas

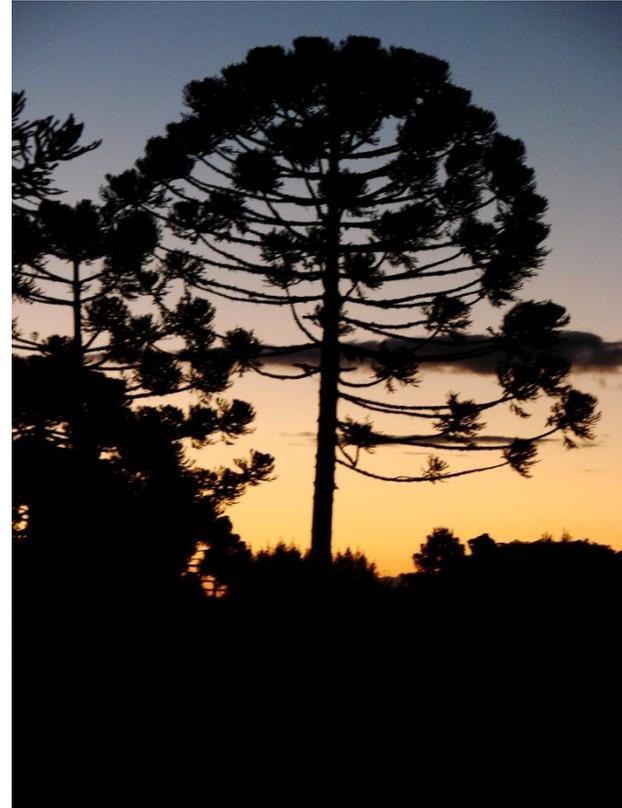


Homem Neanderthal 400 mil anos!

Paleozóico – 500 milhões de anos

GIMNOSPERMAS (SEMENTES NUAS)

- Grupo “primitivo” e homogêneo
- Resinosas, não porosas ou “softwoods”
 - pinho-do-paraná, pinheiro-bravo...



ANGIOSPERMAS (Flores e sementes protegidas em frutos)

- Eudicotiledôneas
 - Grupo “mais evoluído” e heterogêneo de plantas
 - porosas ou “hardwoods”
 - cerejeira, ipê, mogno...

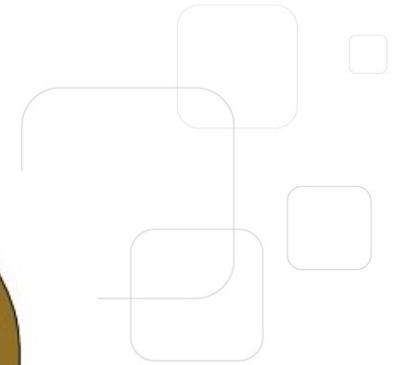
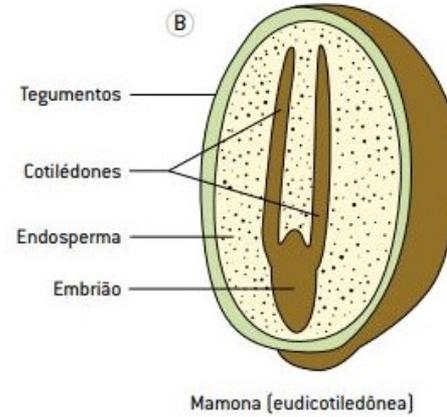
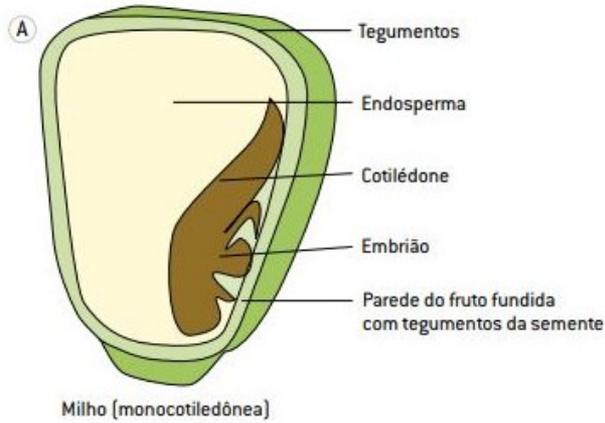


ANGIOSPERMAS (Flores e sementes protegidas em frutos)

- Monocotiledôneas
 - Palmeiras



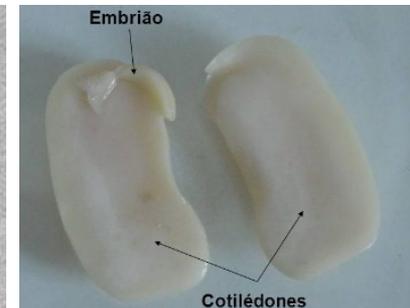
Semente - embrião



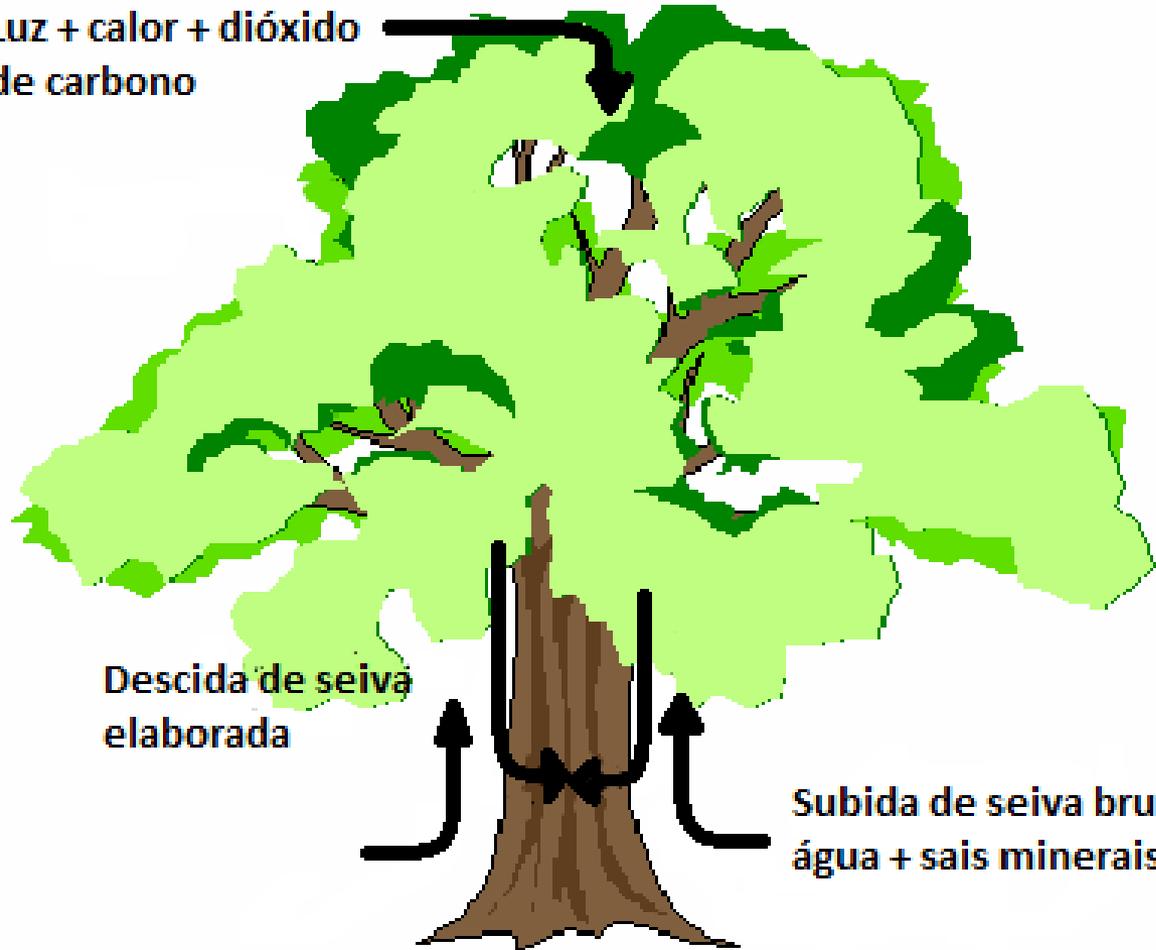
Milho



Caqui

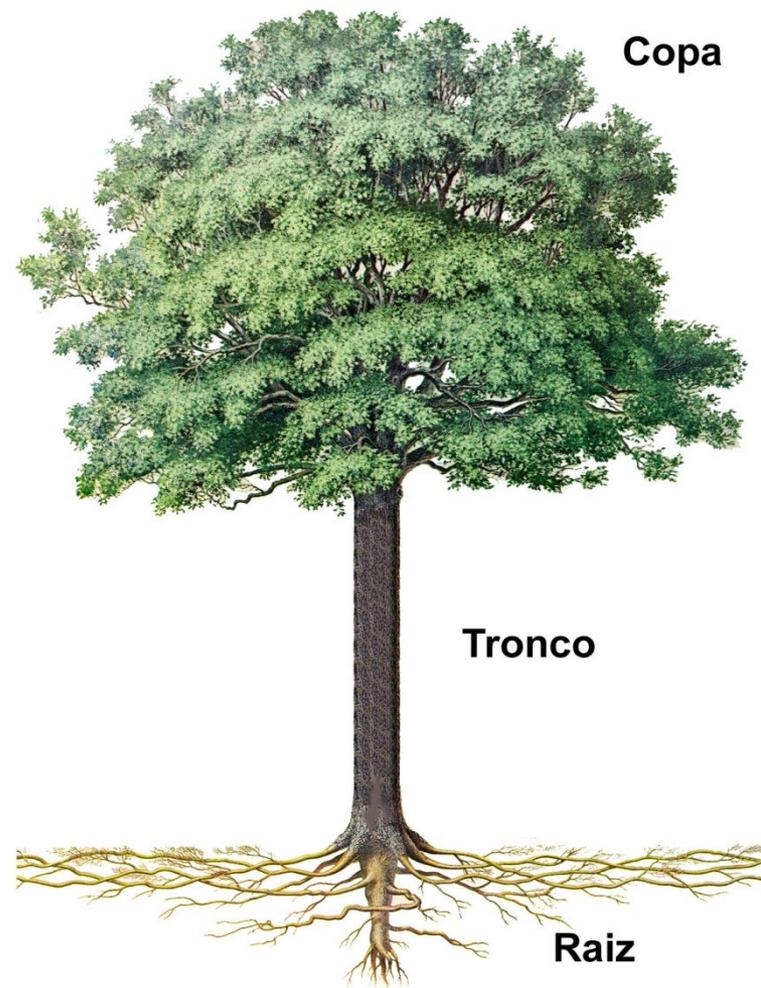


Luz + calor + dióxido
de carbono



Descida de seiva
elaborada

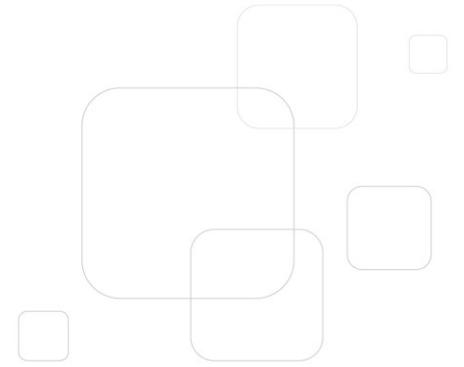
Subida de seiva bruta:
água + sais minerais



Copa

Tronco

Raiz





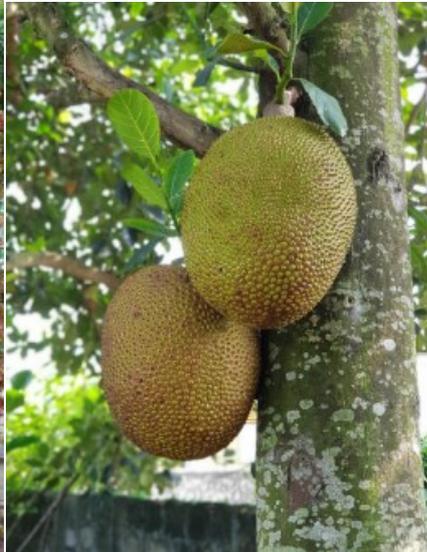
Copa e Crescimento do tronco

Caule de árvores (tronco)

- Órgão vegetativo ereto e, geralmente, aéreo
- Gemas apical e laterais



Gemas laterais
jaca e abricó-de-macaco

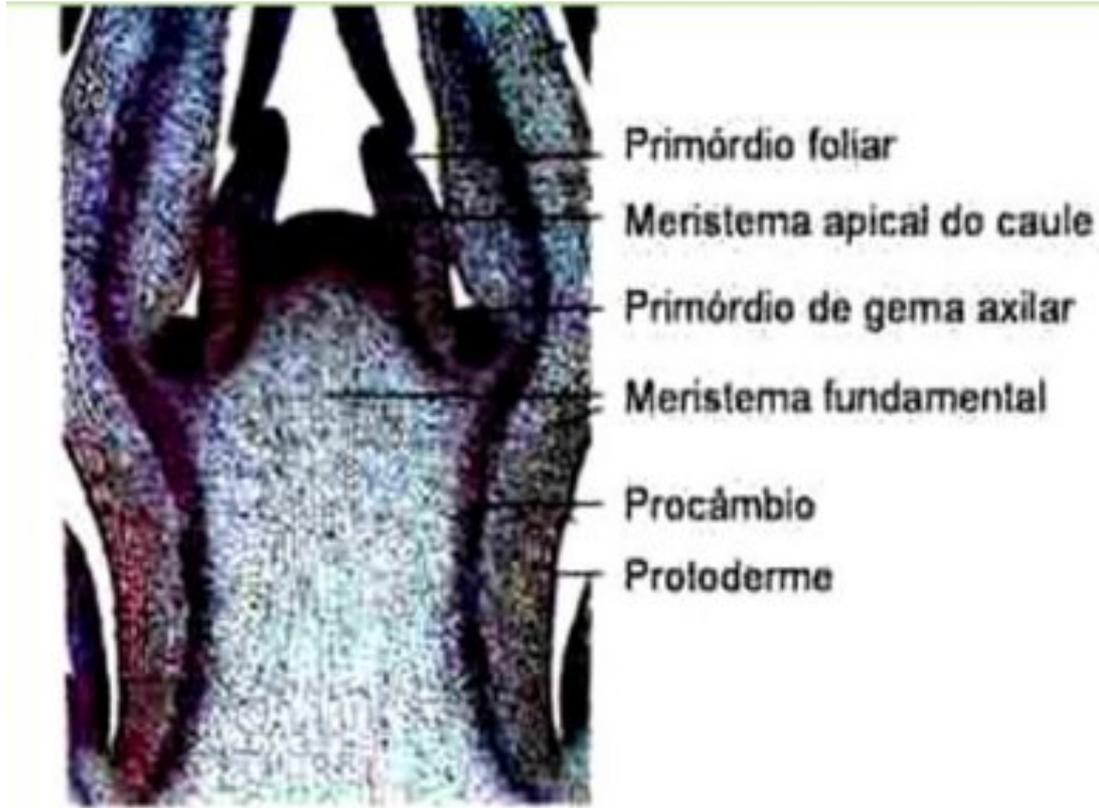


Catafilo



Meristema apical do caule

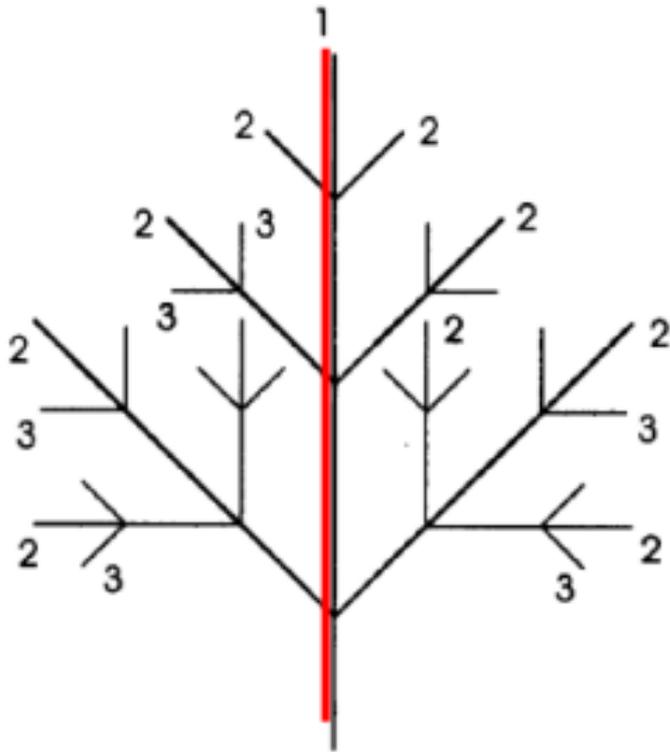
Formação do corpo primário



Caule

Classificação quanto à ramificação
(relação com meristema apical)

- Monopodial (Gema apical persistente)



Araucária e grevília

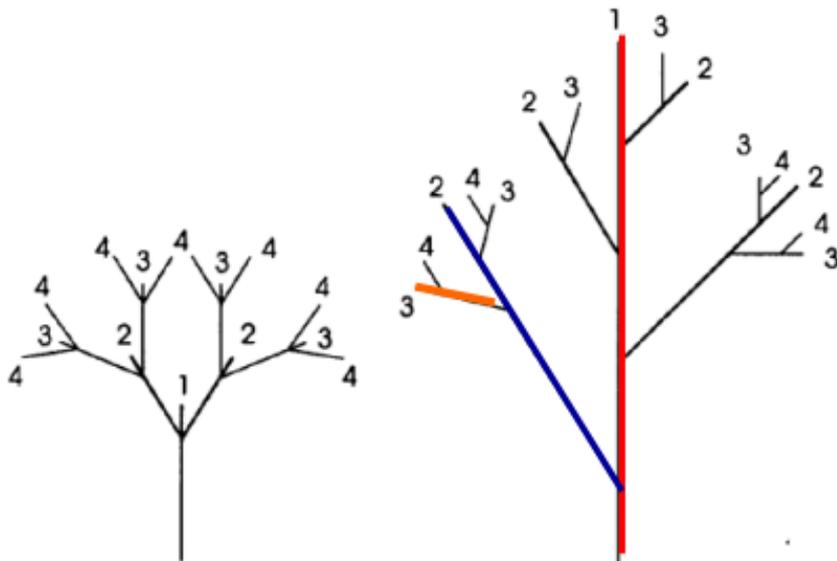


Eucalipto

Caule

Classificação quanto à ramificação
(relação com meristema apical)

- Simpodial
 - Gema apical de curta duração



Angico

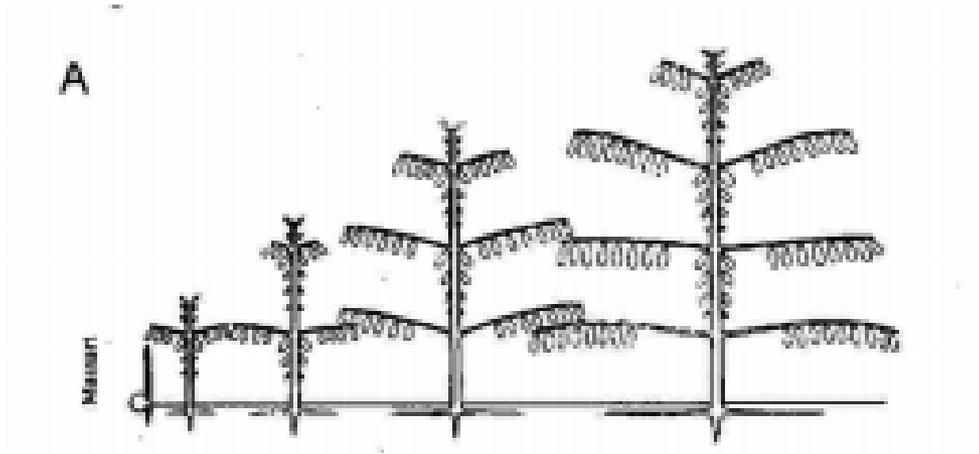


Ipê-rosa

Caule

Classificação quanto à ramificação
(relação com direção de crescimento dos meristemas)

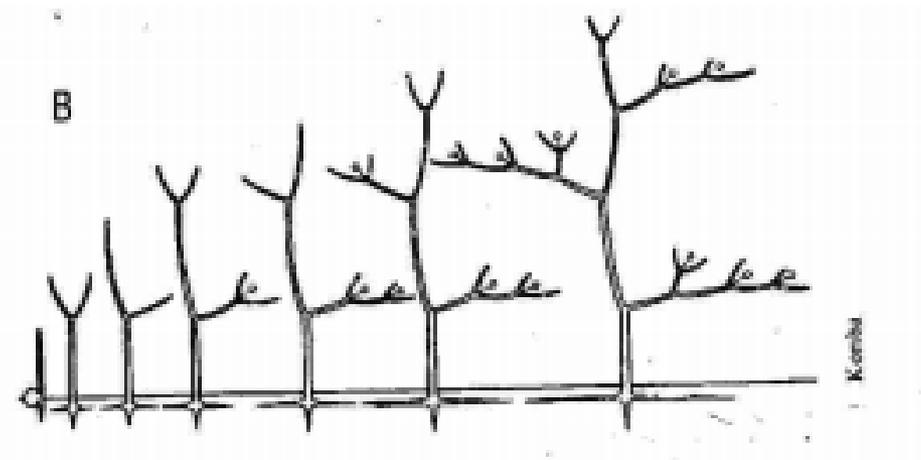
- Eixo ou crescimento ortotrópico



A – Crescimento monopodial ortotrópico



Araucária



B – Crescimento simpodial ortotrópico

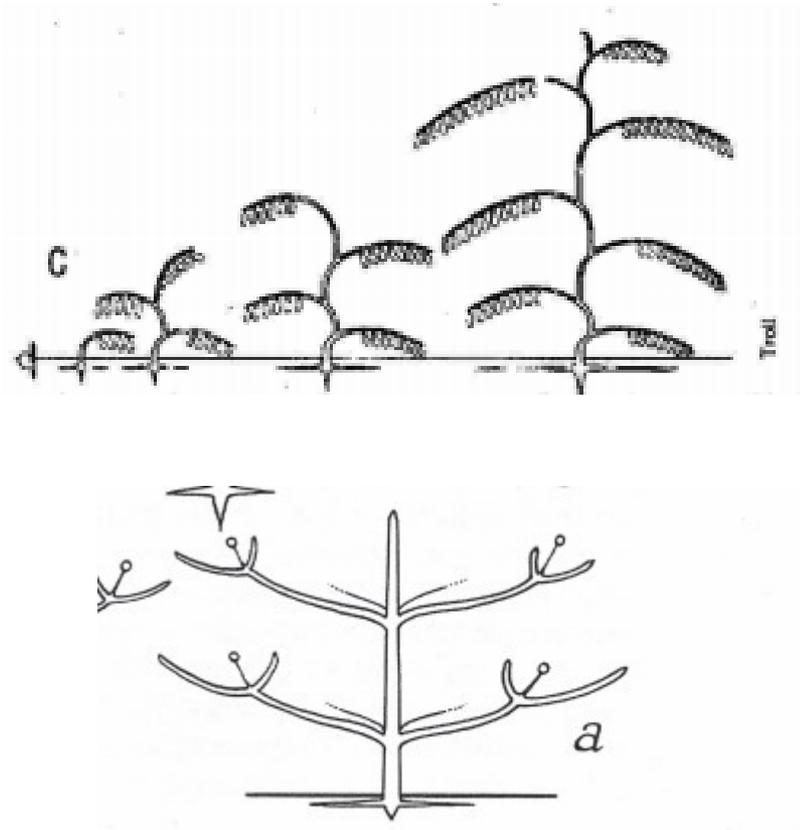


Ipê-amarelo

Caule

Classificação quanto à ramificação
(relação com direção de crescimento dos meristemas)

- Eixo ou crescimento plagiotrópico
 - Meristemas crescem obliquamente ou horizontalmente

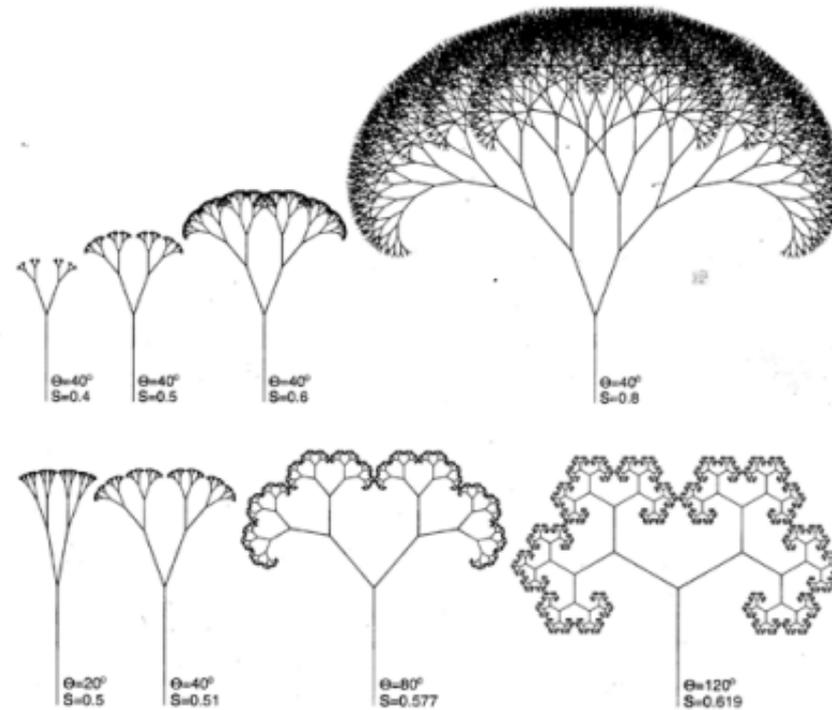


C – Crescimento simpodial plagiotrópico



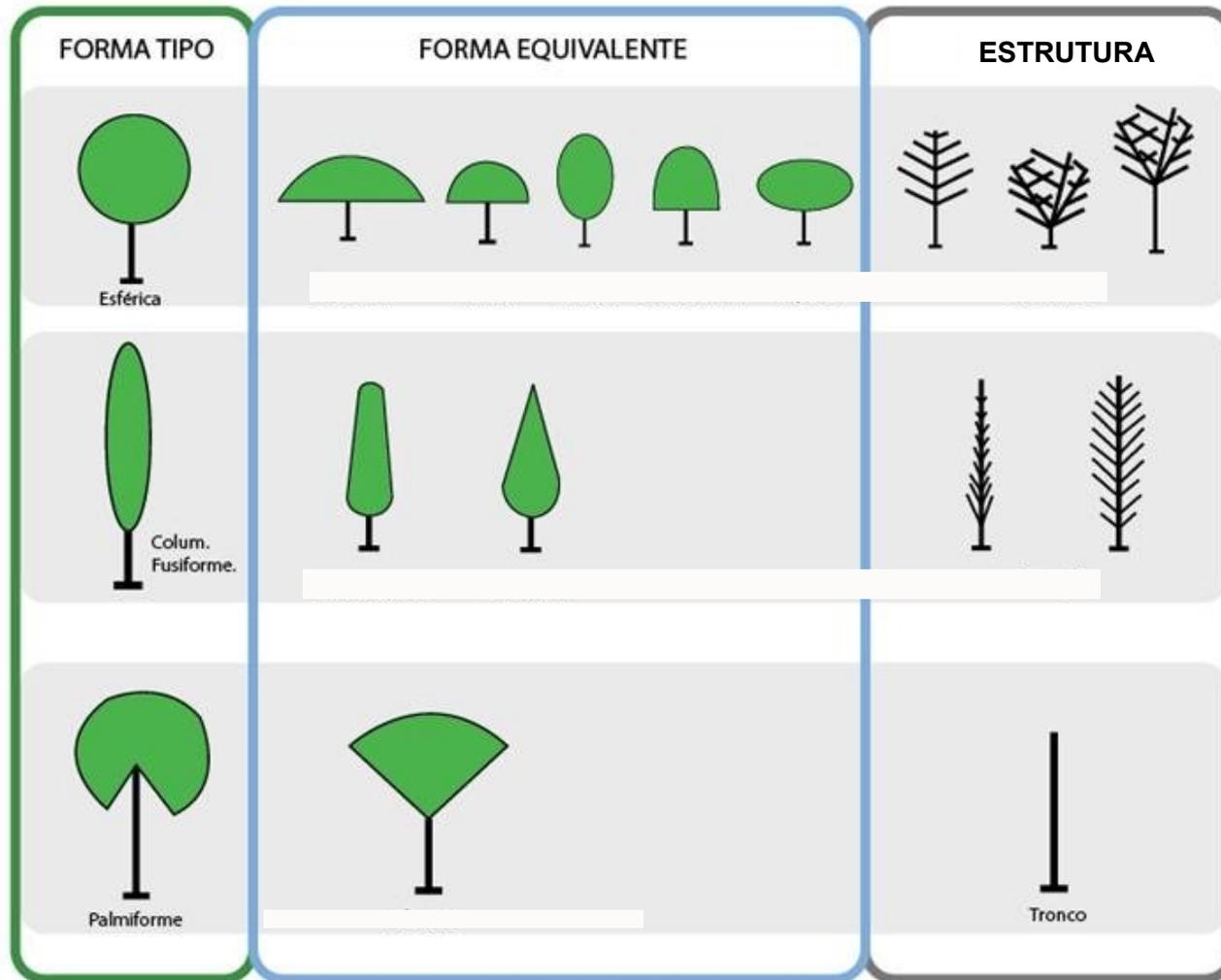
Flamboyant

Árvores fractais

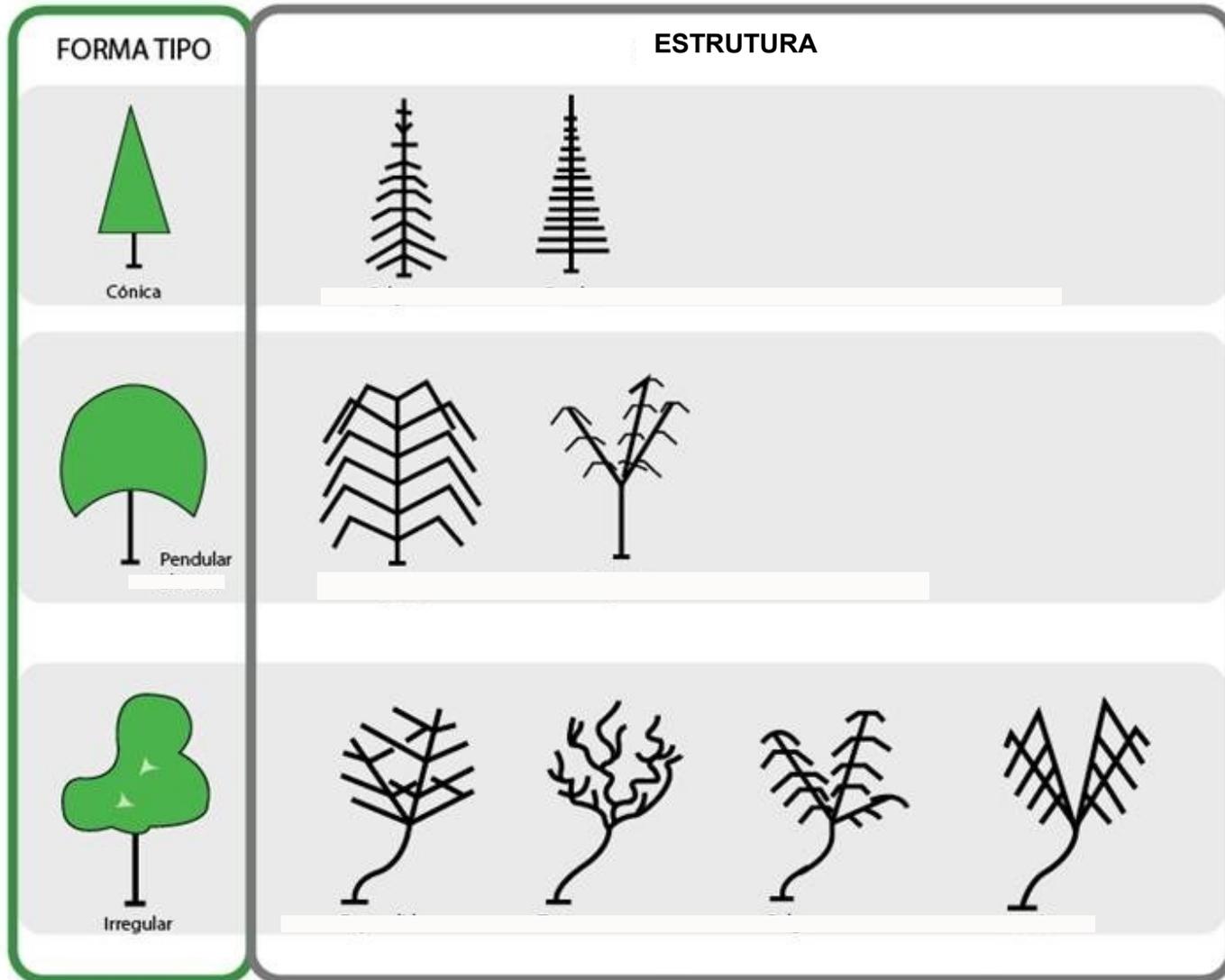


Pequenos segmentos repetem a estrutura da árvore

Forma da Copa



Forma da Copa



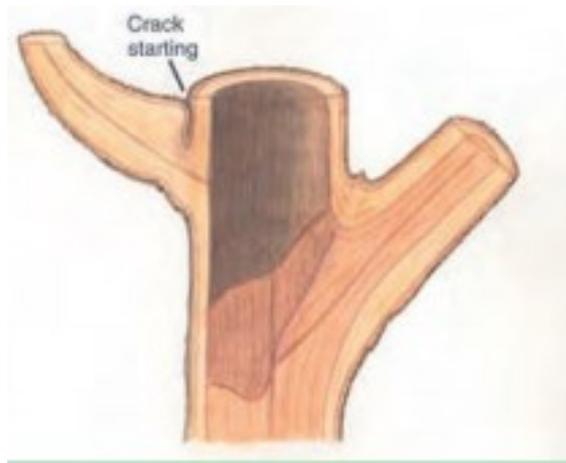
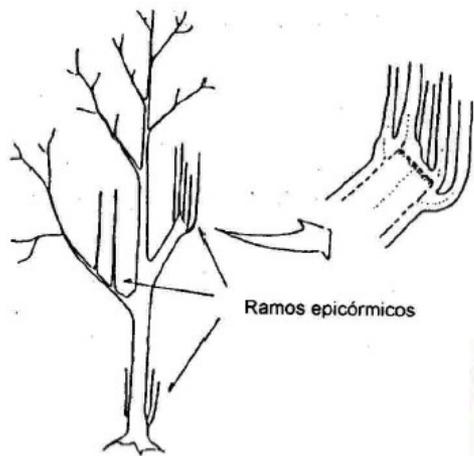
Casca inclusa/galhos codominantes



Espécie versus manejo

Ramos epicórmicos ou brotações

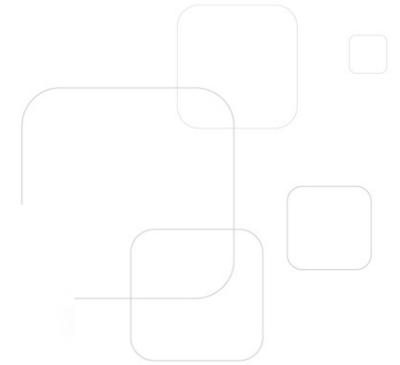
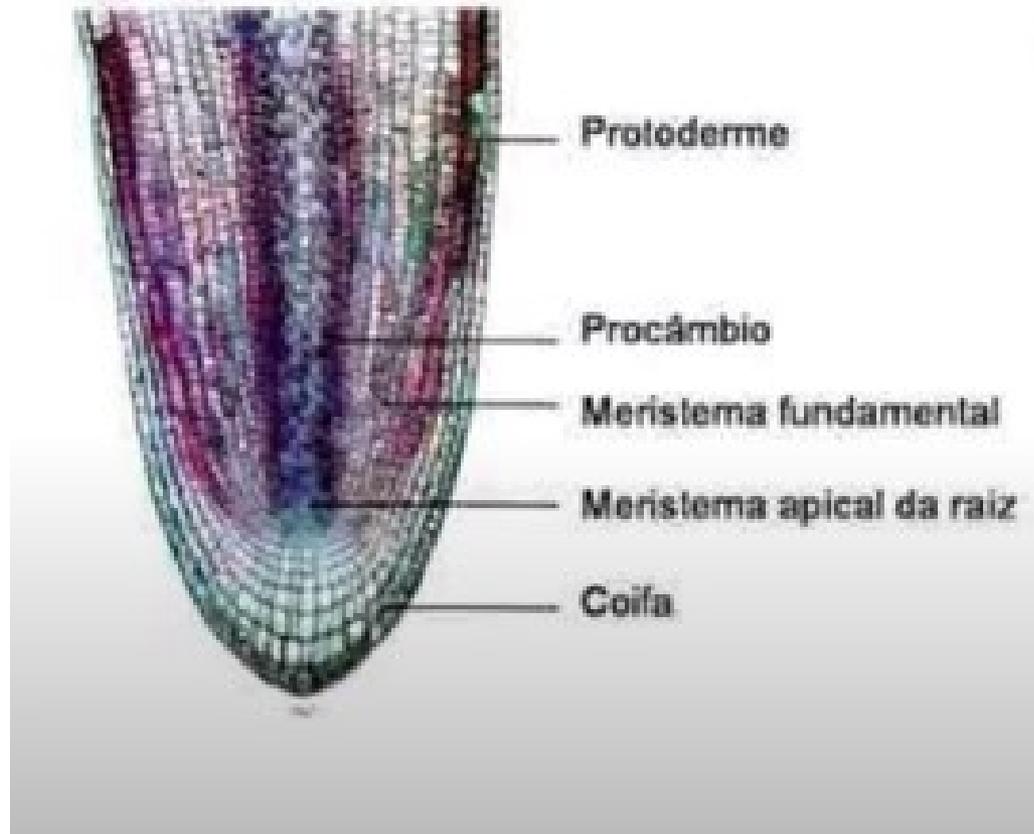
- Ocorrência nos galhos, troncos e raízes





Sistema Radicular

Meristema apical da raiz



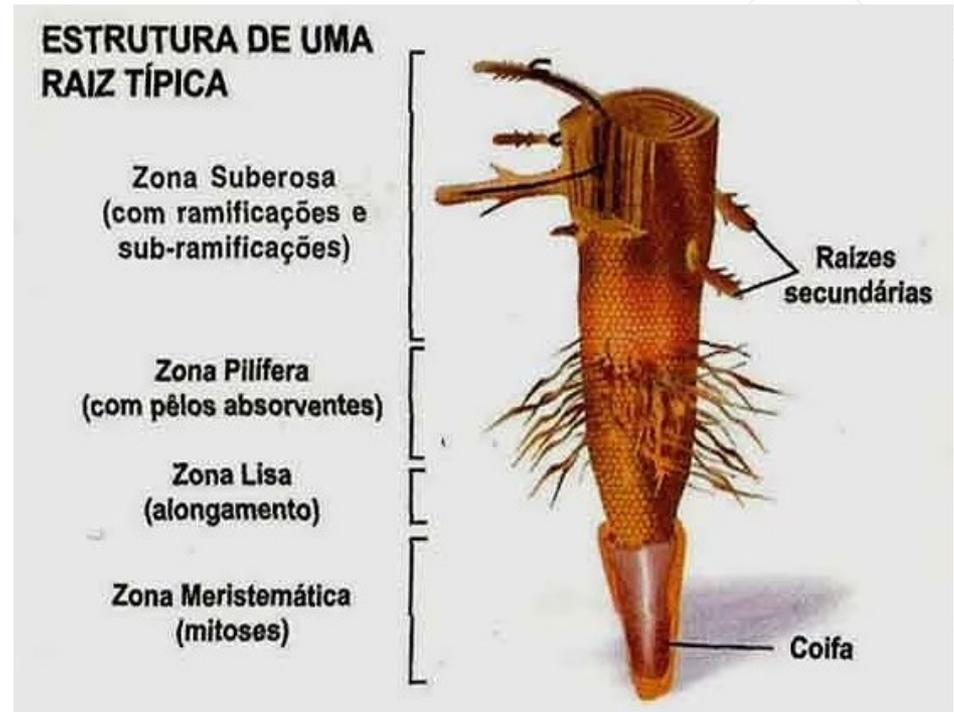
Raízes

■ Função

- Fixação no solo
- Absorção de água e inorgânicos
- Distribui alimento

■ Origem

- Radícula do embrião da semente (raiz principal)
- Endógena – secundárias e adventícias

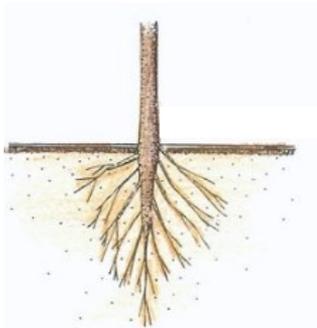


Raízes

Classificação quanto ao habitat - Subterrâneas

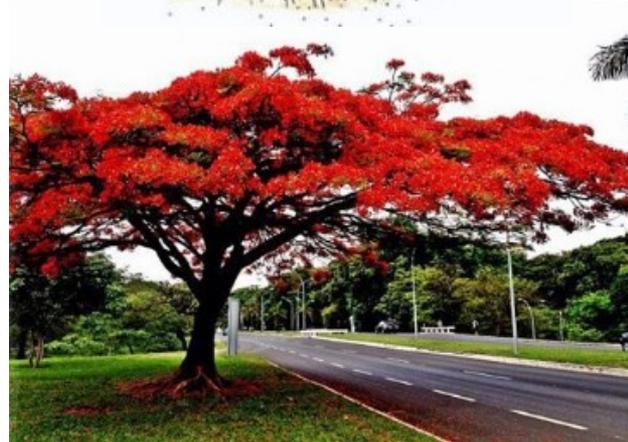
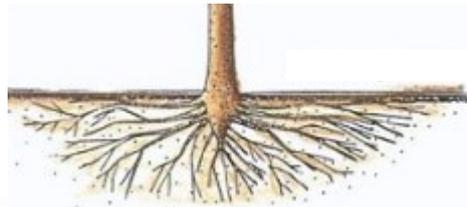
Axial ou pivotante

Ipê, pinheiro



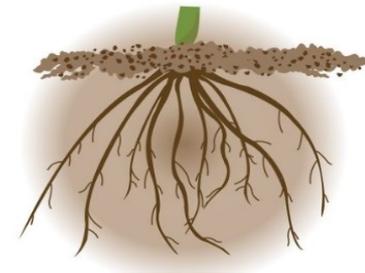
Ramificada ou superficial

Flamboyant, tipuana, figueiras, abacateiro, angico, pau-ferro



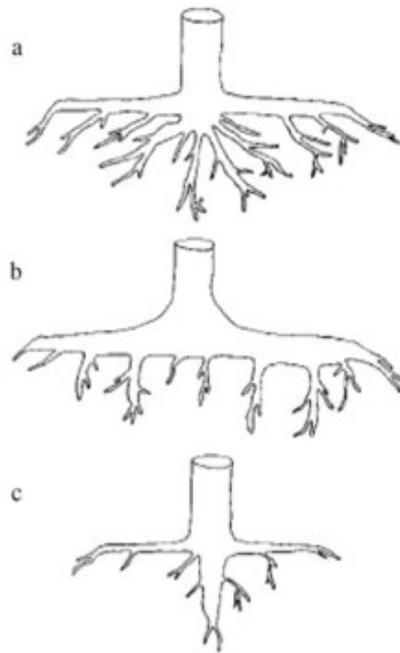
Fasciculada ou adventícia

Palmeiras



Planejar arborização só com pivotantes?

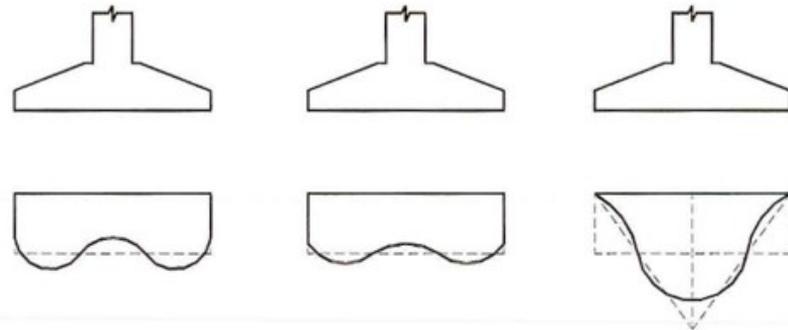
Um pouco de biomecânica...



: Arquitetura das raízes (Rahardjo *et al.*, 2009).

a) Coração b) Torção c) Pivotante

Distribuição das tensões em sapatas flexíveis.



a) Rocha

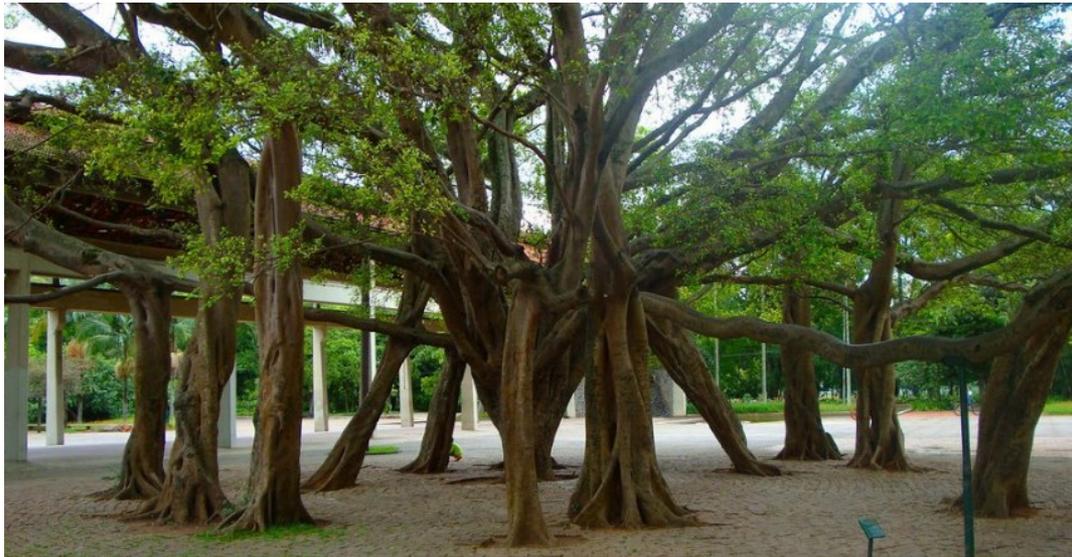
b) Argila

c) Areia

Raízes

Classificação quanto ao habitat - Aéreas

Escoras ou suporte
Falsa-seringueira



Tabular ou sapopema
Sumaúma,
Flamboyant



Raízes

Classificação quanto ao habitat - Aéreas

Estranguladoras ou cinturas

Figueira-mata-pau



Suporte, fúlcreas adventícias

Árvores do mangue,
palmeiras



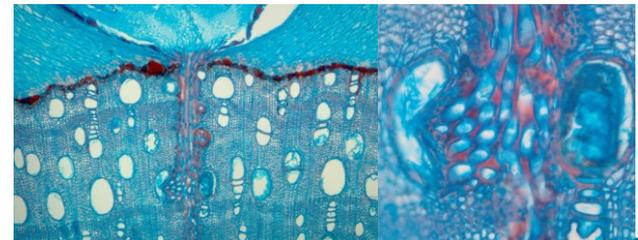
Raízes

Classificação quanto ao habitat - Aéreas

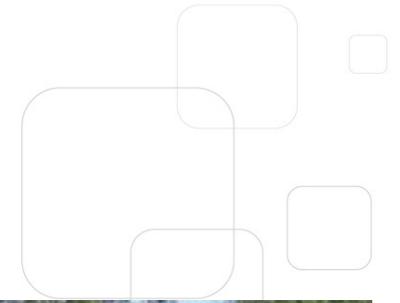
**Respiratórias ou
pneumatóforos**
Pinheiro-do-brejo



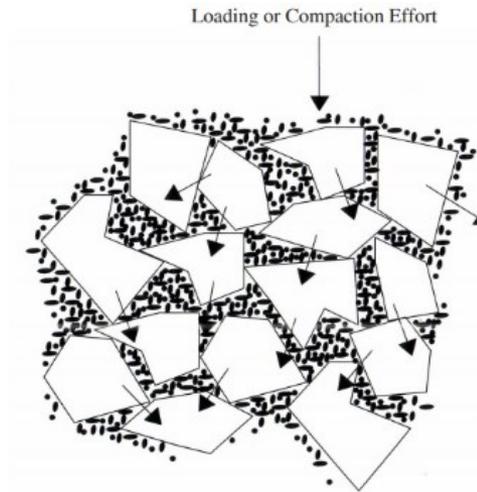
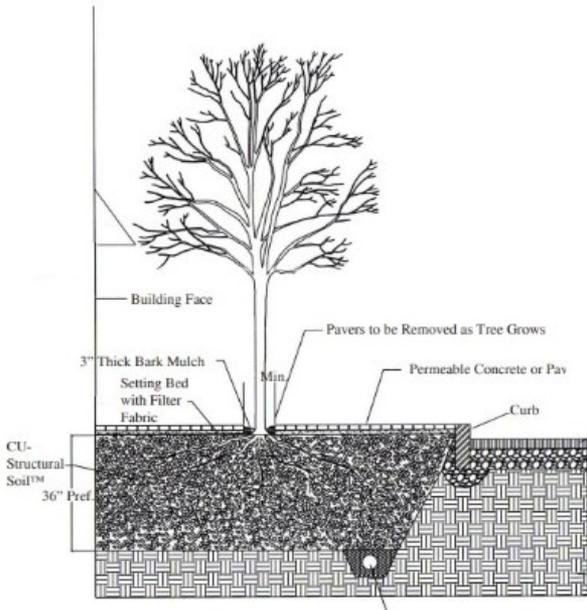
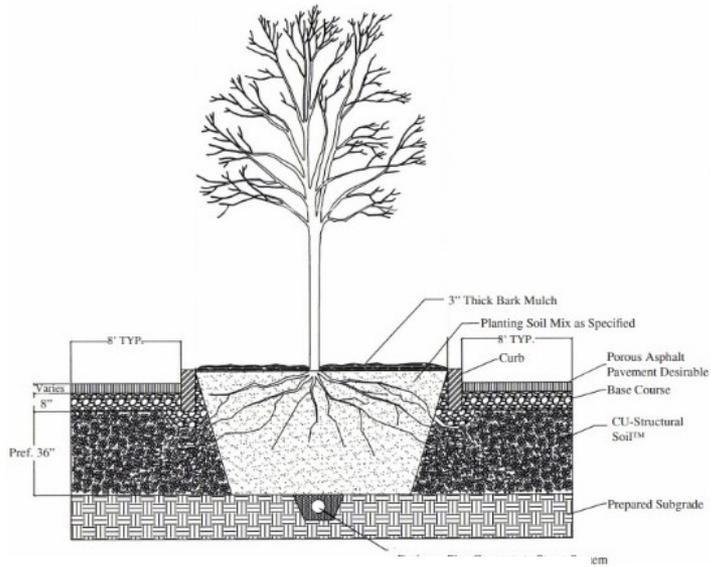
**Sugadoras ou
haustórios**
Erva de passarinho



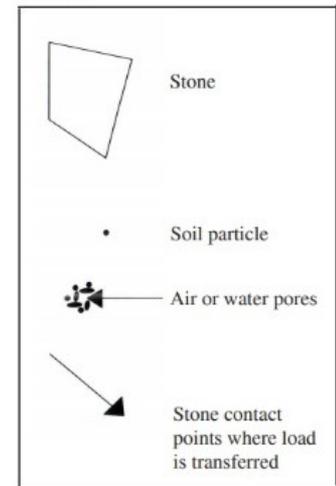
Solo estruturado



Solo estruturado



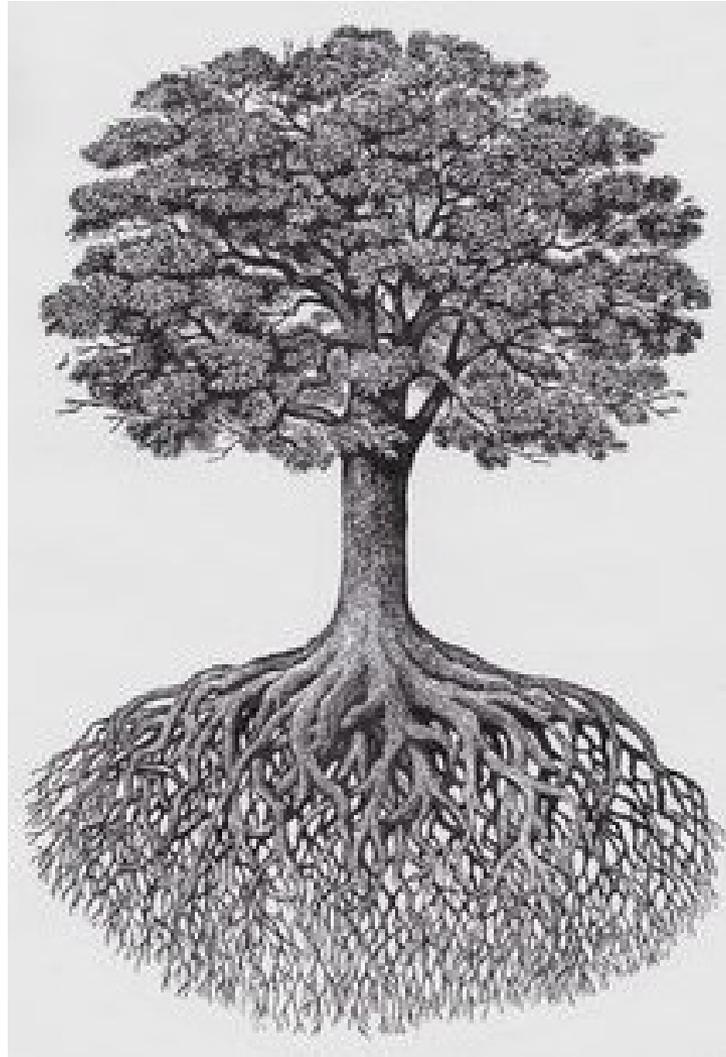
Legend



Rootmaker®



Qual o tamanho do sistema radicular de uma árvore?

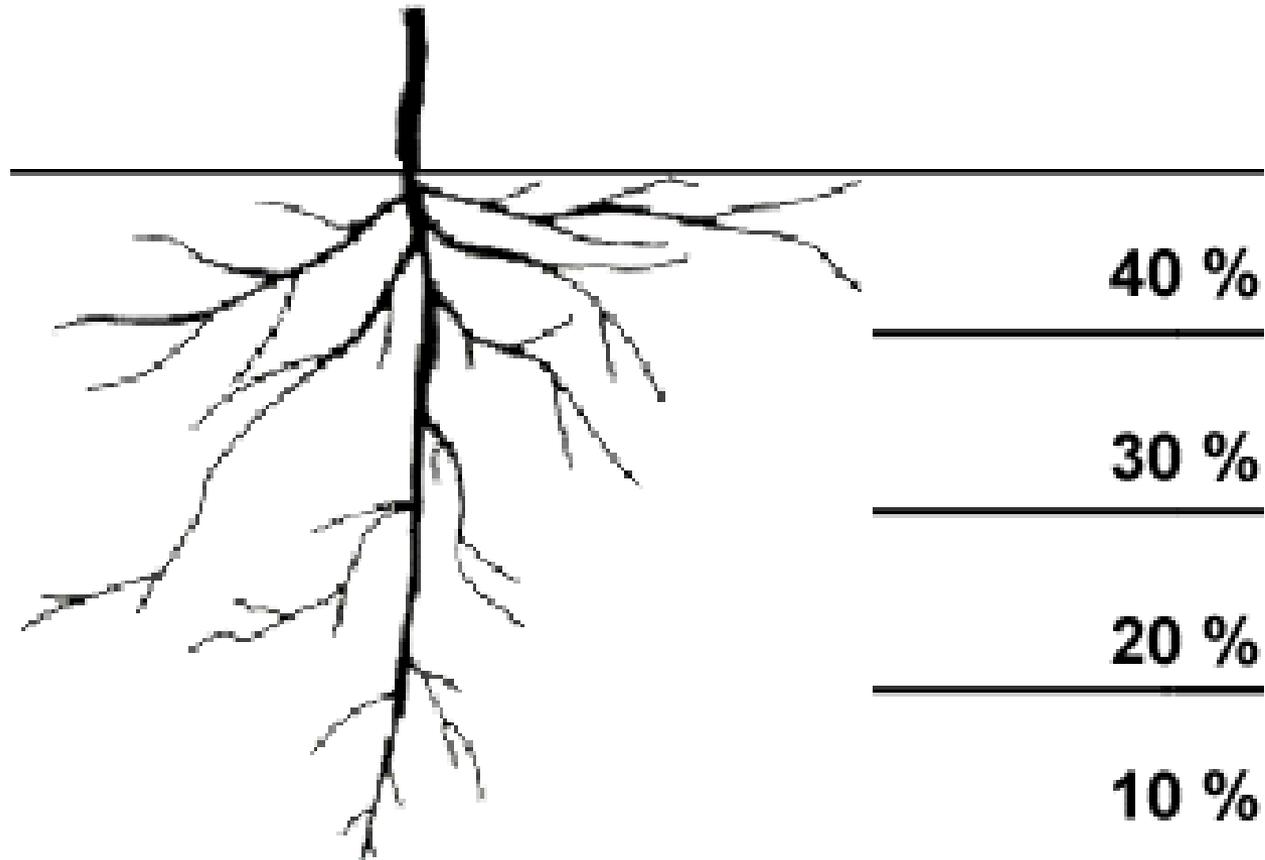
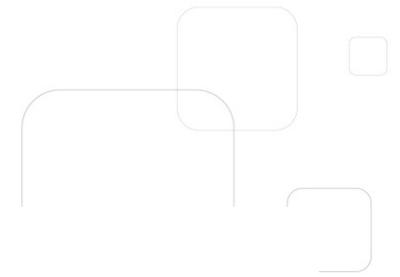


Qual o tamanho do sistema radicular de uma árvore?



Ipê-rosa

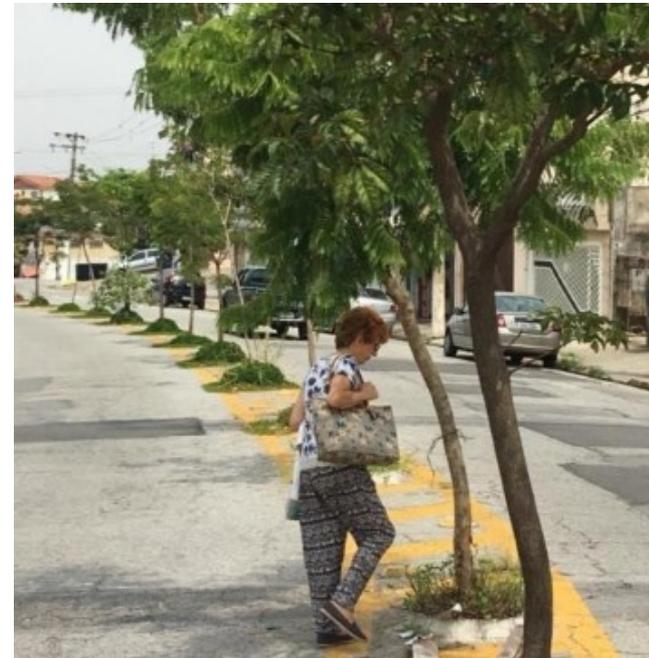
Sistema radicular



Sistema radicular

Classes de DAP das árvores (m)	Relação do sistema radicular com o DAP das árvores de tipuana	
	Diâmetro do sist. rad./DAP _{médio}	Profundidade da raiz/ DAP _{médio}
0,10 a 0,20	10,0	4,0
0,21 a 0,30	10,0	2,4
0,31 a 0,40	10,0	1,7
0,41 a 0,50	8,9	1,3
0,51 a 0,60	7,3	1,1
0,61 a 0,70	6,2	0,9
0,71 a 0,80	5,3	0,8
0,81 a 0,90	4,7	0,7
0,91 a 1,00	4,2	0,6
1,01 a 1,10	3,8	0,6

“Prefeitura de São Paulo planta árvore no asfalto e levanta polêmica” (12/03/2015)



Planejamento x Condição Urbana

- Maringá, PR



Compatibilidade de porte com rede elétrica

Nas calçadas que dão suporte a rede elétrica, deverão ser plantadas mudas de pequeno po Sugestões:

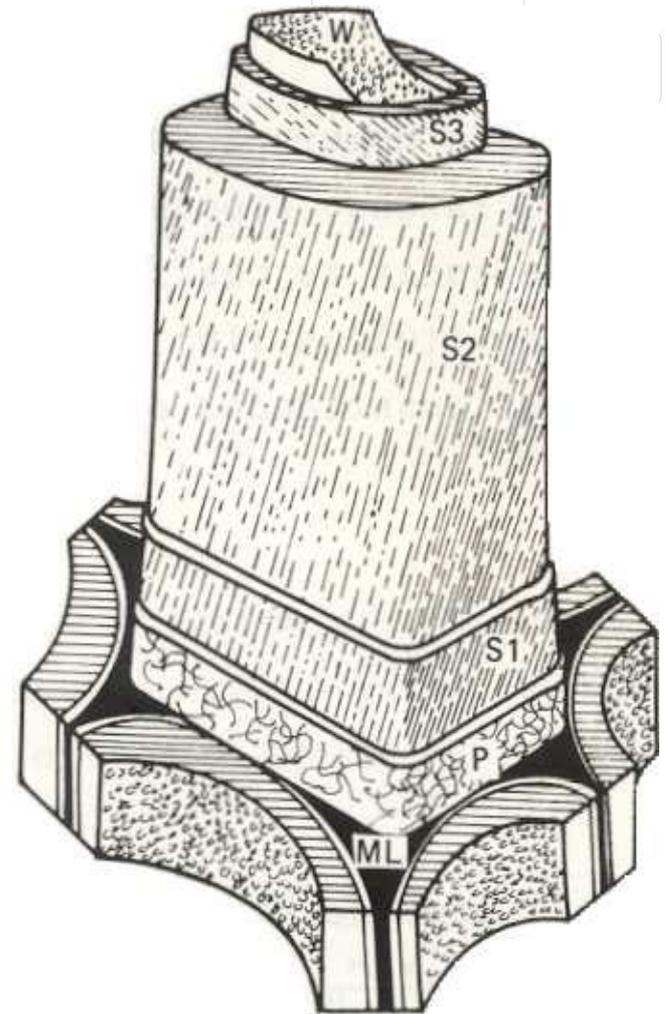
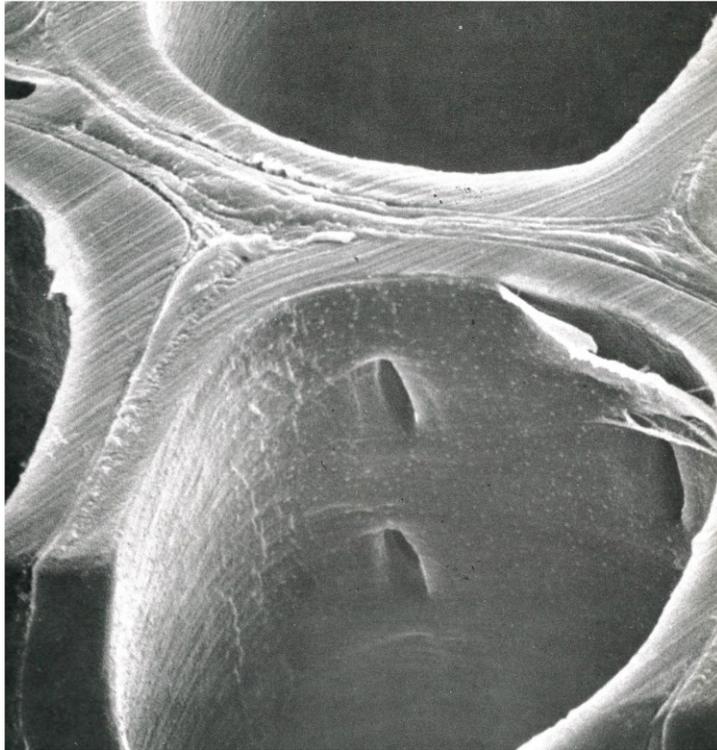
Nome popular	Nome científico
Acelbra	<i>Malpighia Glabra</i>
Amora	<i>Morus Nigra</i>
Araçá	<i>Psidium Cattleianum</i>
Astrapéia	<i>Dombeya Wallichii</i>
Calabura	<i>Muntingia Calabura</i>
Callicarpa	<i>Callicarpa Reevesii</i>
Calliandra	<i>Calliandra Houstoniana</i>
Cambuí	<i>Myrciaria Tenella</i>
Caqui do cerrado	<i>Diospyros Hispida</i>
Cerejeira	<i>Prunus Campanulata</i>
Cerejeira do Rio Grande	<i>Eugênia Involucrata</i>
Cerejeira Ornamental	<i>Prunus Serrulata</i>
Escova de garrafa	<i>Callistemon sp</i>
Flamboyant mirim	<i>Caesalpinia Pulcherrima</i>
Folha de Serra	<i>Ourateas Spectabilis</i>
Gabiroba	<i>Campomanesia Xanthocarpa</i>





Fuste ou Tronco

Célula vegetal



- Parede celular:
 - **celulose**; hemiceluloses; **lignina**

Parede celular

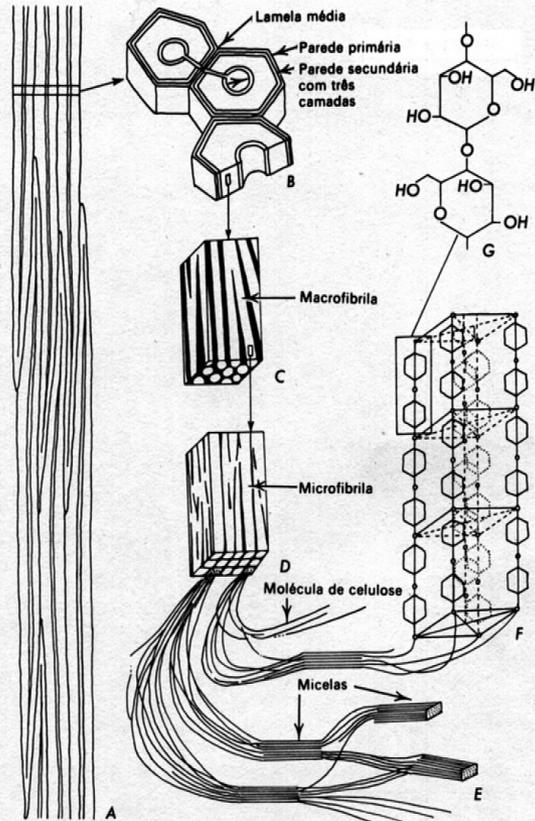


Figura 6.1 Estrutura pormenorizada das paredes celulares. *A*, feixe de células fibriformes. *B*, corte transversal das células fibriformes, mostrando lamelação; uma camada de parede primária e três camadas de paredes secundárias. *C*, fragmento da camada secundária média, mostrando macrofibrilas (branco) de celulose e espaços interfibrilares (negro), ocupados por material não-celulósico. *D*, fragmento de uma macrofibrila mostrando microfibrilas (branco), que podem ser vistas em micrografias obtidas ao microscópio eletrônico (Fig. 6.2). Os espaços entre as microfibrilas (negro) também são preenchidos por material não-celulósico. *E*, estrutura de microfibrilas: moléculas de celulose, semelhantes a cadeias, que em algumas partes das microfibrilas se dispõem ordenadamente. Estas partes são as micelas. *F*, fragmento de uma micela, mostrando partes de moléculas celulósicas em cadeia, dispostas em figura tridimensional. *G*, dois resíduos de glicose, ligados por um átomo de oxigênio — fragmento de uma molécula de celulose

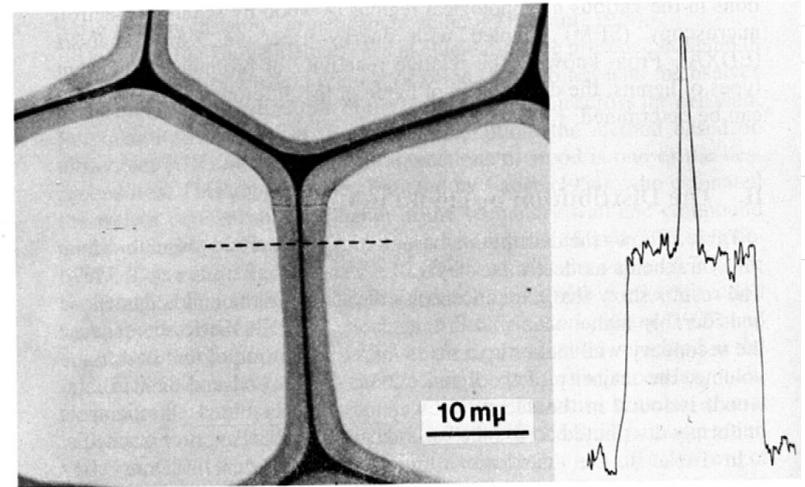


Fig. 1. Ultraviolet photomicrograph, taken at 240 nm, of the cell walls of black spruce earlywood tracheids. The densitometer tracing was taken along the dotted line. From Fergus *et al.* (1969).

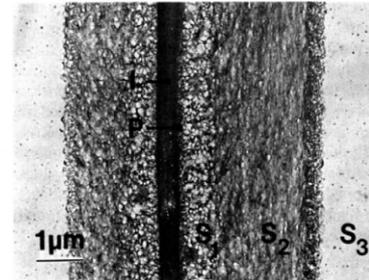
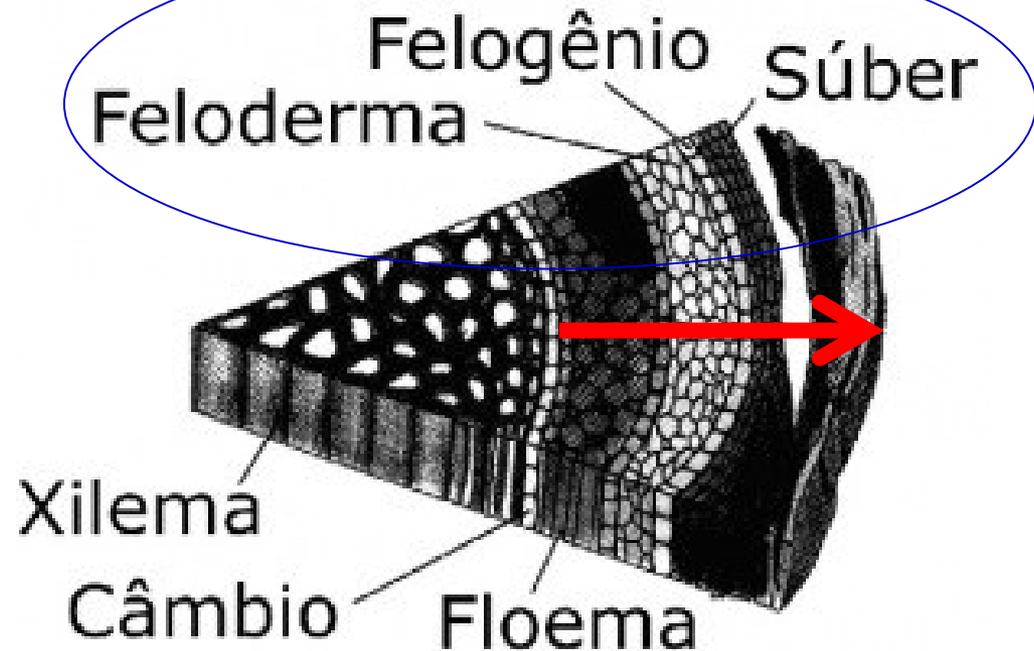


Fig. 8. Transmission electron micrograph of ultrathin longitudinal section of earlywood tracheids from *Pinus densiflora*, showing the distribution of lignin in the cell wall that was skeletonized using the HF acid technique.



- 1 – “Casca”
- 2 – Floema
- 3 – Câmbio
- 4 – Alburno (Xilema)
- 5 – Cerne (Xilema)

Casca ou Periderme ou Ritidoma (tronco)?

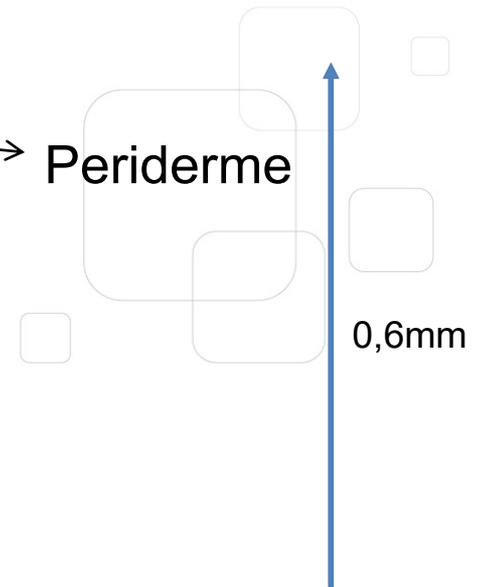
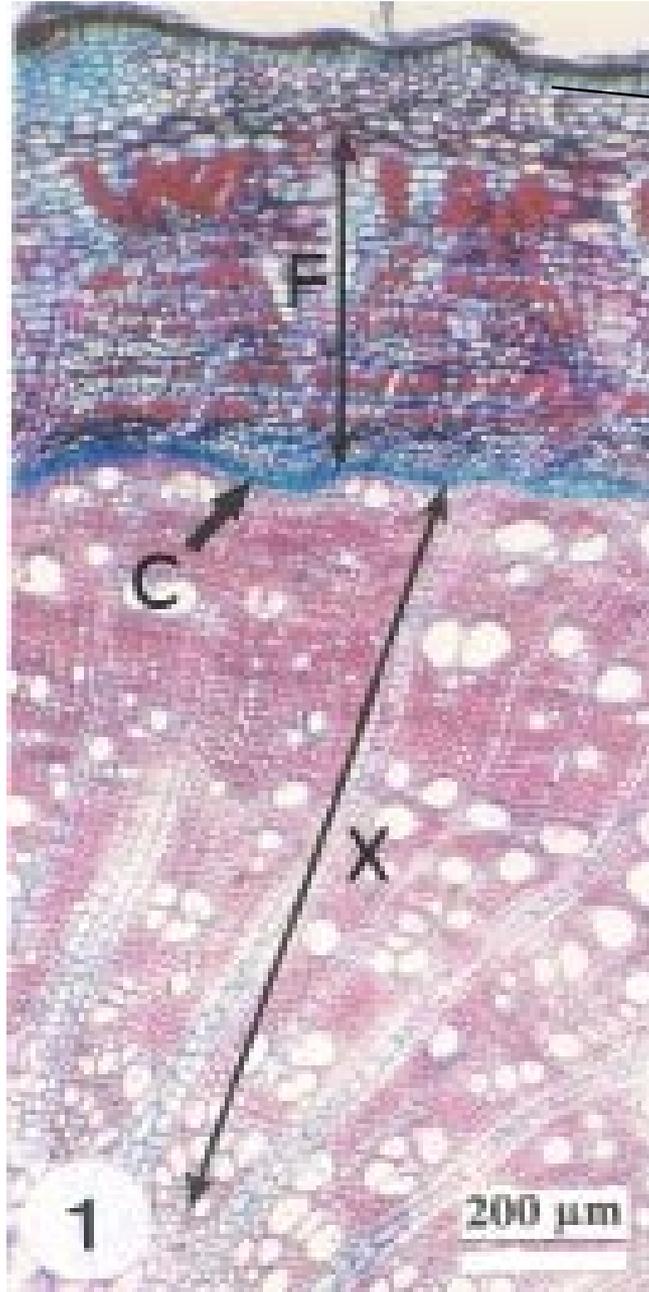


Periderme
(cicatrização)

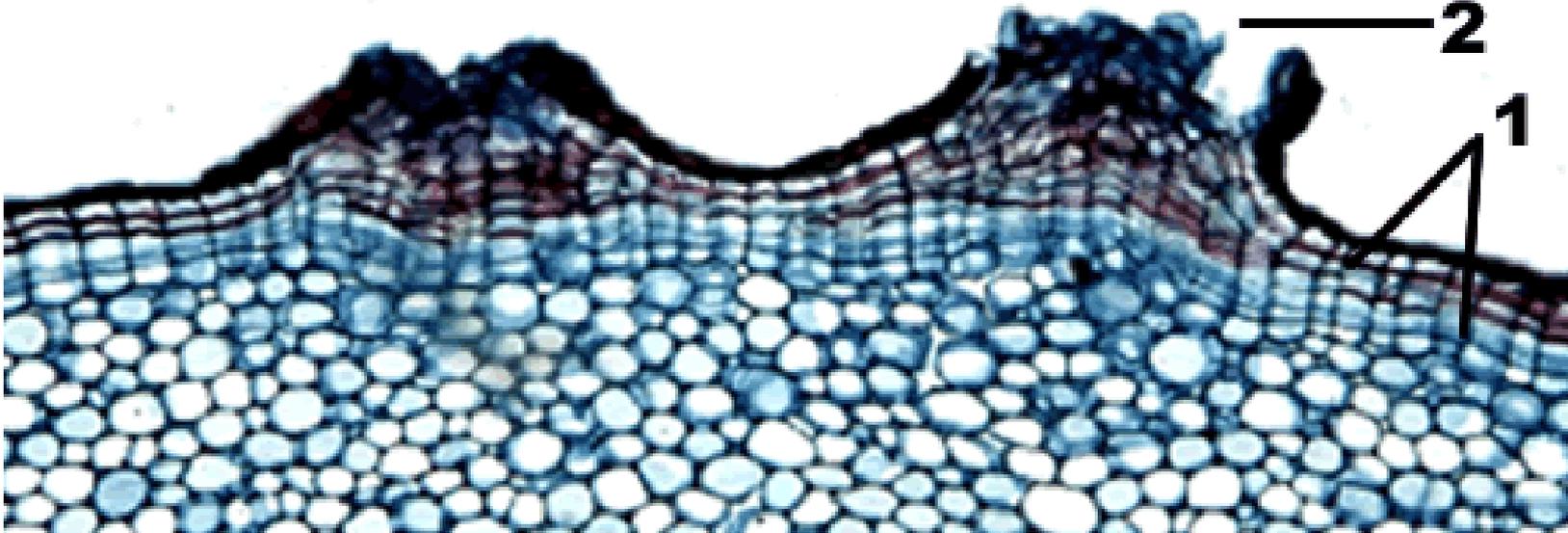
Casca

Casca

X- xilema
C-câmbio
F-floema



Periderme

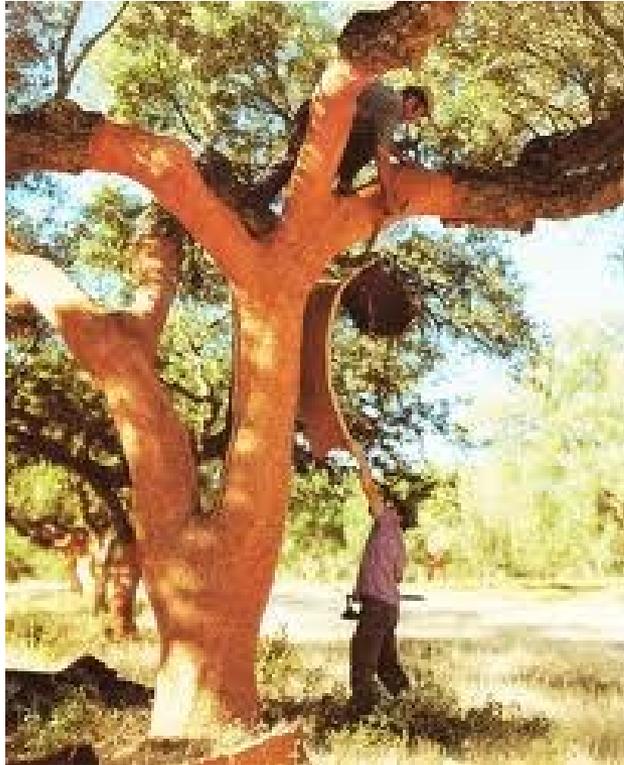


- 1- Periderme: súber; felogênio; e feloderme
- 2- Lenticela

Tecido de proteção e de cicatrização

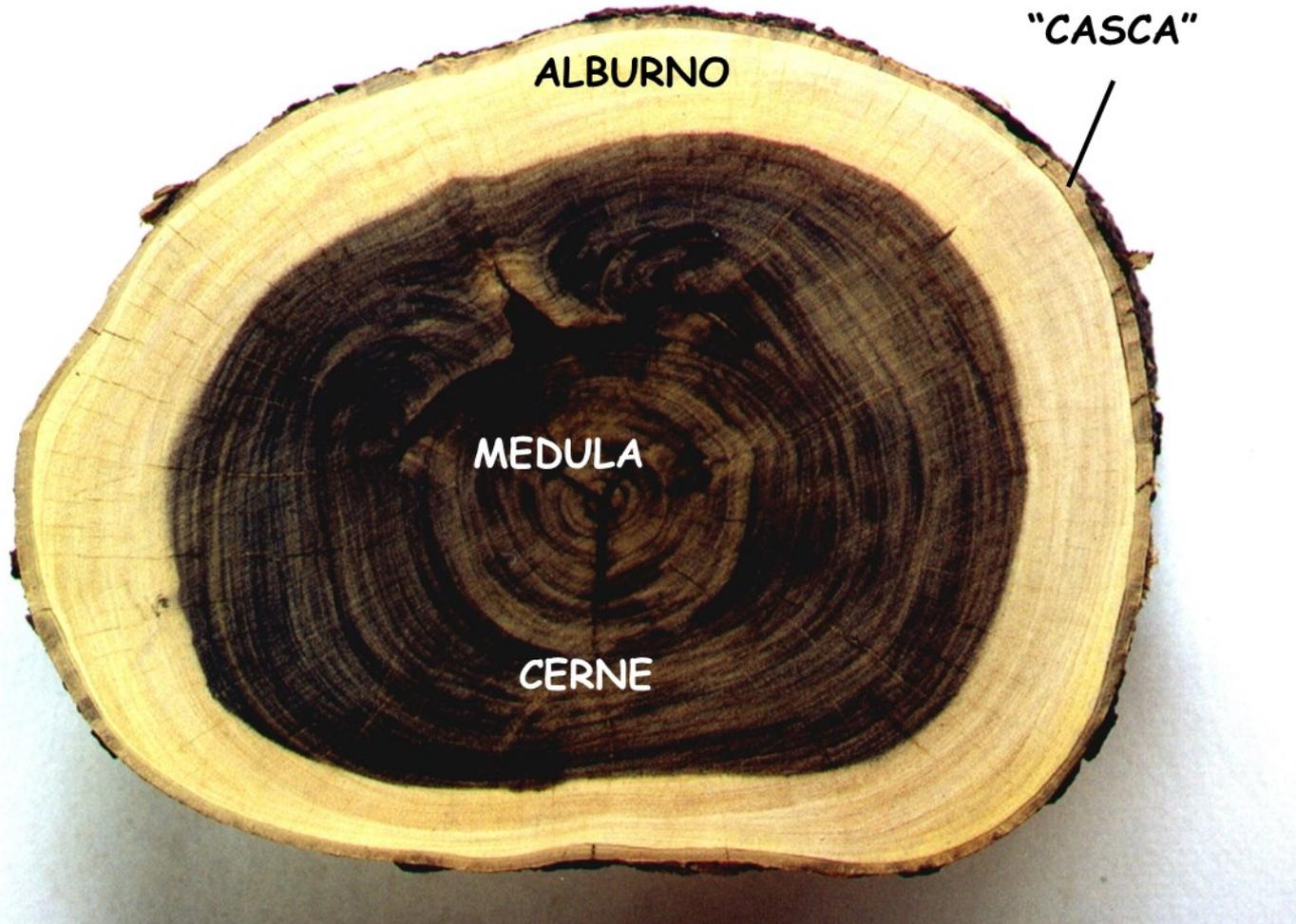


Ritidoma

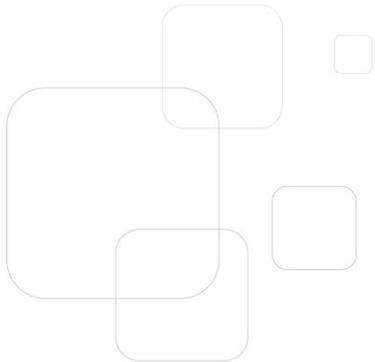
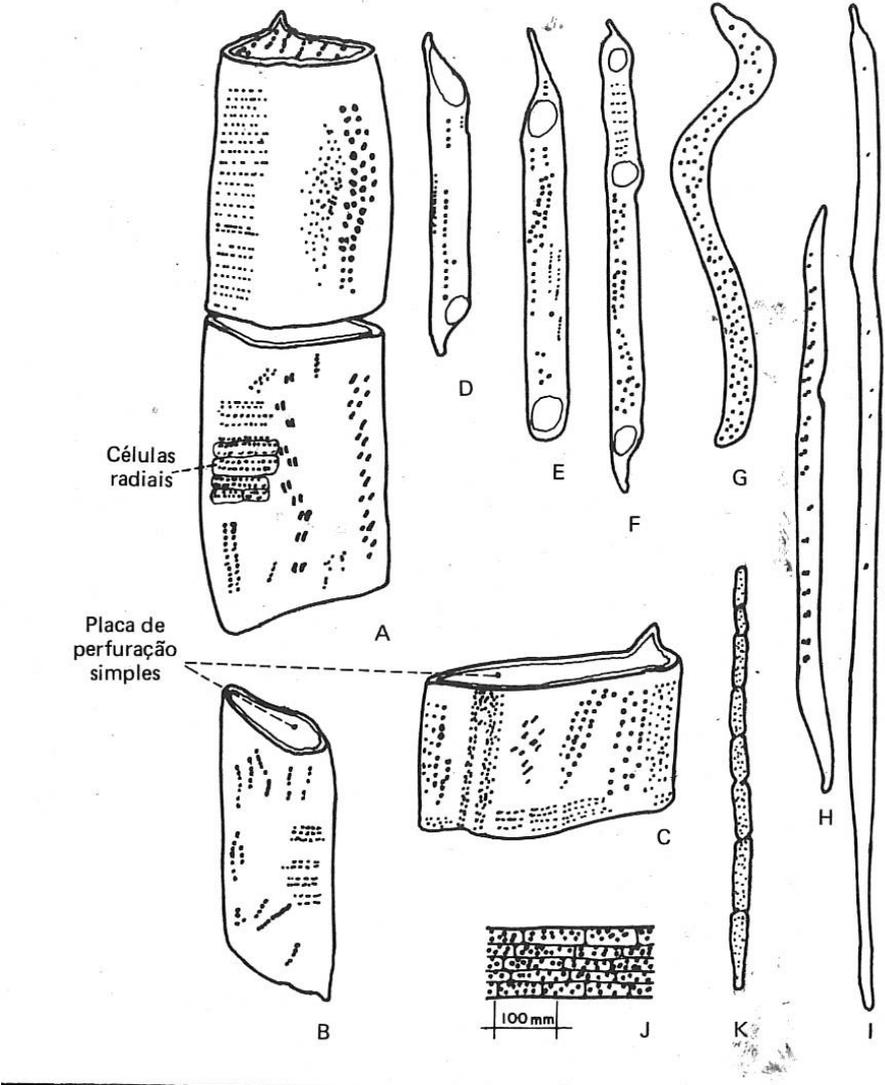


Sobreiro – *Quercus suber*

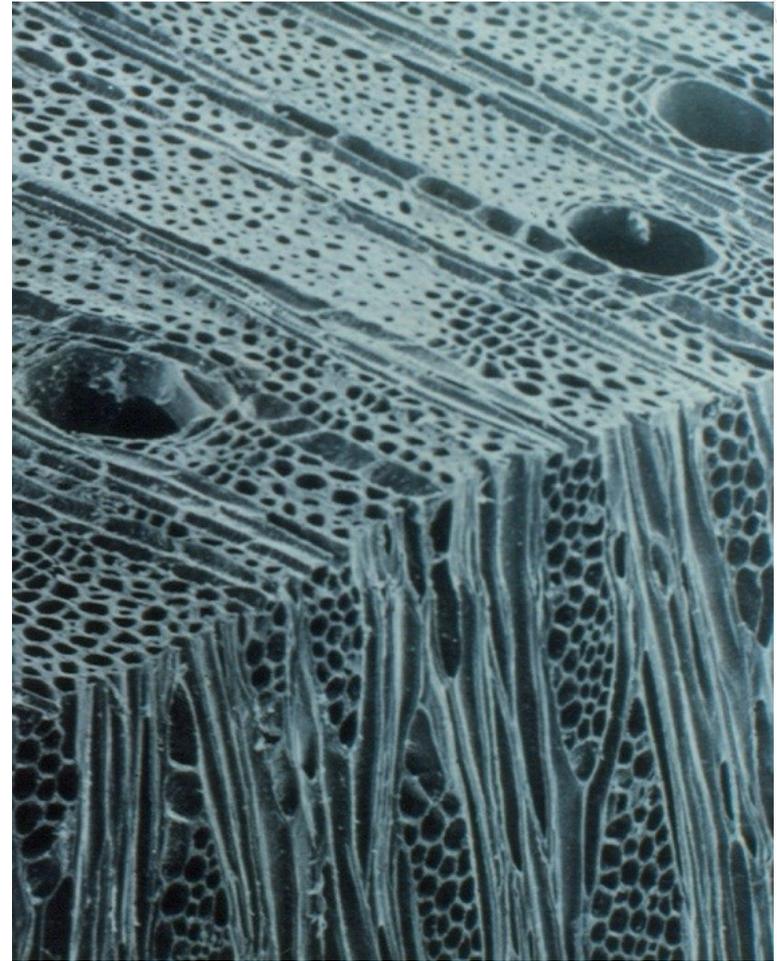
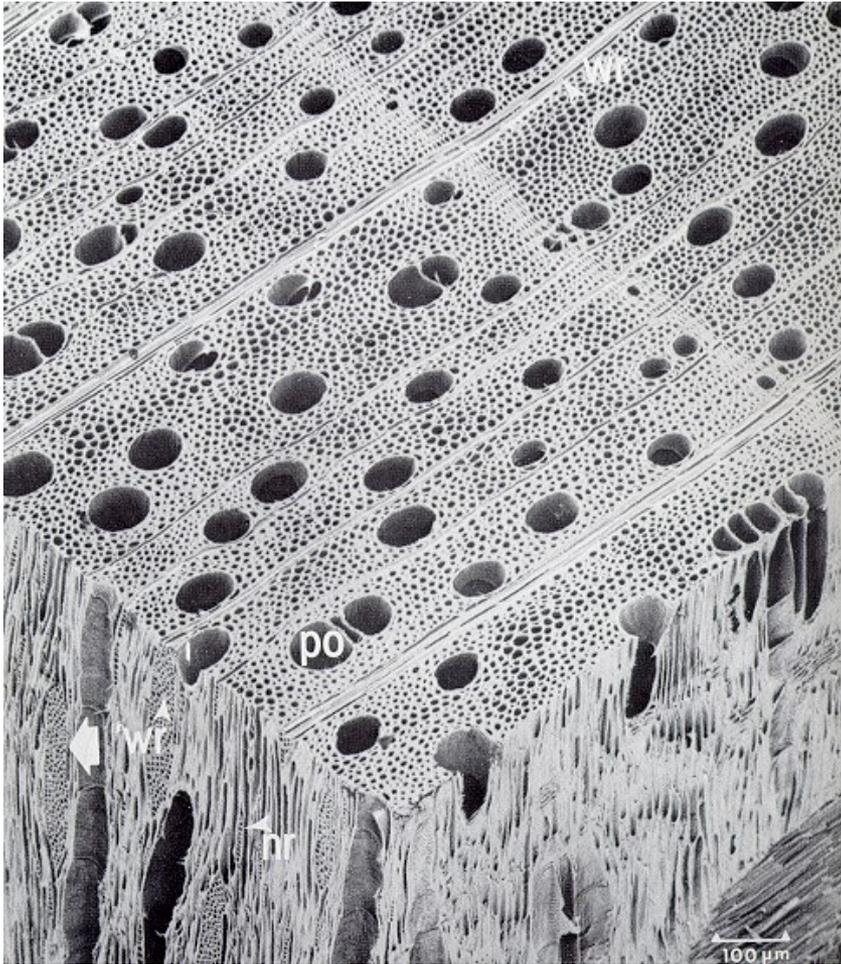
Lenho das Folhosas (xilema)



Anatomia das folhosas



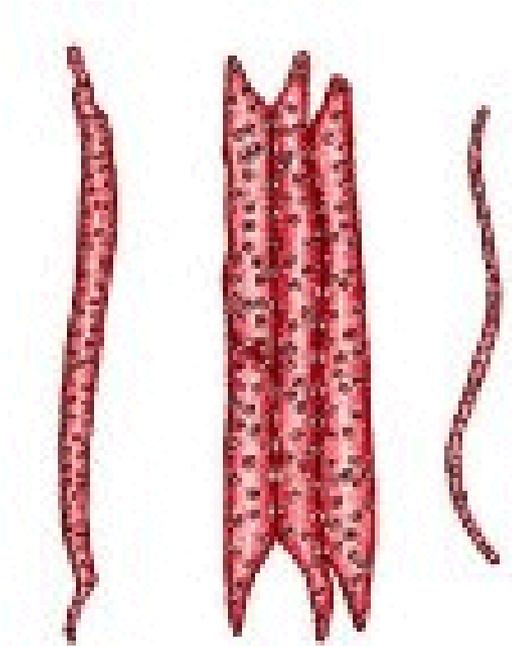
Lenho das Folhosas - Secções



Lenho de Conífera (xilema)

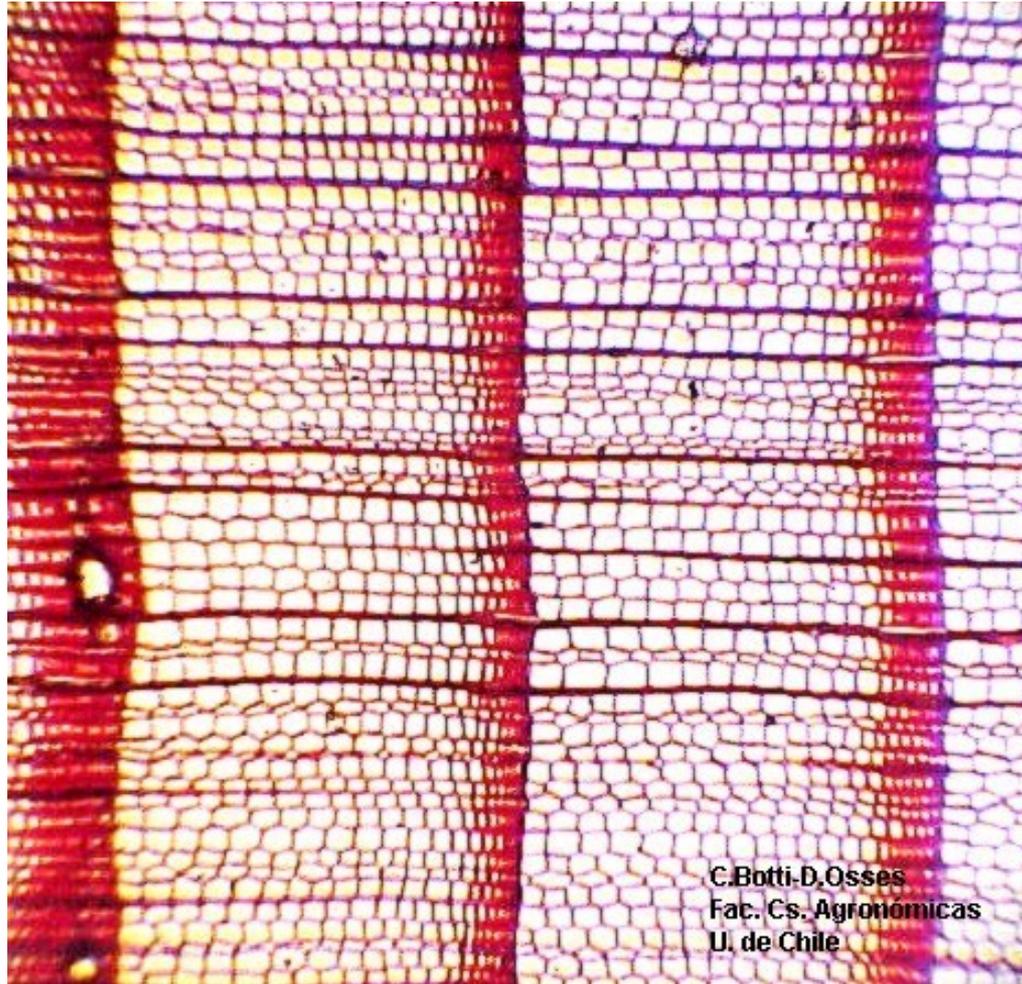


Anatomia das Coníferas - traqueídes



Lenho de Conífera (xilema)

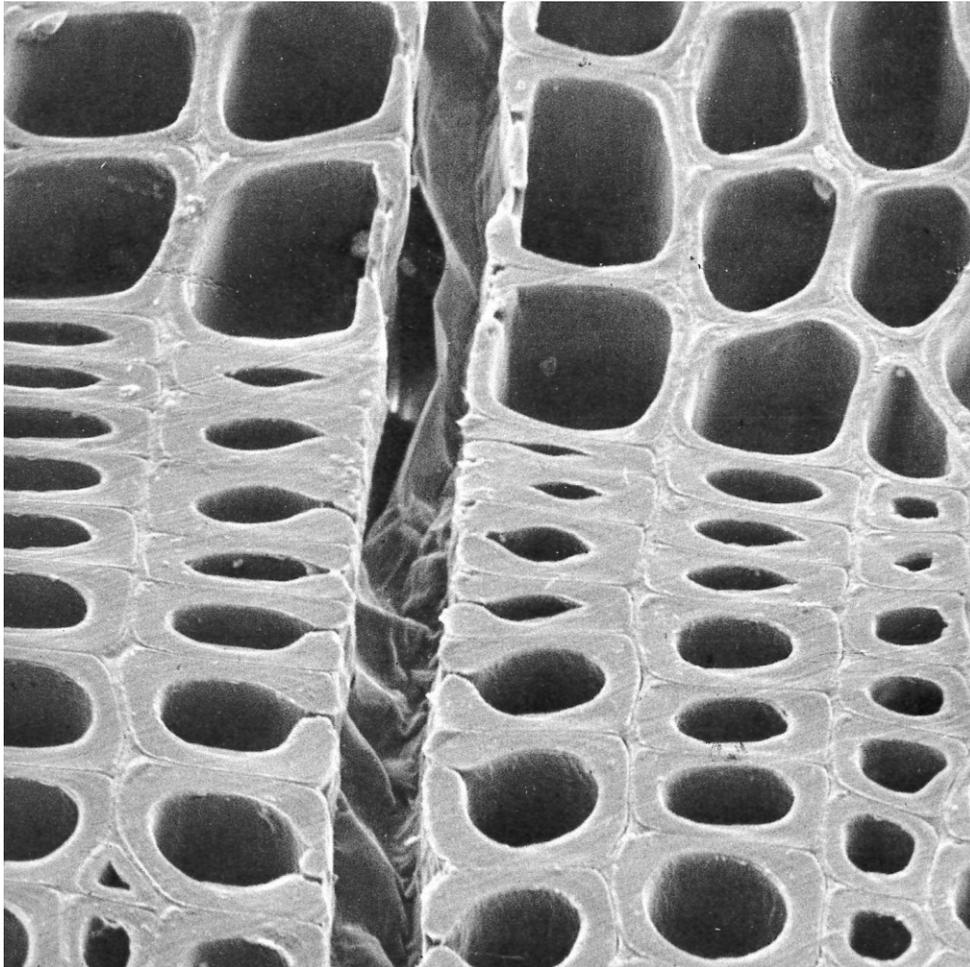
Lenho tardio (outonal) e inicial (primaveril)



Transversal

Lenho de Conífera (xilema)

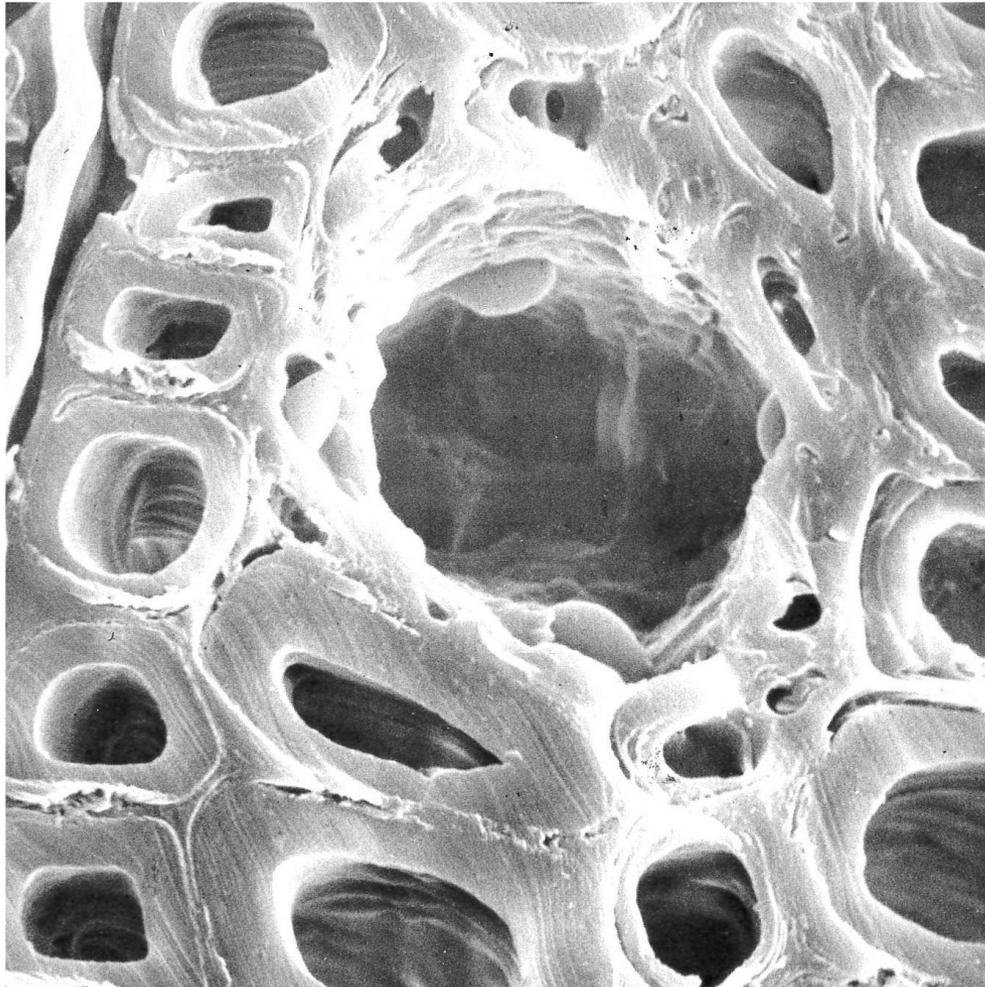
Lenho tardio (outonal) e inicial (primaveril)



Transversal

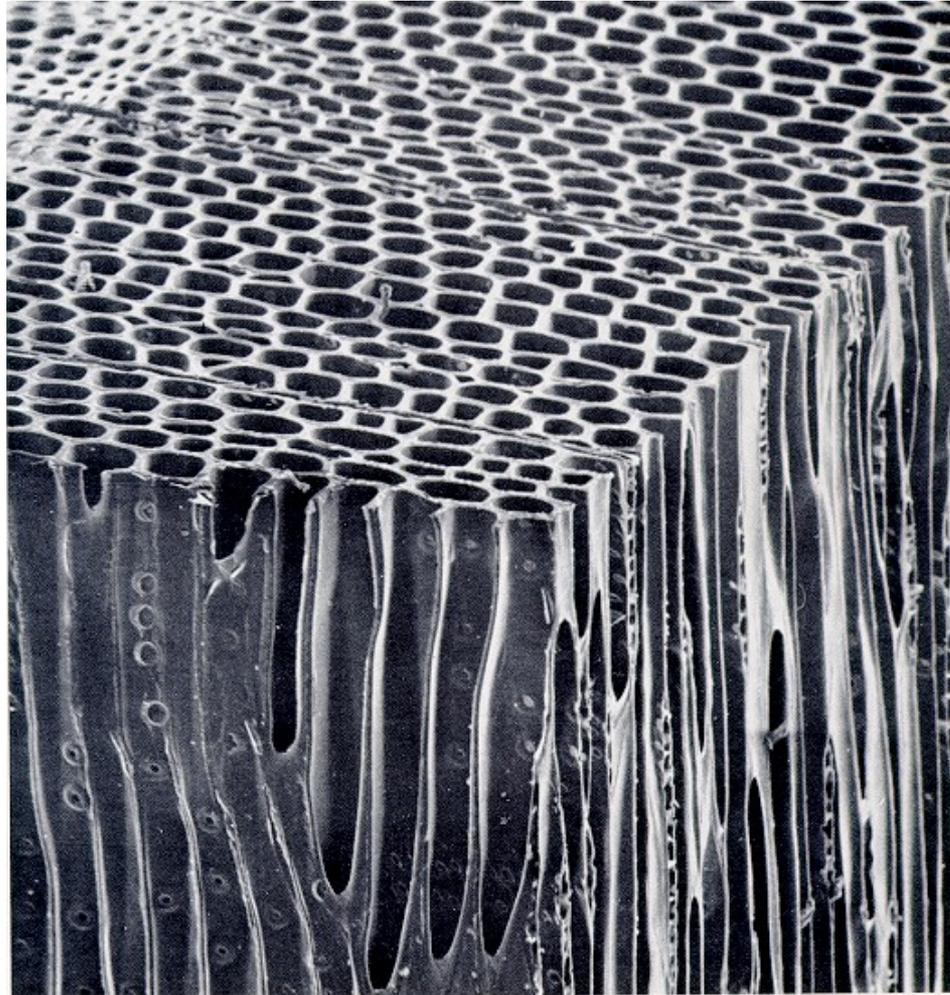
Lenho de Conífera (xilema)

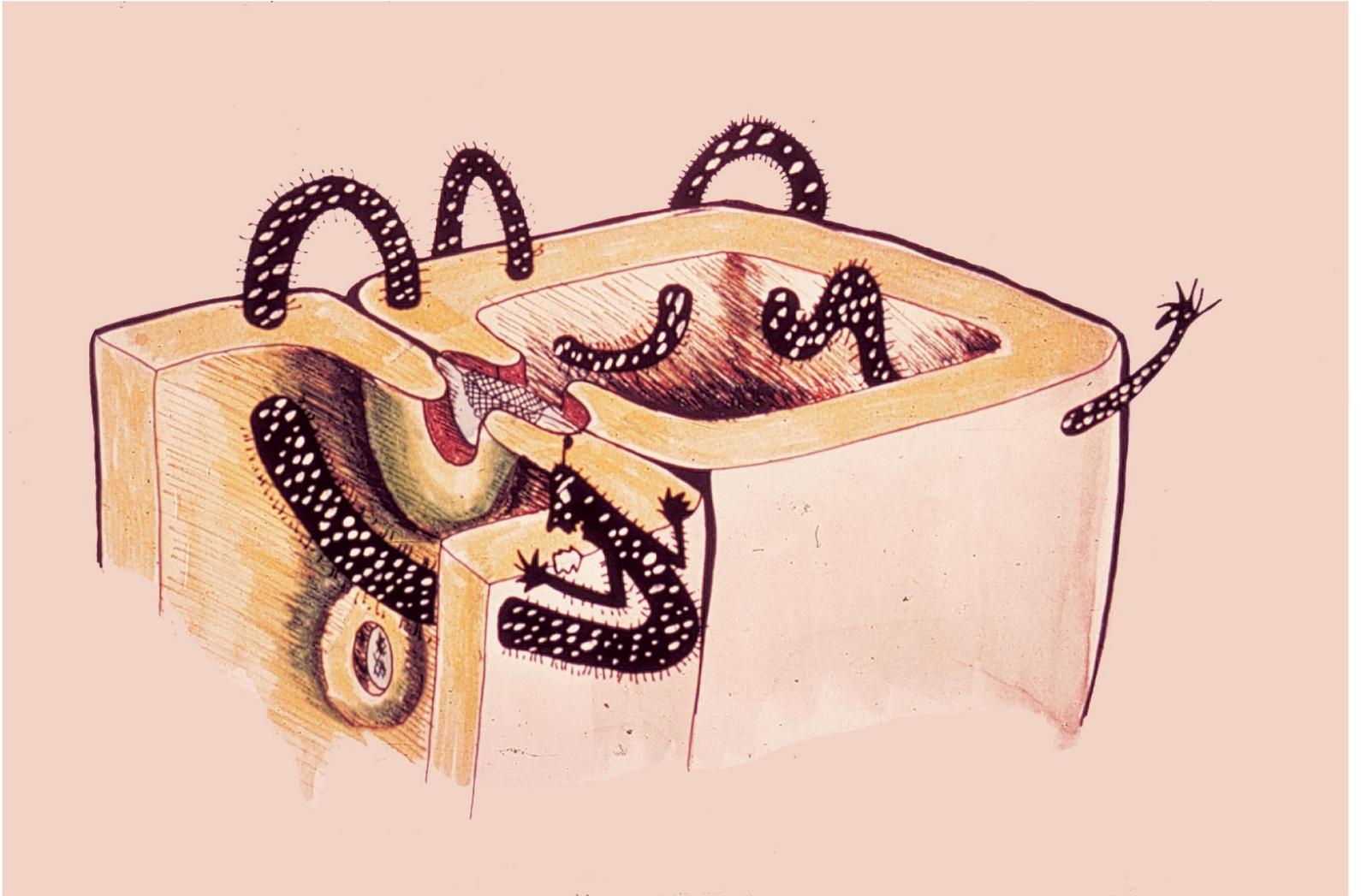
Canal de resina



Transversal

Lenho das Coníferas - Seções







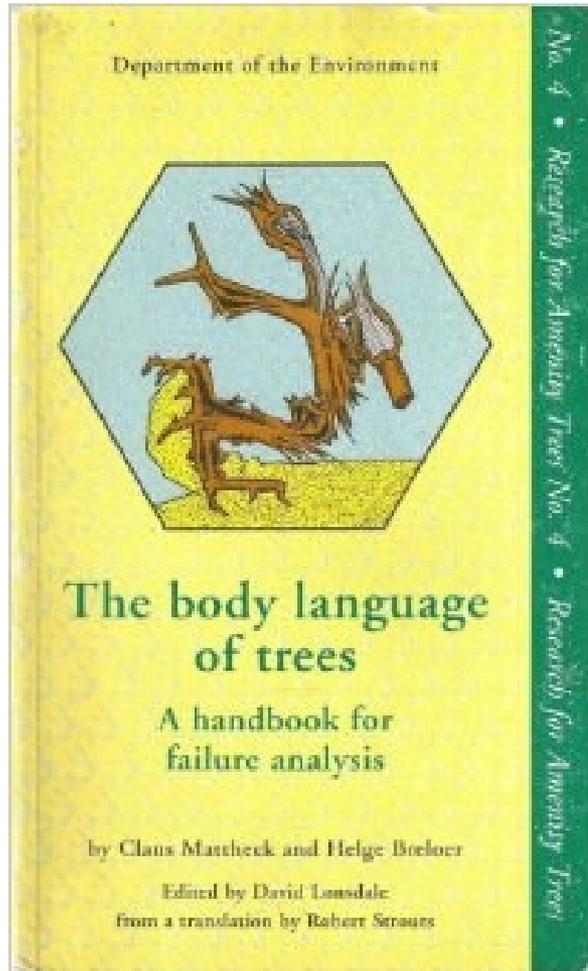
Sérgio Brazolin
11 3767-4951
brazolin@ipt.br



Biomecânica de Árvores



Biomecânica de Árvores



C. Mattheck

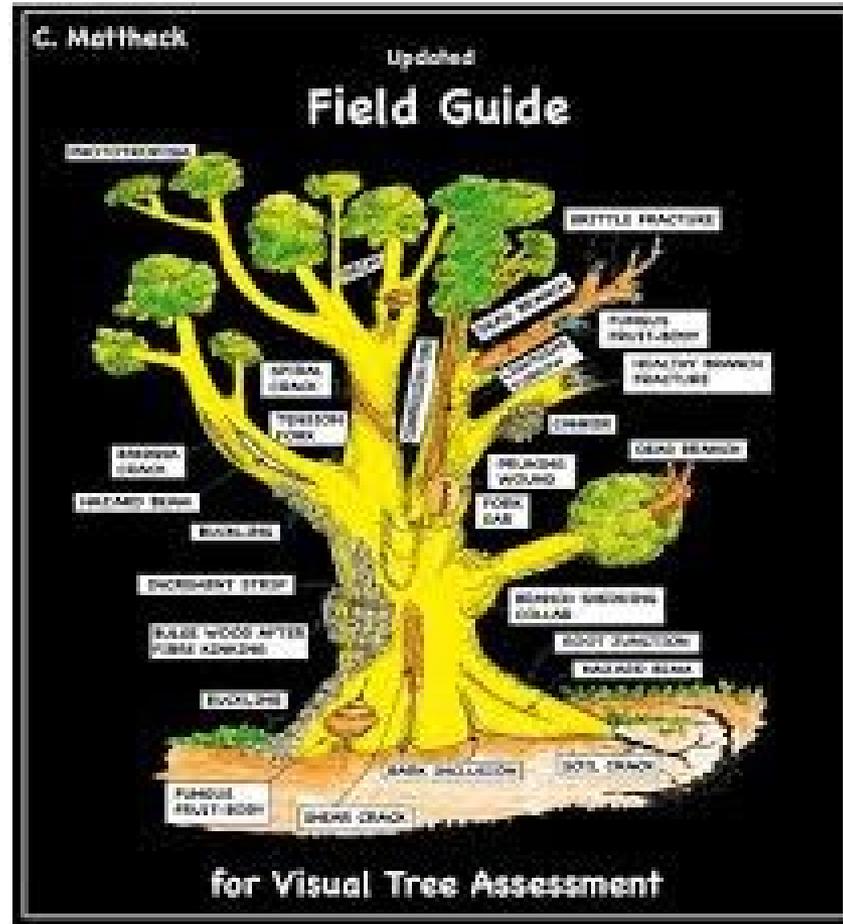
K. Bethge K. Weber

The Body Language of Trees

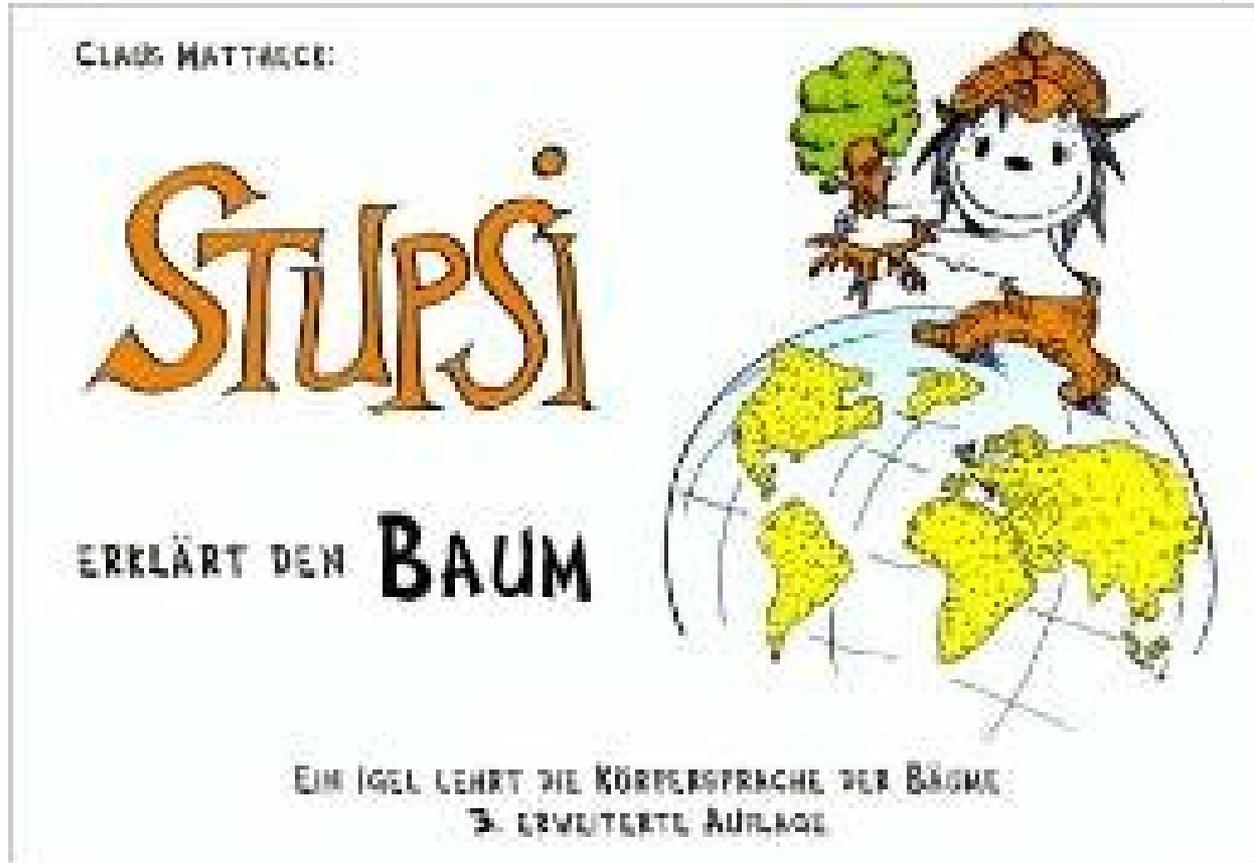


Encyclopedia of Visual Tree Assessment

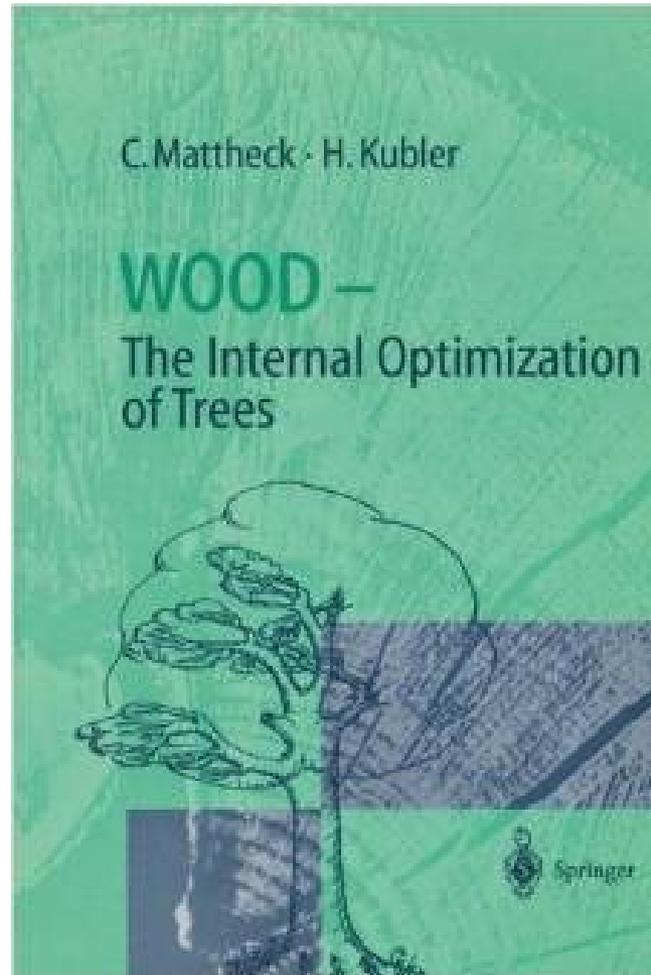
Biomecânica de Árvores



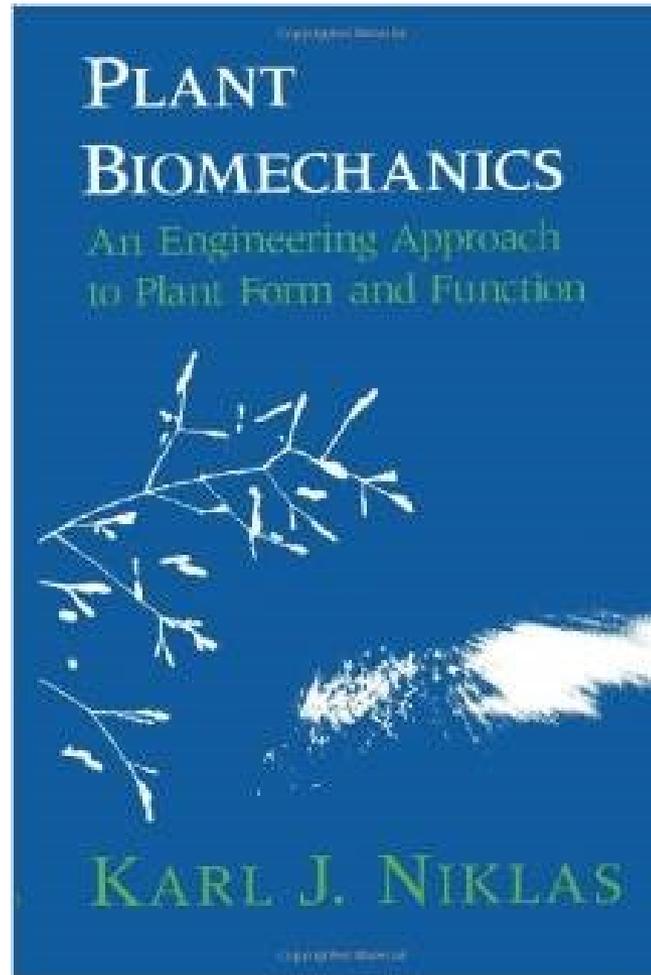
Biomecânica de Árvores

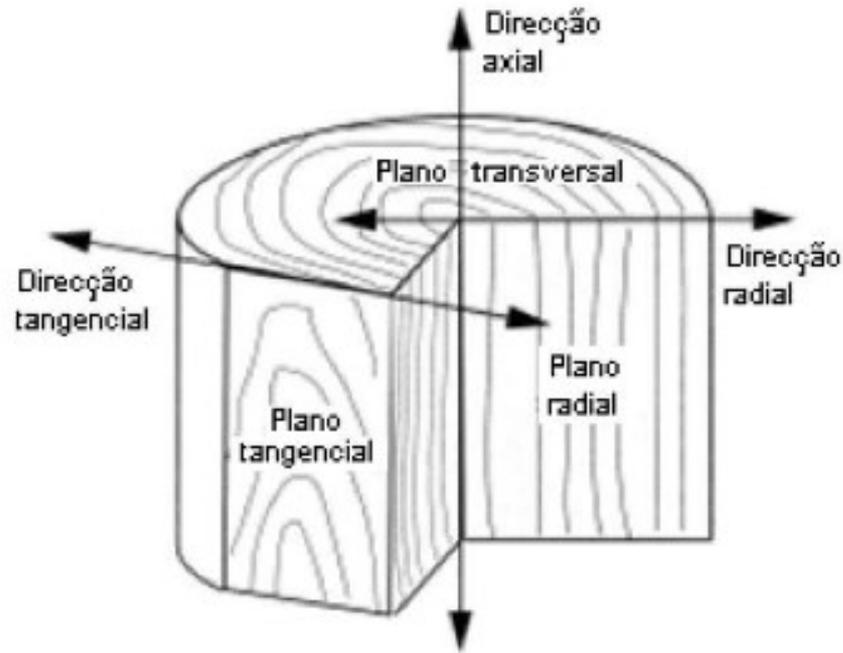


Biomecânica de Árvores



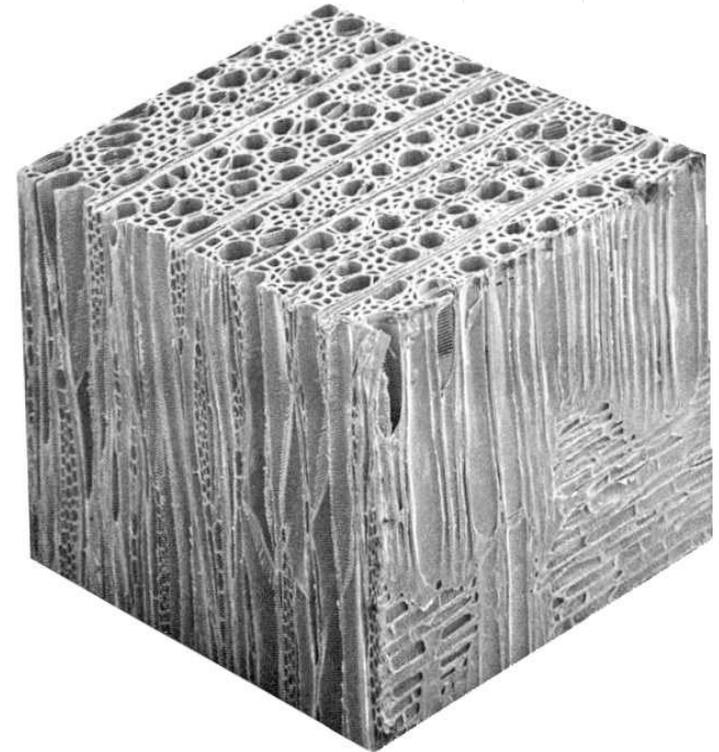
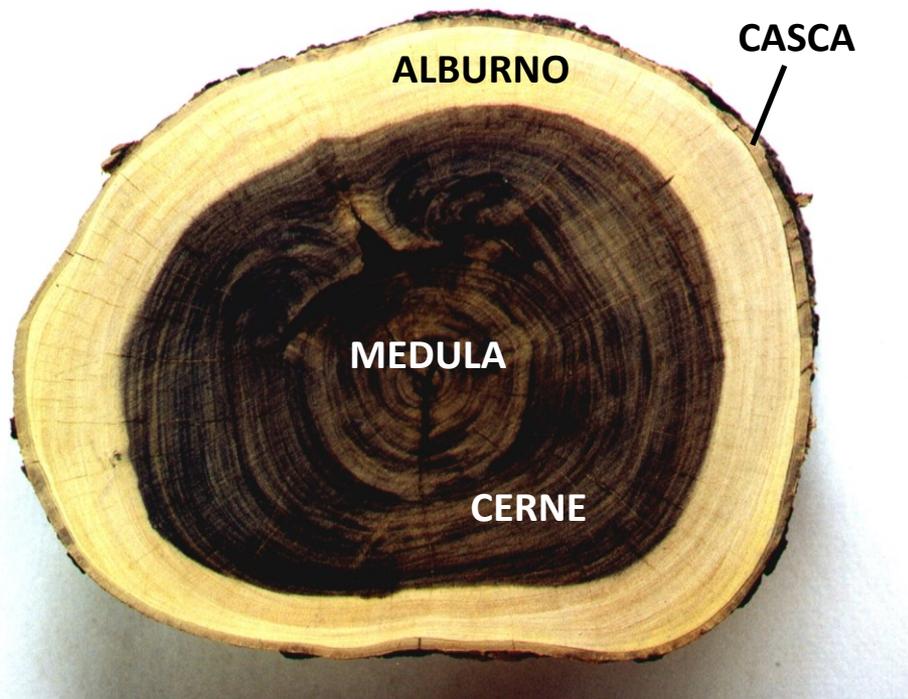
Biomecânica de Árvores



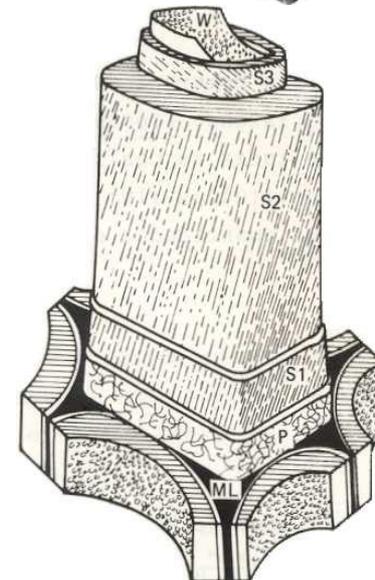


PROPRIEDADES FÍSICAS, MECÂNICAS E ELÁSTICAS DA MADEIRA

Madeira

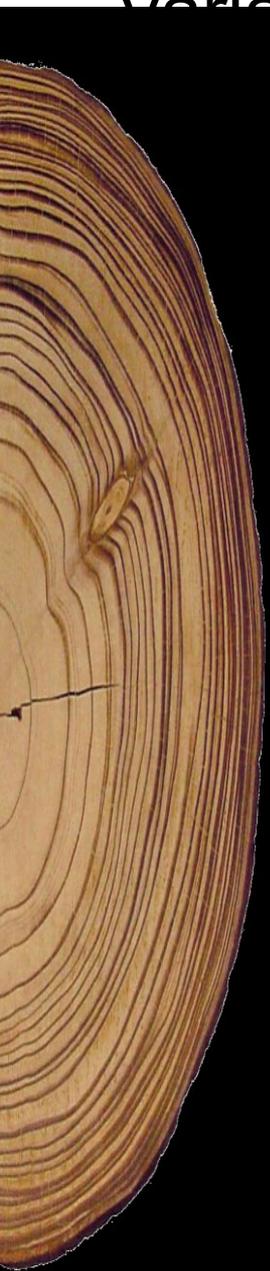


- **Substâncias de fácil assimilação:**
 - açucares, subs. de reserva, lipídeos...
- **Parede celular:**
 - **celulose; hemiceluloses; lignina**



Variação inter-específica

- Informações sobre madeiras
 - http://www.ipt.br/consultas_online/informacoes_sobre_madeira/busca



BALSA



AROEIRA

Variação intra-específica



•Variação medula-casca



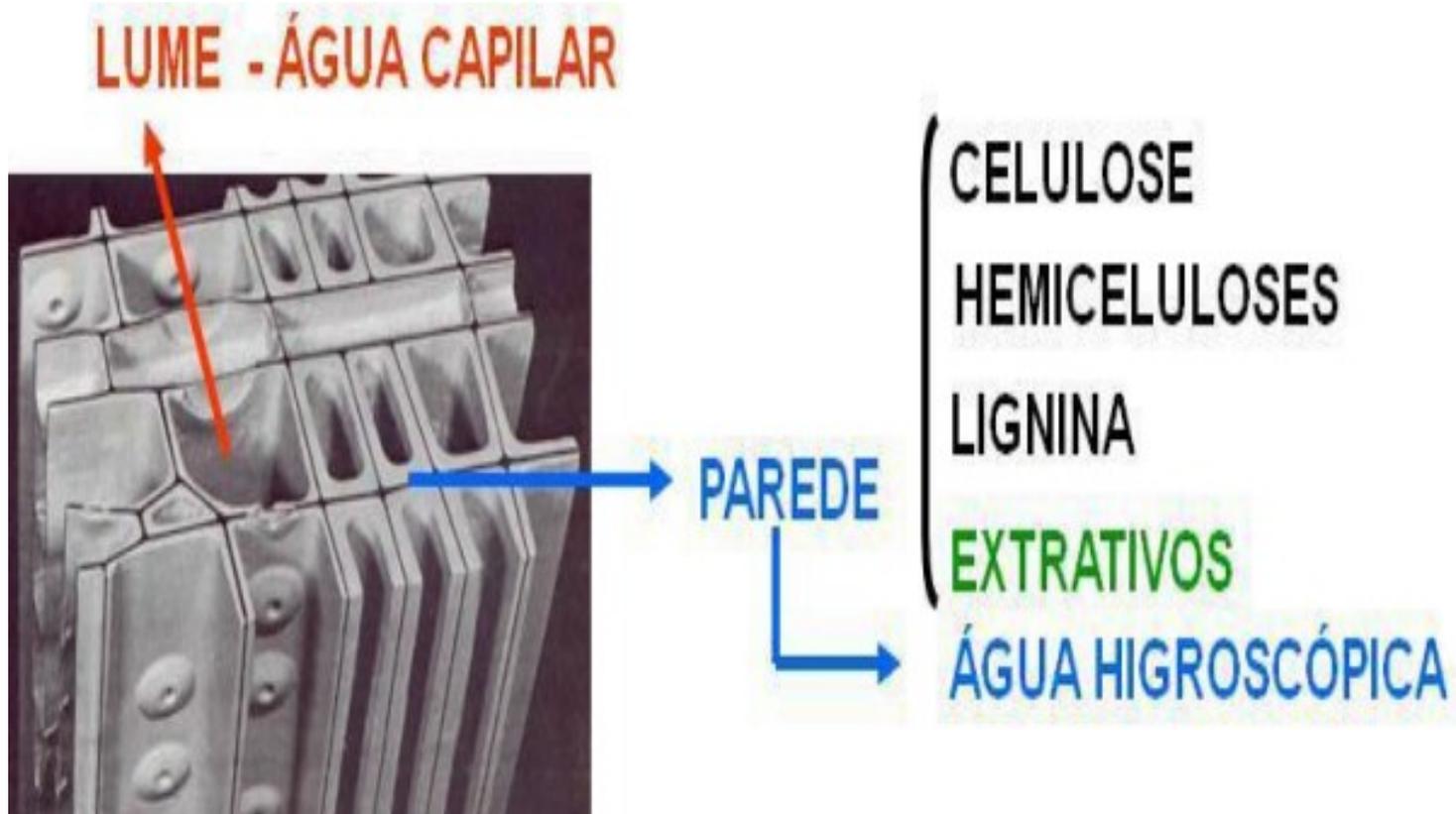
•Variação base topo

Propriedades físicas da madeira



Umidade

- Água livre ou capilar
- Água de adsorção ou higroscópica
- Água de constituição



Propriedades físicas da madeira



Densidade de massa (g/cm³)

- Propriedade fundamental na definição de aplicações
- Forte relação com a água
 - Densidade aparente
 - Densidade básica

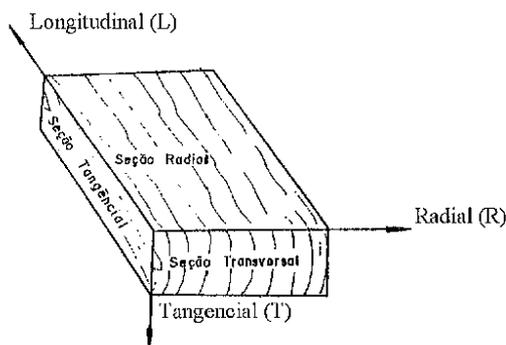
$$\rho_{12\%} = m_{12\%} \div V_{12\%}$$

$$\rho_b = m_{0\%} \div V_{\text{verde}}$$

Propriedades Físicas

Variação dimensional (**anisotropia**)

Caracterizada pelas propriedades de **inchamento** e **retração**



% de retração (Galvão e Jankowski, 1985)

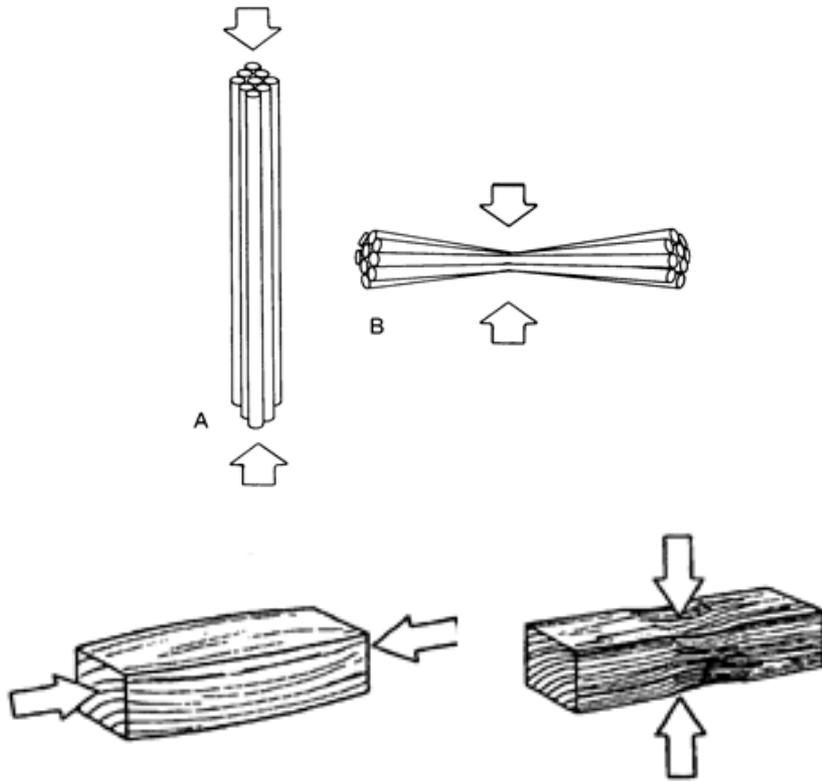
Direção	Retração Total (%)
Longitudinal (L)	0,1 a 0,9
Radial (R)	2,4 a 11,0
Tangencial (T)	3,5 a 15,0
Volumétrica (V)	6,0 a 27,0

Variação dimensional de algumas espécies de madeira brasileiras

Espécie	R (%)	T (%)	Relação T/R
Angelim Pedra	4,3	7,0	1,6
Cambará	3,6	8,7	2,4
Castanheira	4,7	9,4	2,0
Cedro	4,0	5,3	1,3
Cupiúba	4,3	7,1	1,7
Eucalipto Citriodora	6,5	9,6	1,5
Eucalipto Tereticornis	7,3	16,7	2,3
Freijó	6,3	11,7	1,9
Goiabão	8,9	18,8	2,1
Ipê	5,1	7,8	1,5
Jatobá	3,6	6,9	1,9
Louro Preto	4,2	8,0	1,9
Mandioqueira	4,7	9,3	2,0
Mogno	3,0	4,1	1,4
Sucupira	5,9	7,3	1,2
Tatajuba	4,1	5,9	1,4

Propriedades mecânicas da madeira

■ Compressão

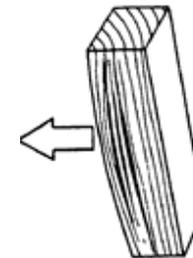


Axial e normal

■ Tração

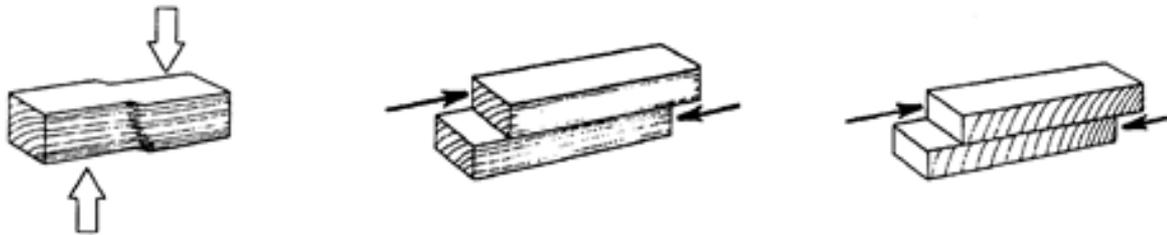


Paralela e perpendicular

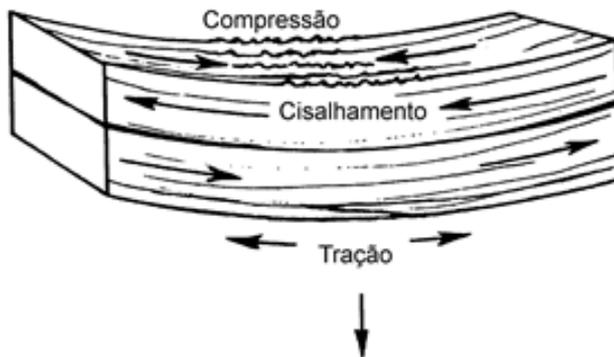


Propriedades mecânicas da madeira

- Cisalhamento (Horizontal e Rolling)



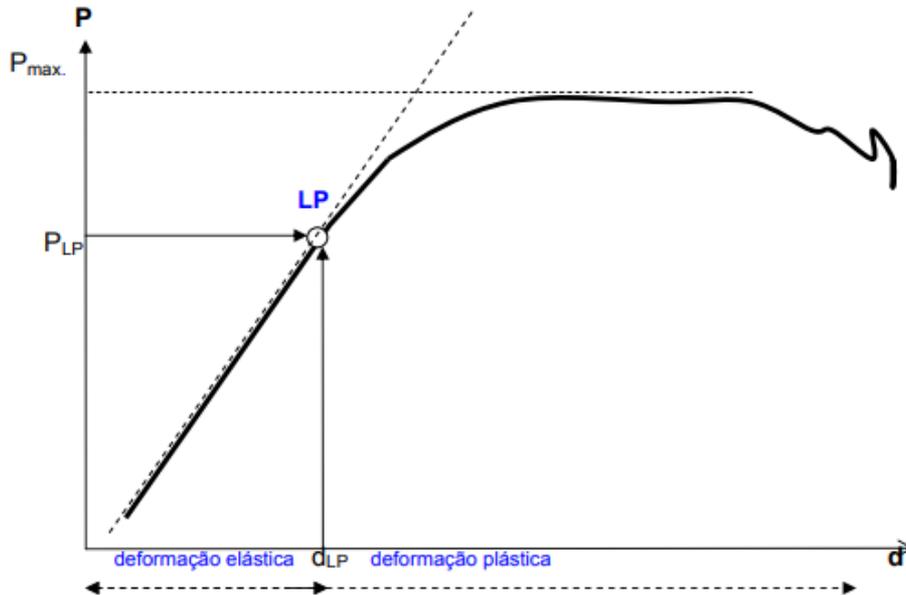
- Flexão simples



- Torção

- Resistência ao impacto

Propriedades elásticas



Módulo de elasticidade (E)

Valor teórico

Maior E; maior resistência

Maior E; menor deformidade

Lei de Hooke

LP – Limite de proporcionalidade

NOME COMUM	NOME BOTÂNICO	σ_r max (kg/cm ²)	E_r (Kg/cm ²)	E_c (Kg/cm ²)
Pau marfim	<i>Balfarodendrum riedelianium</i>	1.450	118.000	140.000
Ipê	<i>Tecoma spp.</i>	1.300	130.000	160.000
Peroba rosa	<i>Aspidosperma sp</i>	1.050	95.000	115.000
Bracatinga	<i>Mimosa scabrella</i>	1.000	130.000	140.000
Virola	<i>Virola bicuyba</i>	800	95.000	125.000
Imbuia	<i>Ocotea porosa</i>	900	80.000	90.000
Pinheiro	<i>Araucaria angustifolia</i>	850	110.000	130.000
Cedro	<i>Cedrella fissilis</i>	800	80.000	100.000
Baguaçu	<i>Talauma ovata</i>	600	80.000	100.000
Guapuruvu	<i>Schizolobium parahybum</i>	430	50.000	57.000

P_r max: carga máxima aplicada no ensaio de flexão estática; E_r : módulo de elasticidade determinado por meio de ensaio de flexão estática e; E_c : módulo de elasticidade determinado por meio de ensaio de compressão axial.



Vento e as árvores

Ação do Vento

Escala de Beaufort

Grau	Designação	km/h	Efeitos em terra
0	Calmo	<1	Fumaça sobe na vertical
1	Aragem	1 a 5	Fumaça indica direcção do vento
2	Brisa leve	6 a 11	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	Brisa fraca	12 a 19	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	Brisa moderada	20 a 28	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	Brisa forte	29 a 38	Movimentação de grandes galhos e árvores pequenas
6	Vento fresco	39 a 49	Movem-se os ramos das árvores; dificuldade em manter um guarda chuva aberto; assobio em fios de postes
7	Vento forte	50 a 61	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	Ventania	62 a 74	Quebram-se galhos de árvores; dificuldade em andar contra o vento; barcos permanecem nos portos
9	Ventania forte	75 a 88	Danos em árvores e pequenas construções; impossível andar contra o vento
10	Tempestade	89 a 102	Árvores arrancadas; danos estruturais em construções
11	Tempestade violenta	103 a 117	Estragos generalizados em construções
12	Furacão	>118	Estragos graves e generalizados em construções

Vento e Árvores

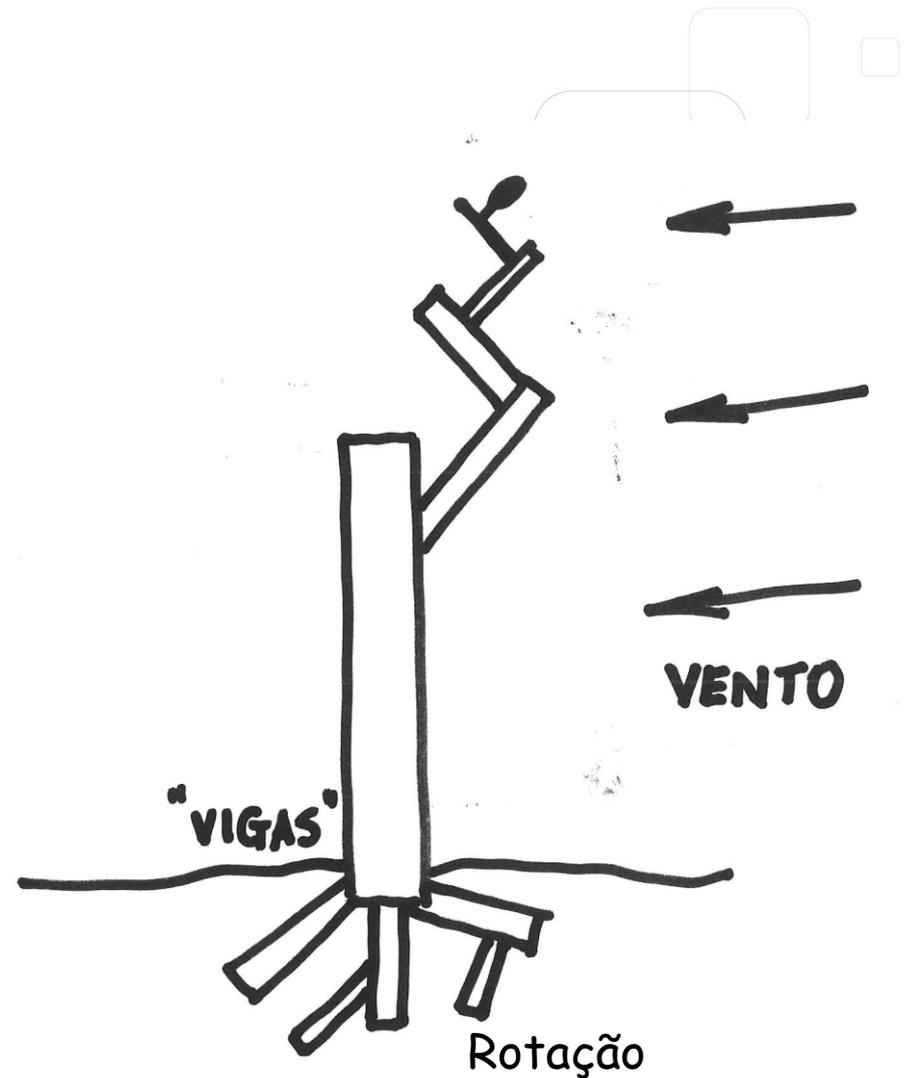
- Efeito Dinâmico
 - Rigidez
 - Inércia
 - Fenômeno de dissipação ou amortecimento



Efeito Dinâmico

Rigidez

- Propriedades Físicas e Mecânicas
 - Deflexões

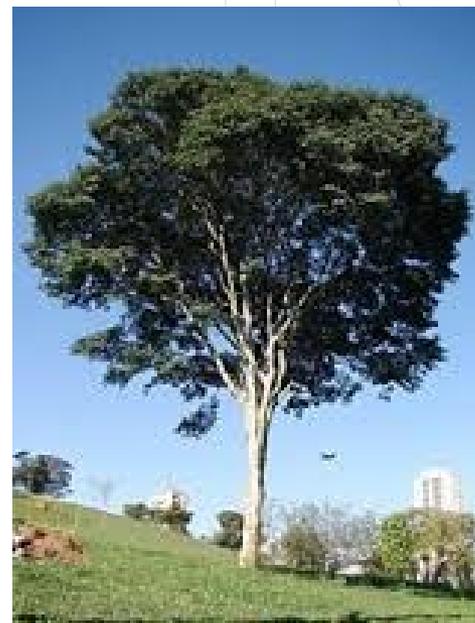


Efeito Dinâmico

Rigidez



Guapuruvu



Pau-ferro

Efeito Dinâmico

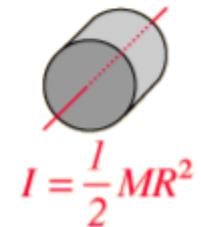
Inércia



Inércia: tendência de um corpo permanecer em movimento ou repouso

- Arquitetura e organização da árvore
 - Copa
 - Ramos
 - Tronco
 - Raízes (rotação)
 - Folhas (plátano – 70 % da massa)

Cilindro Sólido ou disco,
simetria com o eixo



Coeficiente de arrasto

- Resistência da árvore à ação do vento

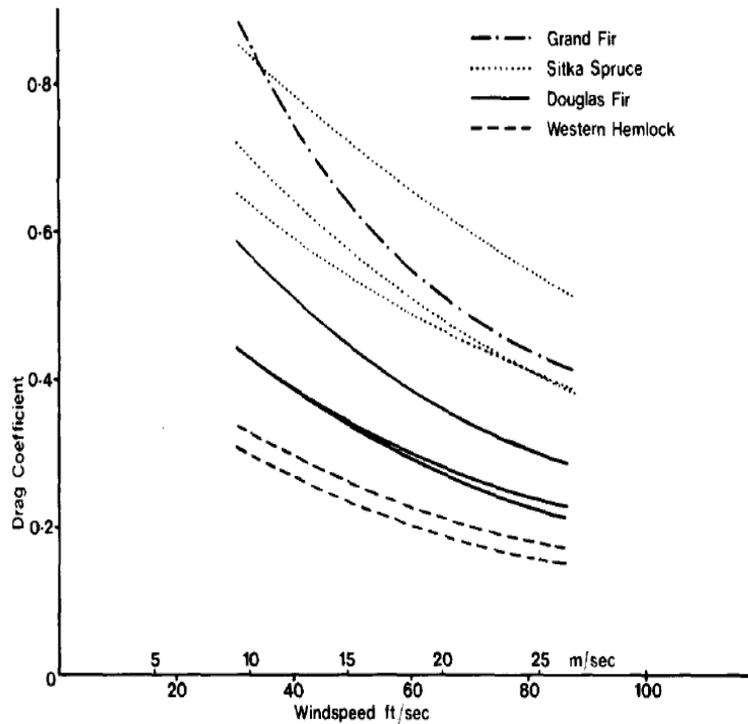


Fig.2. Drag coefficients in relation to windspeed.

Coeficiente de arraste

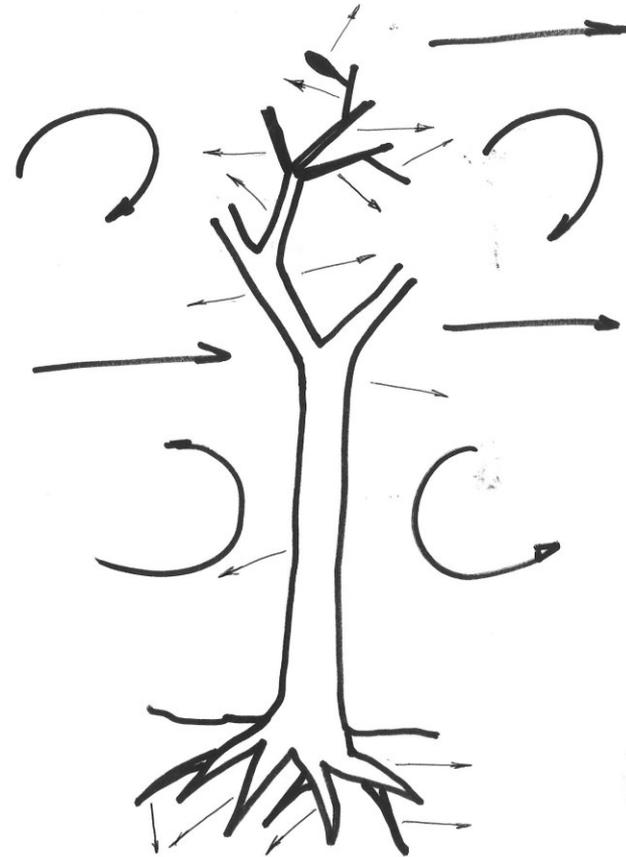
Deformation of different leaves by wind		
	Without wind	With wind →
Cherry <i>(Prunus avium)</i>		
Tulip tree <i>(Liriodendron tulipifera)</i>		
Norway maple <i>(Acer platanoides)</i>		
Horse chestnut <i>(Aesculus hippocastaneum)</i>		
Robinia <i>(Robinia pseudoacacia)</i>		
Black walnut <i>(Juglans nigra)</i>		

Experiments: Roland Kappel

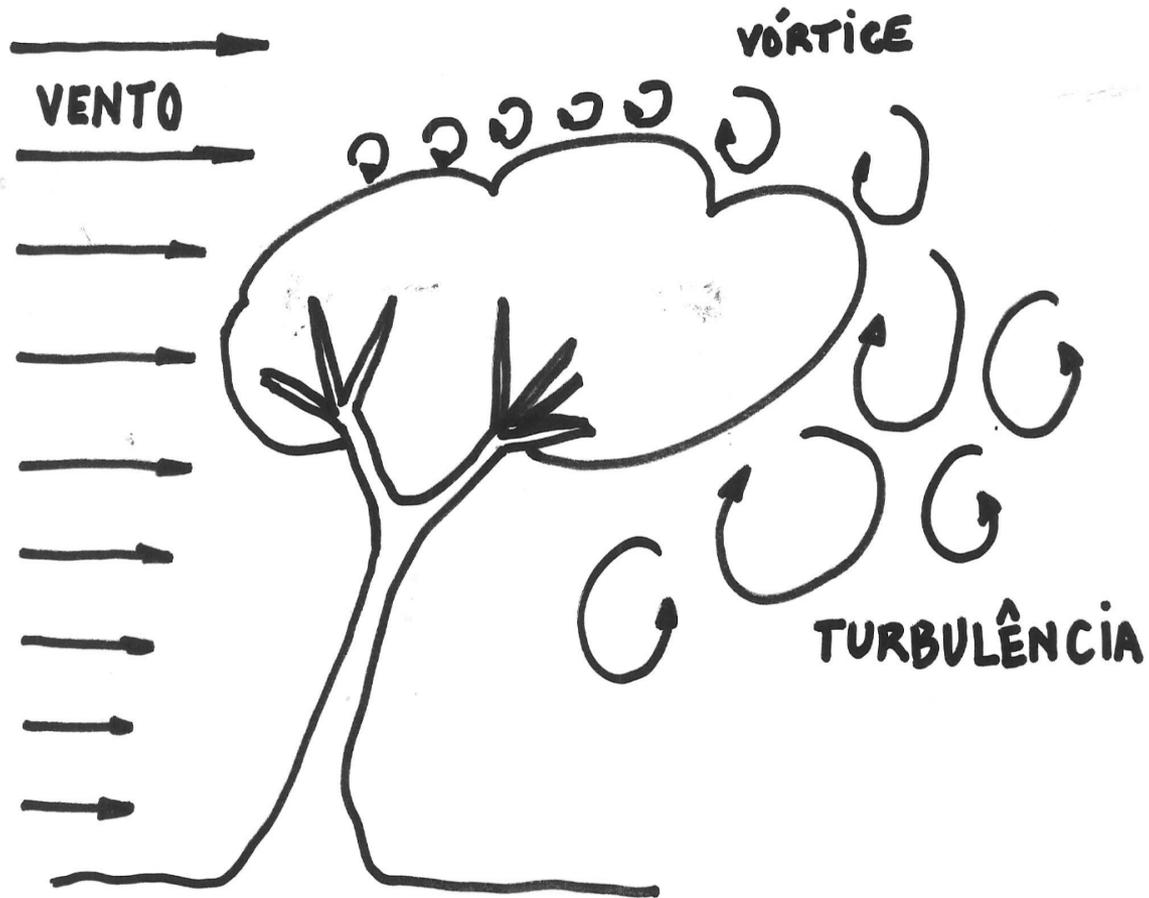
Efeito Dinâmico

Dissipação ou Amortecimento

- Frequência natural
 - Folha/Folha
 - Ramos/Folha
 - Ramos/ramos
 - Tronco/Ramos
 - Raiz/solo



Oscilação



Ressonância



Ação do vento

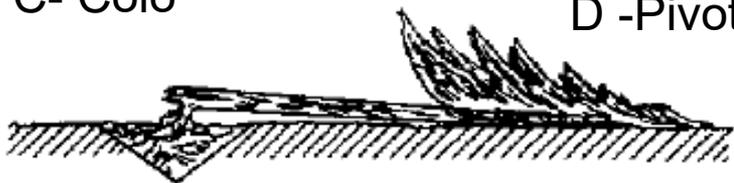
A - Ruptura tronco



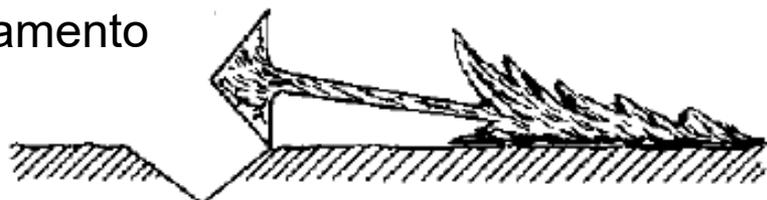
B - Ruptura raiz



C - Colo



D - Pivotamento



- A e C – rajadas muito forte de poucos segundos (solo seco)
- B e D – Oscilação/rajadas (relação com solo)

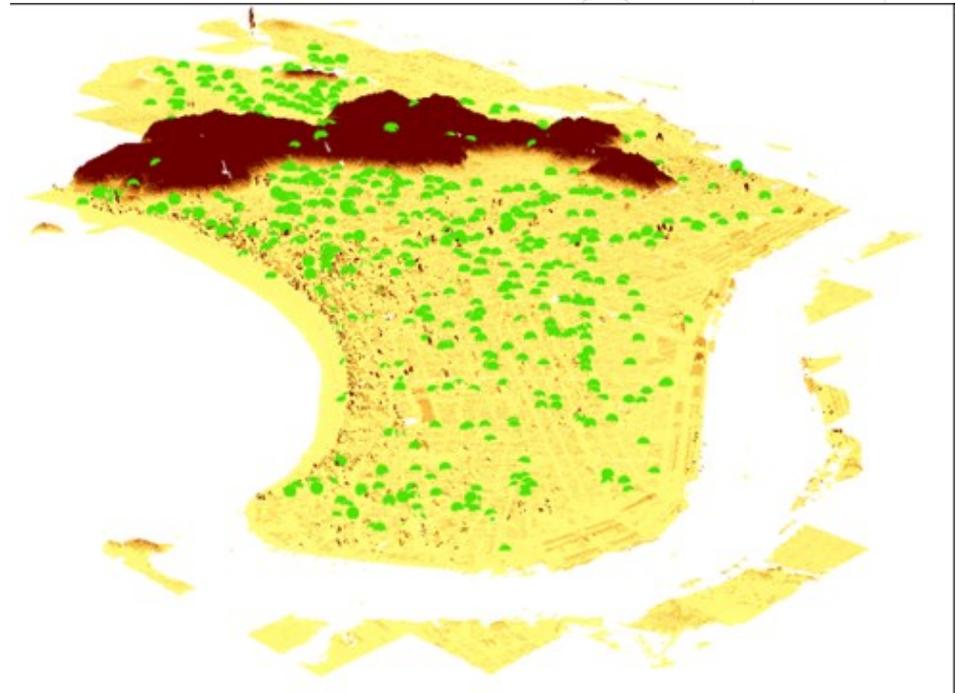
Vento e as Cidades



Vento e cidades



Fonte: Prata, A.R. 2006.



Santos, SP (Fonte: IPT, 2021)

Comportamento do galho isolado no túnel de vento





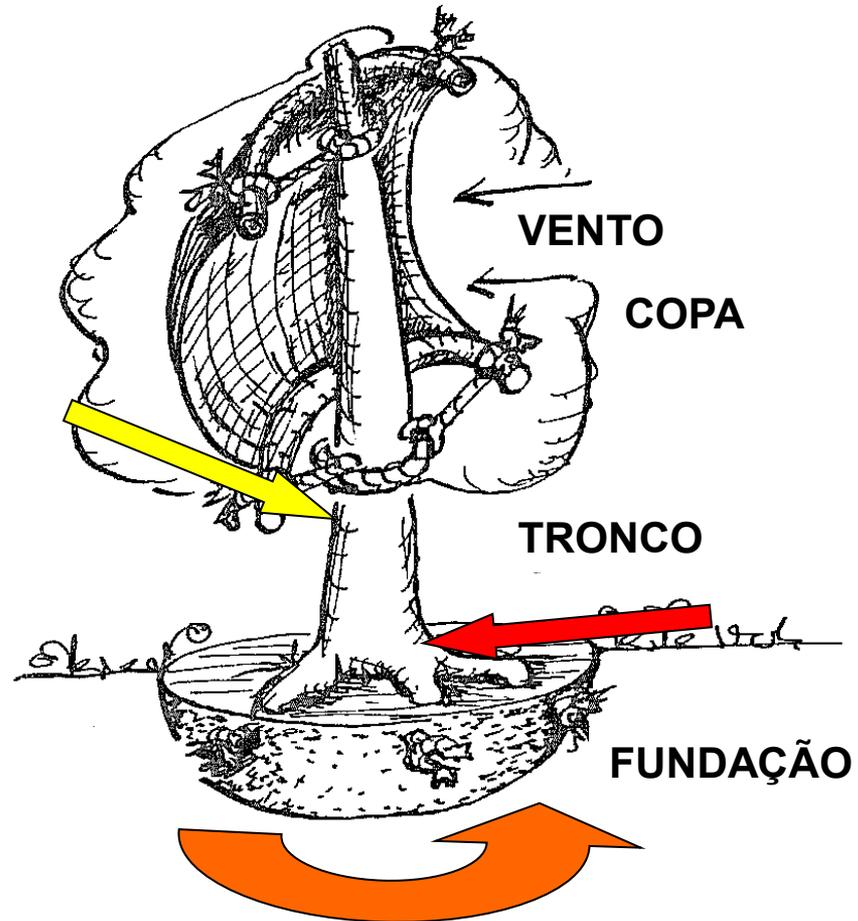
Biomecânica de Árvores

Tensões Internas e Esforços Externos

Biomecânica das Árvores

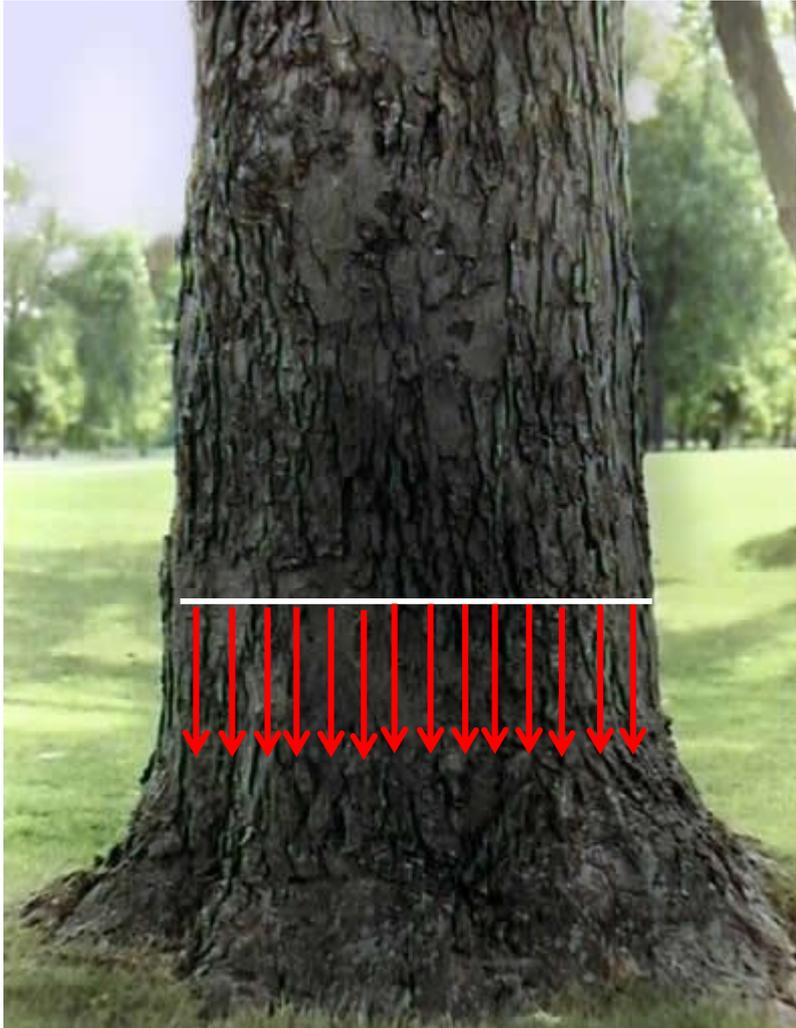
RUPTURA – QUEDA DA ÁRVORE

A árvore como uma estrutura



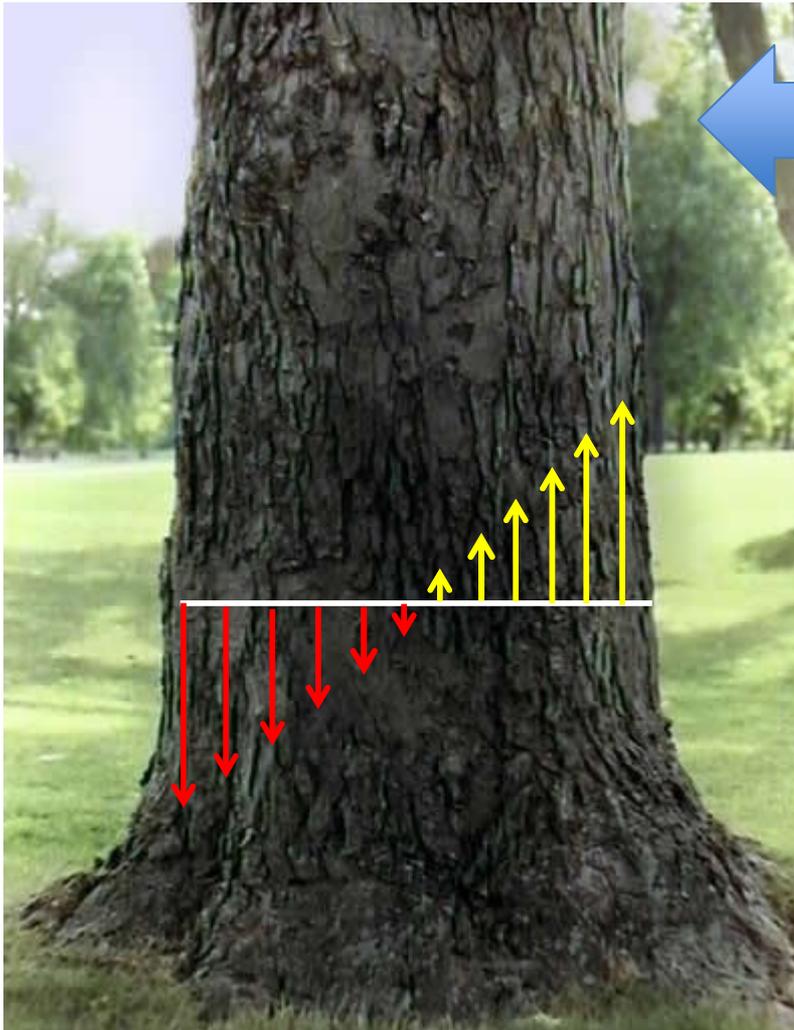
Compressão

(Peso próprio)



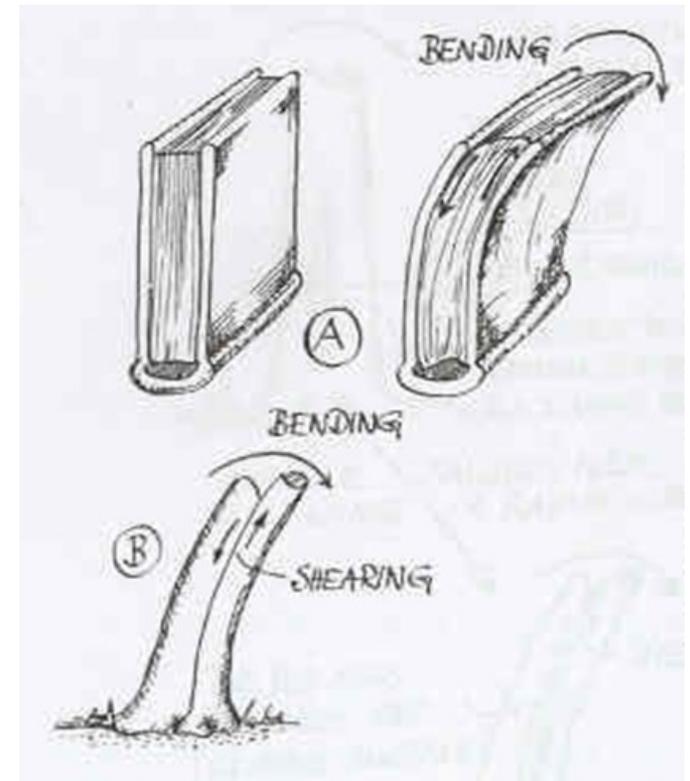
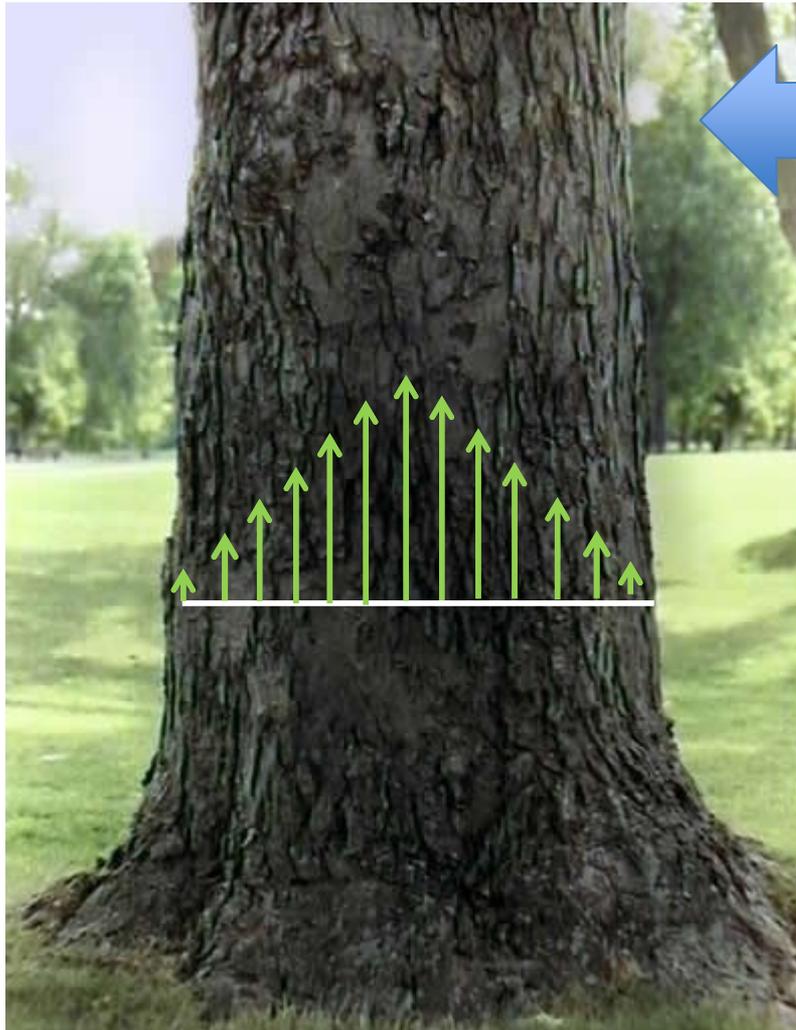
Flexão

Ação do vento ou Árvores inclinadas

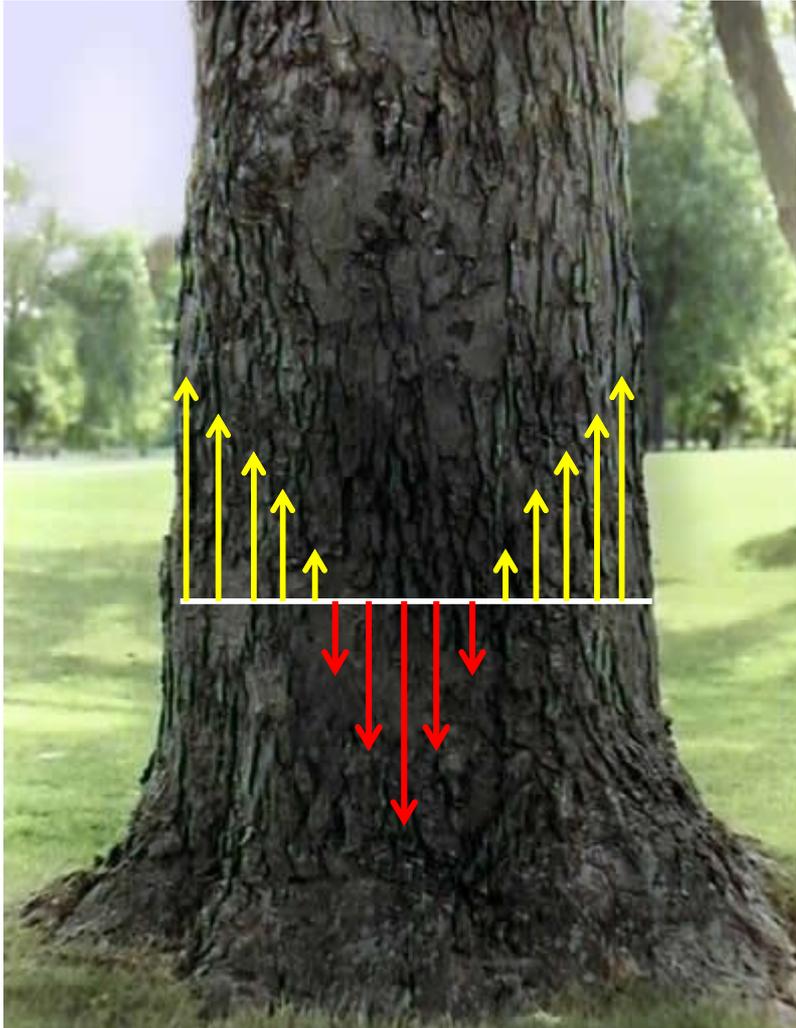


Cisalhamento

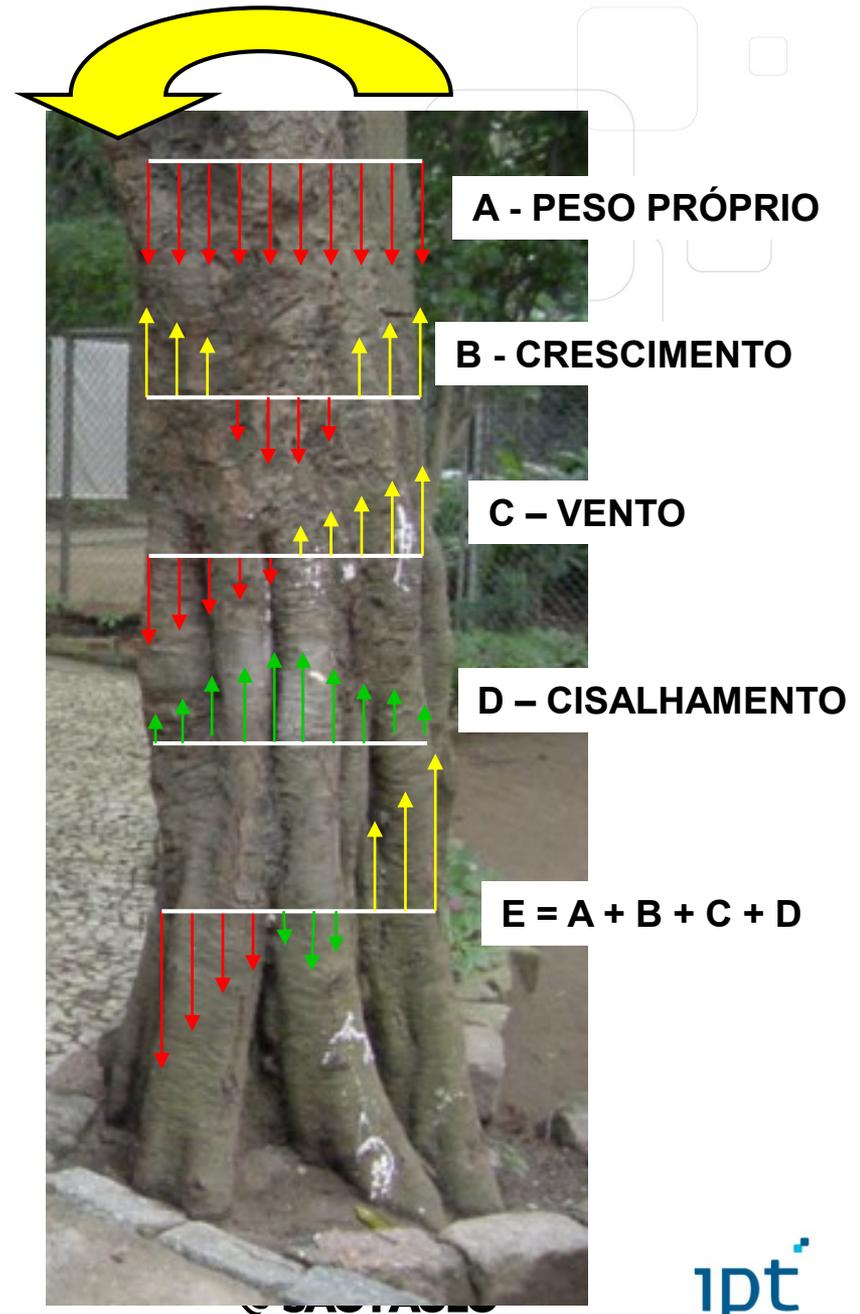
Ação do vento



Tensões de Crescimento



Axioma da tensão uniforme





Biomecânica de Árvores

Os Cinco Teoremas



Axioma da Tensão Uniforme

Teorema 1

Axioma da Tensão Uniforme

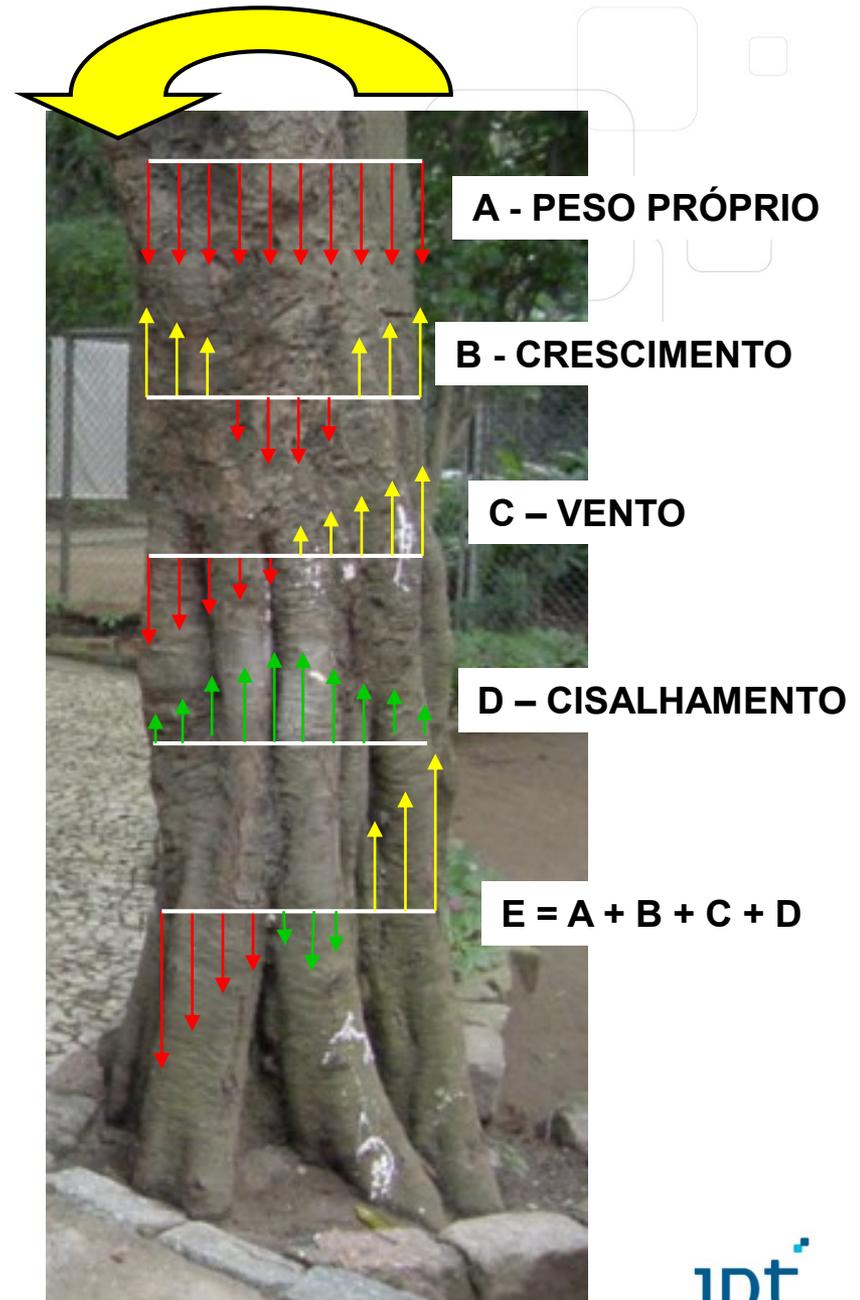
Árvore é uma estrutura mecânica com
auto otimização:
economia de material, mas forte o necessário

↓ DEFEITO

Forma ou composição química



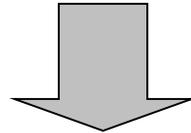
Axioma da tensão uniforme



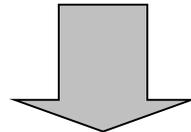
Axioma da tensão uniforme

Auto Otimização; Crescimento Adaptado;
Tigmomorfogênese

Tensões “indesejáveis” são distribuídas uniformemente na **superfície** da árvore



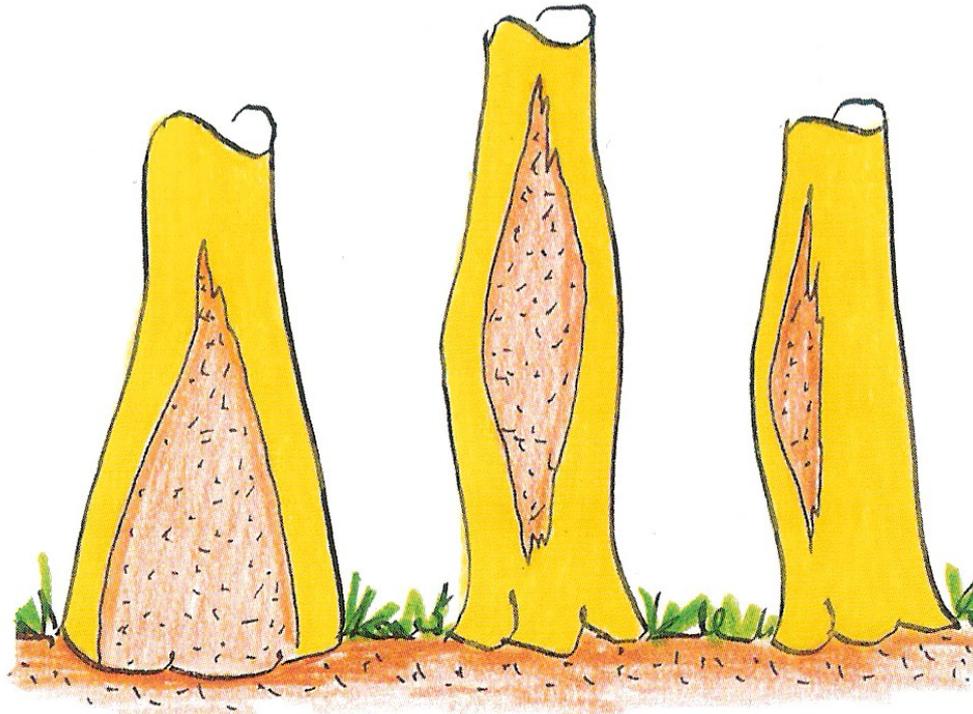
Deposição de material; alterações químicas e/ou estruturais
(protuberâncias, espessamento do lenho, formação de madeira de reação)



Alteração da forma e tamanho de partes da árvore.

Axioma da Tensão Uniforme

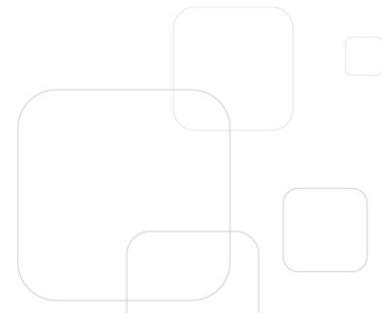
Crescimento Adaptado x Biodeterioração



Fonte: Mattheck (2007)

Axioma da Tensão Uniforme

Crescimento Adaptado x Biodeterioração



Axioma da Tensão Uniforme

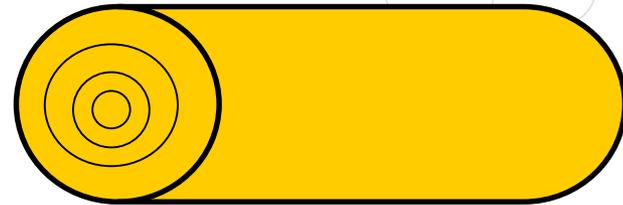
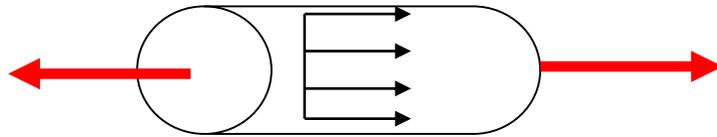
Crescimento Adaptado x Biodeterioração



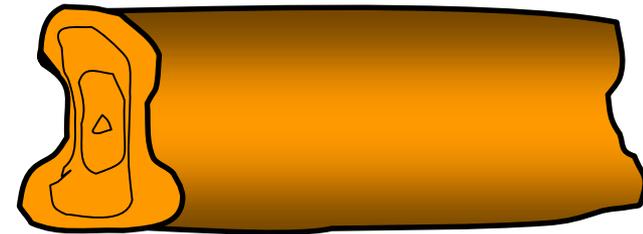
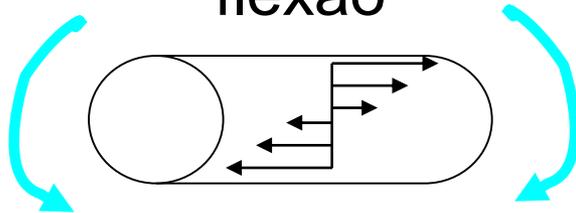
Axioma da Tensão Uniforme

Crescimento Adaptado x Raízes

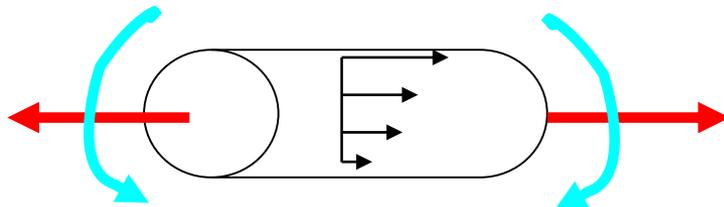
tração



flexão



Flexão + tração



Axioma da Tensão Uniforme

Crescimento Adaptado x Raízes

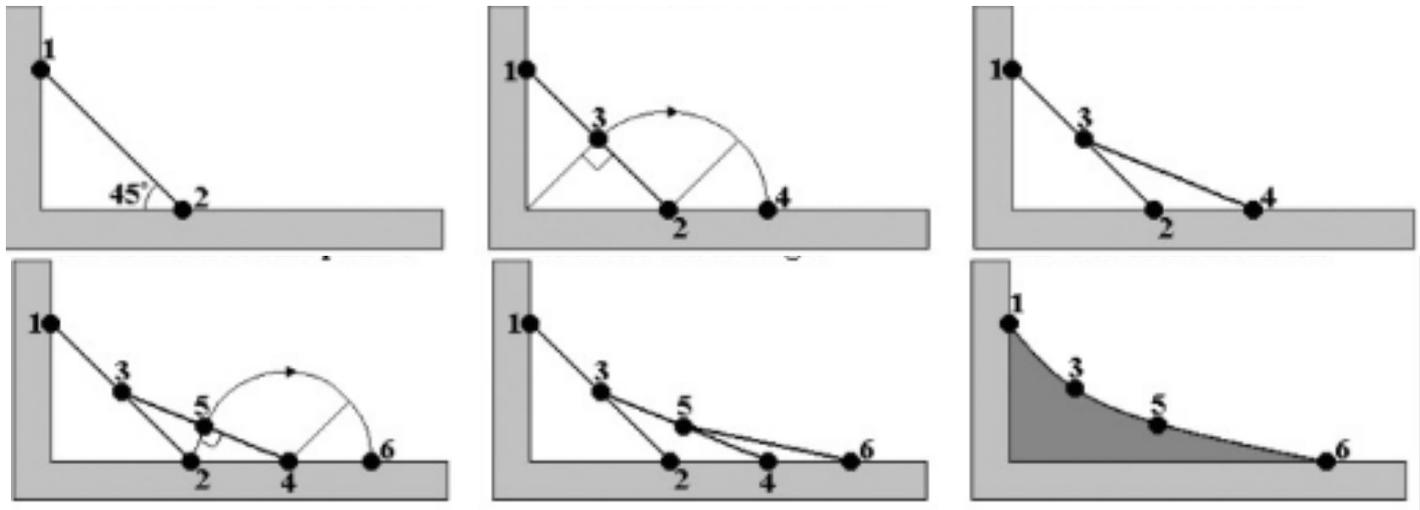


Axioma da Tensão Uniforme

Crescimento Adaptado x Raízes



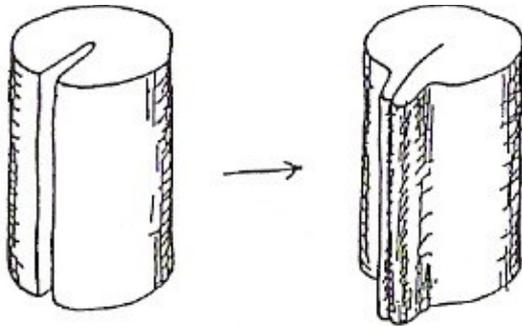
Raízes tabulares



Axioma da Tensão Uniforme

Crescimento Adaptado x Rachaduras

Rachaduras radiais

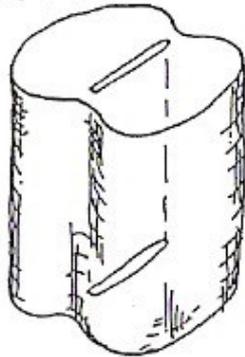


Fonte: Mattheck e Breloer (1997)

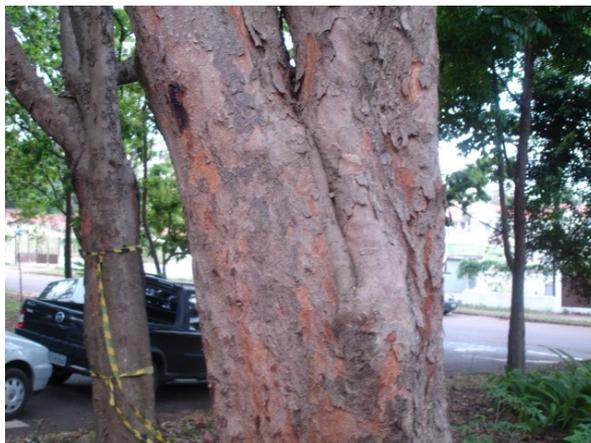
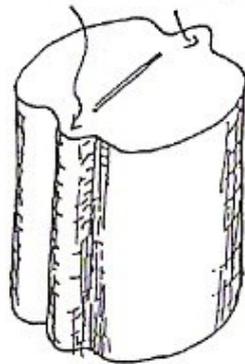
Axioma da Tensão Uniforme

Crescimento Adaptado x Casca inclusa

CRACK ASSOCIATED
WITH INCLUDED
BARK IN A FORK



DOUBLE RIBS



Fonte: Mattheck e Breloer (1997)

Princípio do Mínimo Braço de Alavanca Teorema 2

Princípio do mínimo braço de alavanca

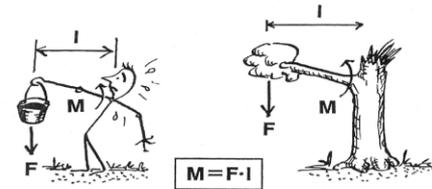
Geotropismo negativo

$$M = F \times I$$

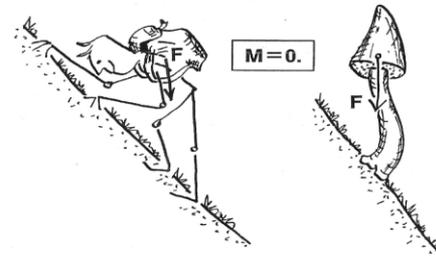
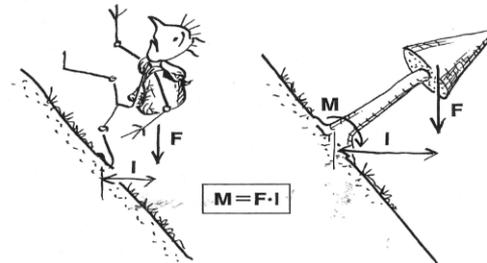
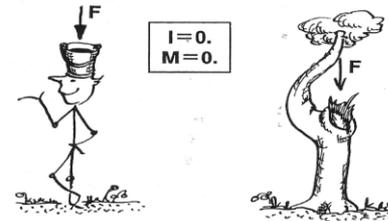
M = Momento Fletor

F = Força

I = Distância



Momento Fletor



Princípio do mínimo braço de alavanca



Princípio do mínimo braço de alavanca





Princípio do mínimo braço de alavanca

Estratégia de Flexibilidade



Princípio do mínimo braço de alavanca

Estratégia de Flexibilidade



Princípio do mínimo braço de alavanca

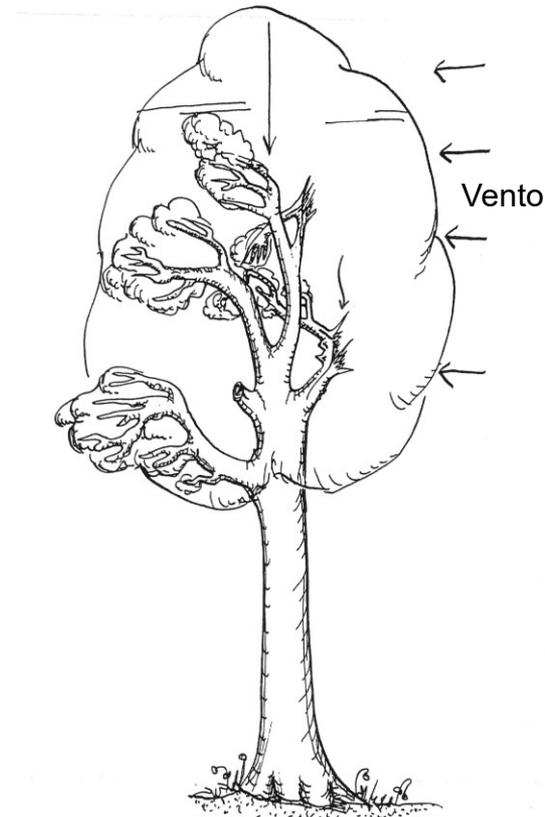
Estratégia de Flexibilidade

Fator de Segurança (FS)

$$FS = \frac{\text{Carga de "Projeto"}}{\text{Carga de Ruptura}}$$

$$FS_{\text{TRONCO}} \geq 4,5$$

$$FS_{\text{RAMOS}} = 4,0$$



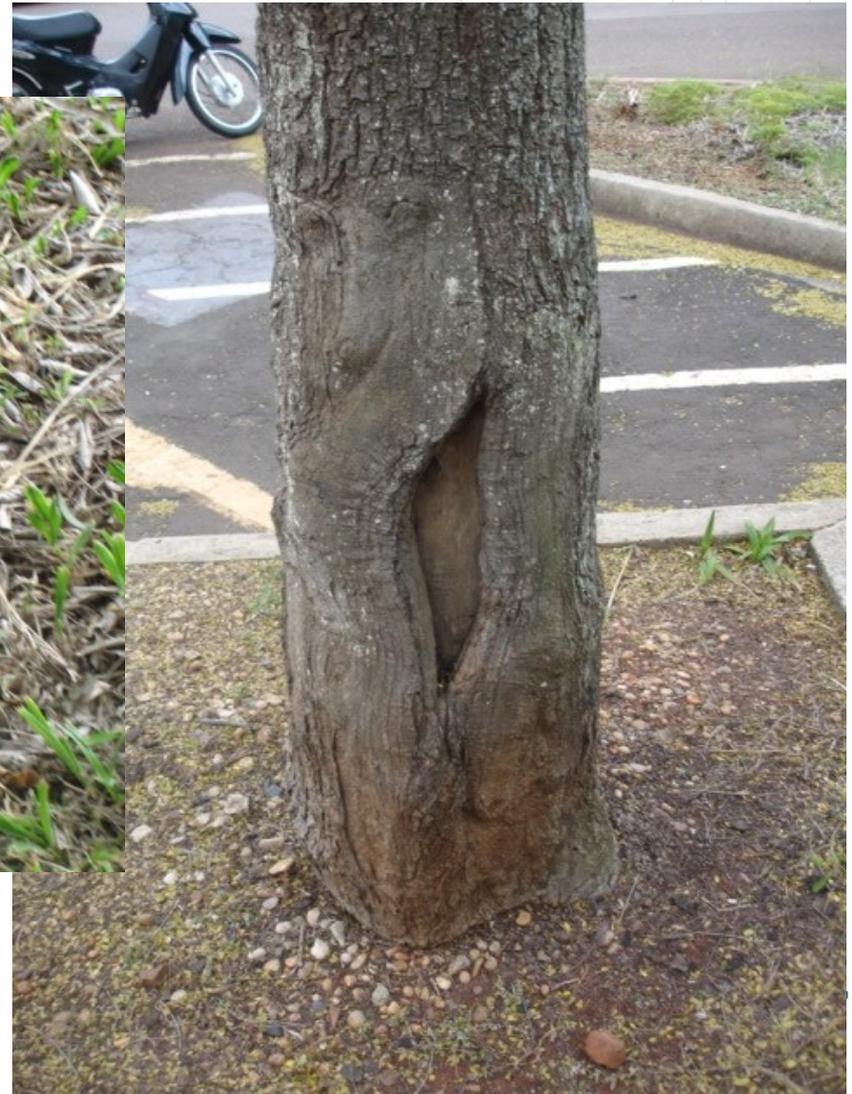


Paralelismo das Fibras e a Distribuição de Tensões

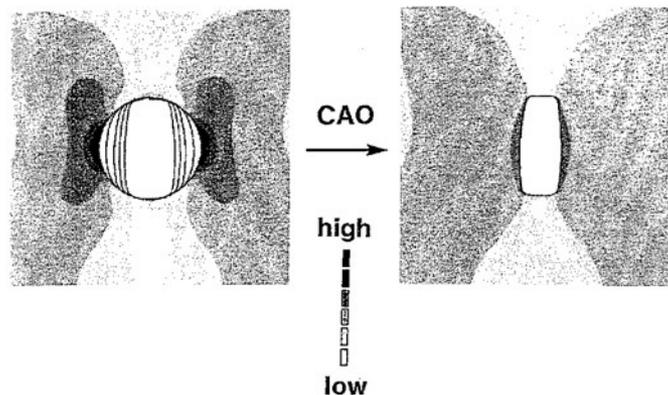
Teorema 3

Paralelismo das fibras e distribuição de tensões

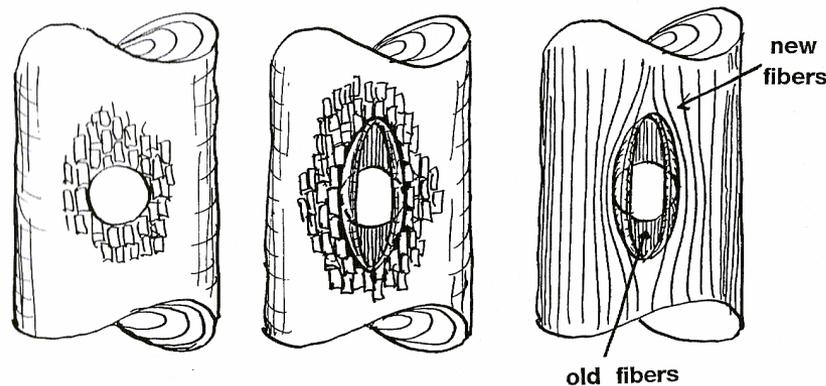
Cicatrização – forma de agulha



Paralelismo das fibras e distribuição de tensões



“Forma de agulha” – Redução de 57 % das tensões



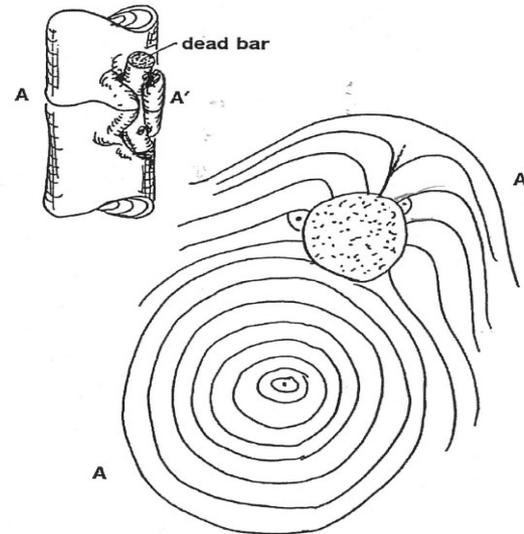
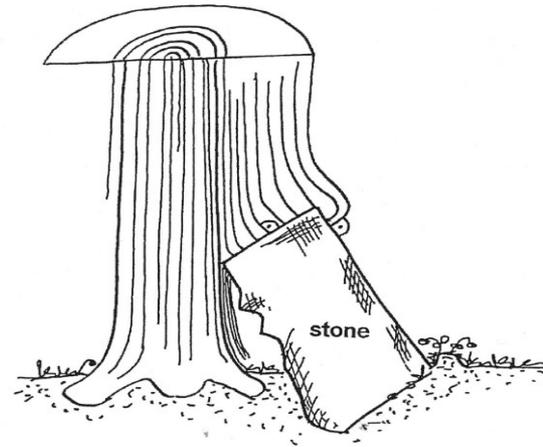


Anéis de Crescimento e a Distribuição de Tensões

Teorema 4

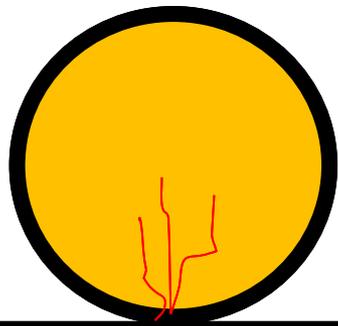
Anéis de Crescimento e a Distribuição de Tensões

A resistência mecânica do lenho depende da distribuição das tensões internas, quando a árvore é exposta a esforços externos.



Anéis de Crescimento e a Distribuição de Tensões

Arranjo dos Anéis



Anéis de Crescimento e a Distribuição de Tensões

Arranjo dos Anéis – Reforços Naturais



Figura 1 - Casca inclusa

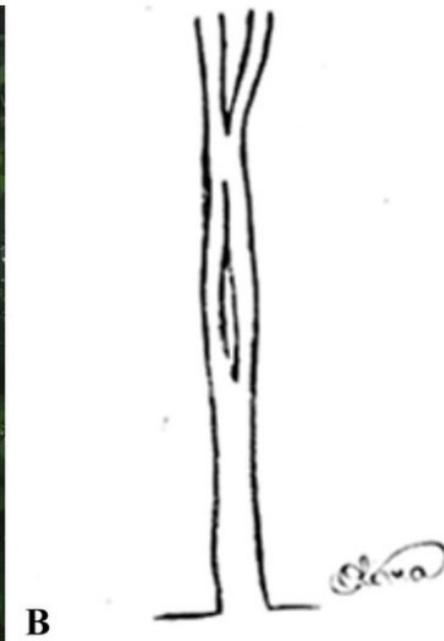


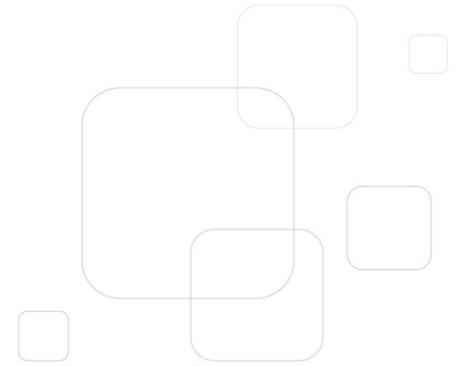
Figura 2 - Tronco ou Ramo Fundido

Anéis de Crescimento e a Distribuição de Tensões

Arranjo dos Anéis – Reforços naturais



Figura 3 - Tronco ou Ramo Entrelaçado



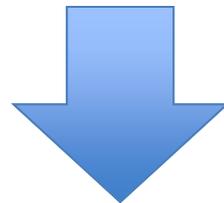
Tensões de Crescimento

Teorema 5

Tensões de Crescimento

Pontos fracos são compensados por tensões de crescimento pela árvore.

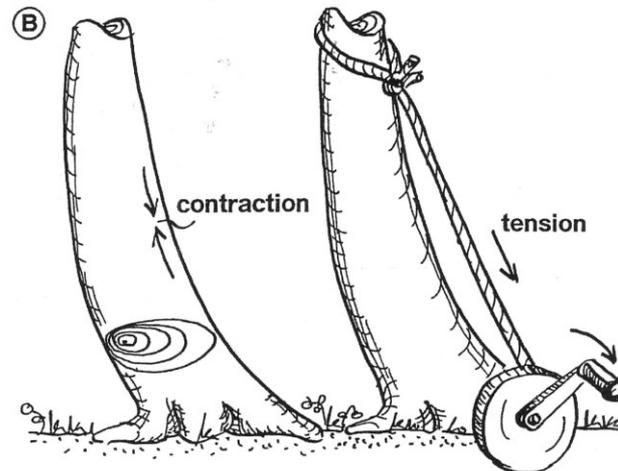
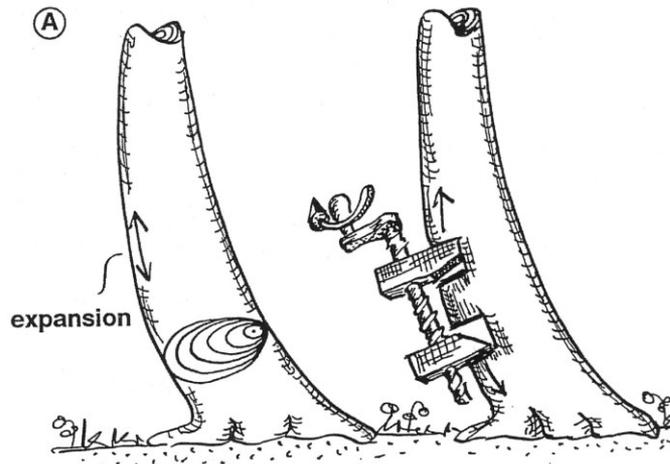
As tensões de crescimento promovem, a longo prazo, a mudança da forma e o **reforço necessário**



Lenho de Reação
(Árvores inclinadas/ramos)

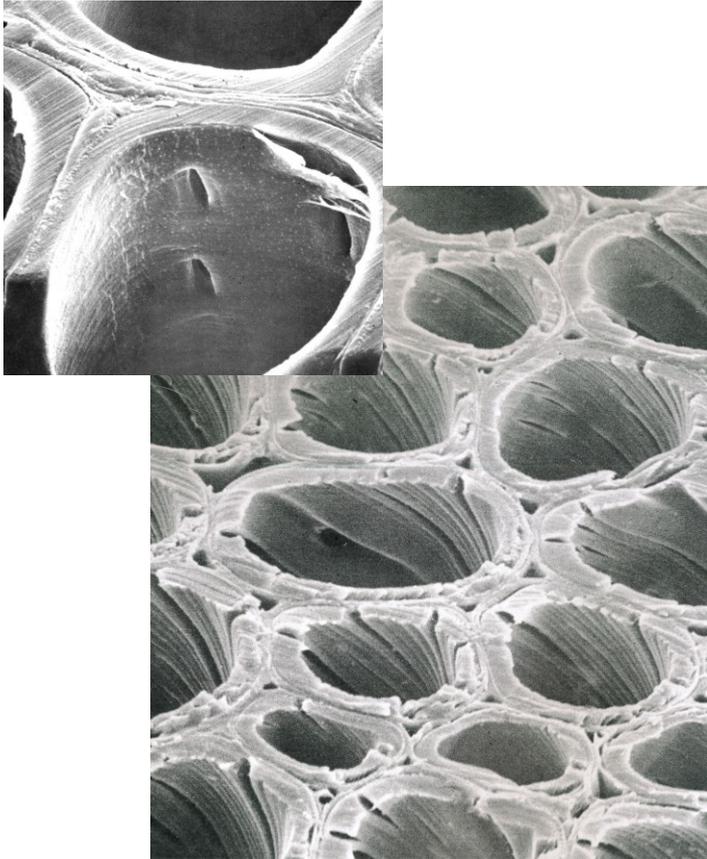
Tensões de Crescimento

Lenho de Reação



Tensões de Crescimento

Lenho de Compressão - Coníferas

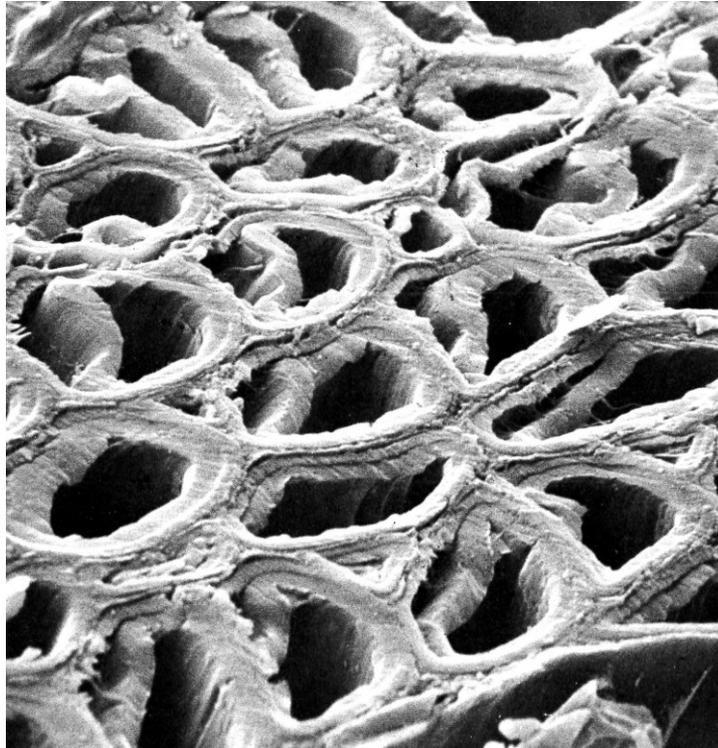


Traqueídes com paredes espessas e ricas em lignina



Tensões de Crescimento

Lenho de Tração - Folhosas



Fibras com pouca lignina,
mas muita celulose
(camada gelatinosa)

Tensões de Crescimento

Lenho de Tração - Folhosas





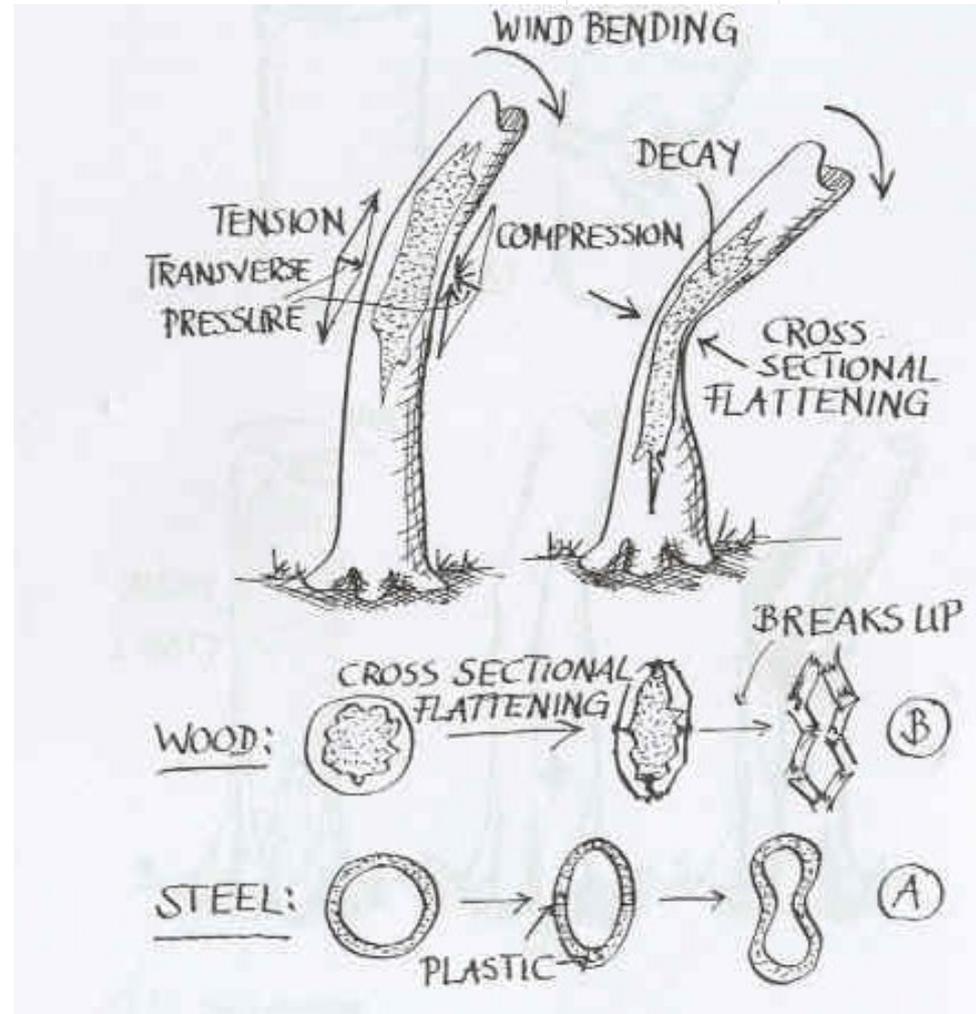
Manifestações de Fraturas em Árvores

Ruptura por flexão



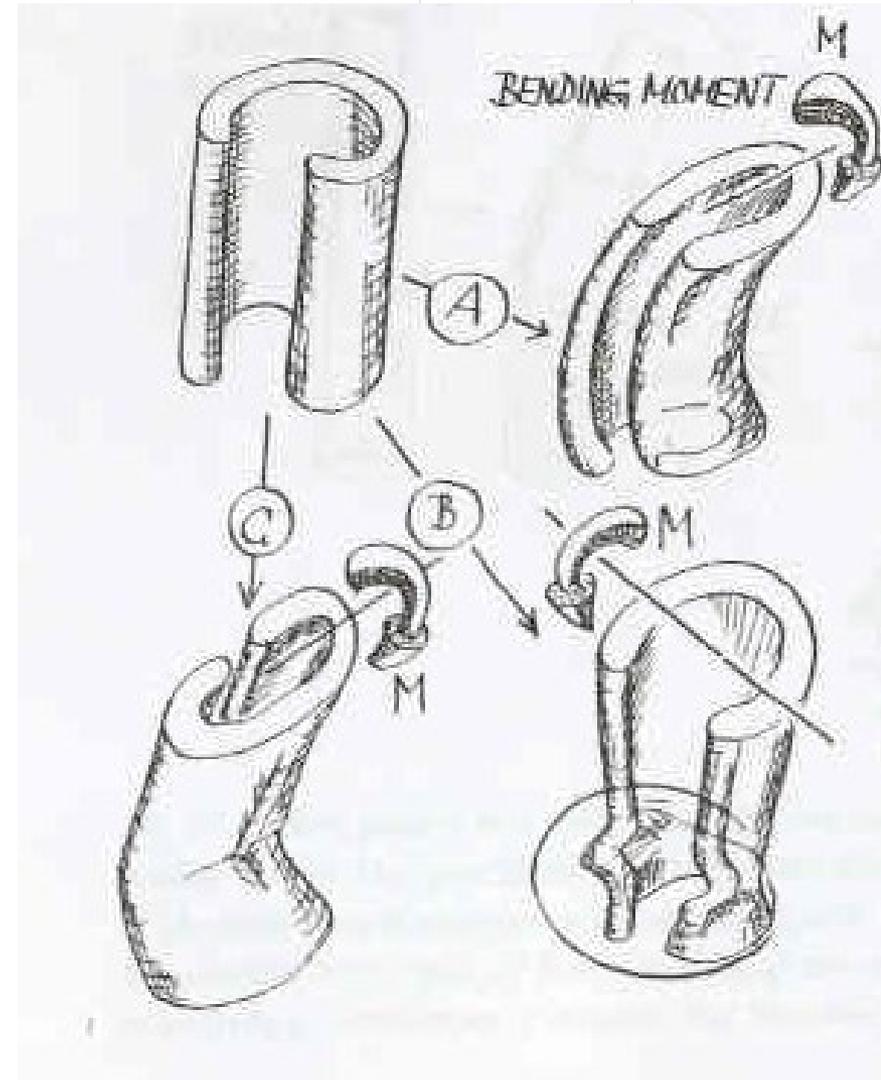
Ruptura por flexão

- Achatamento da seção transversal de um tronco



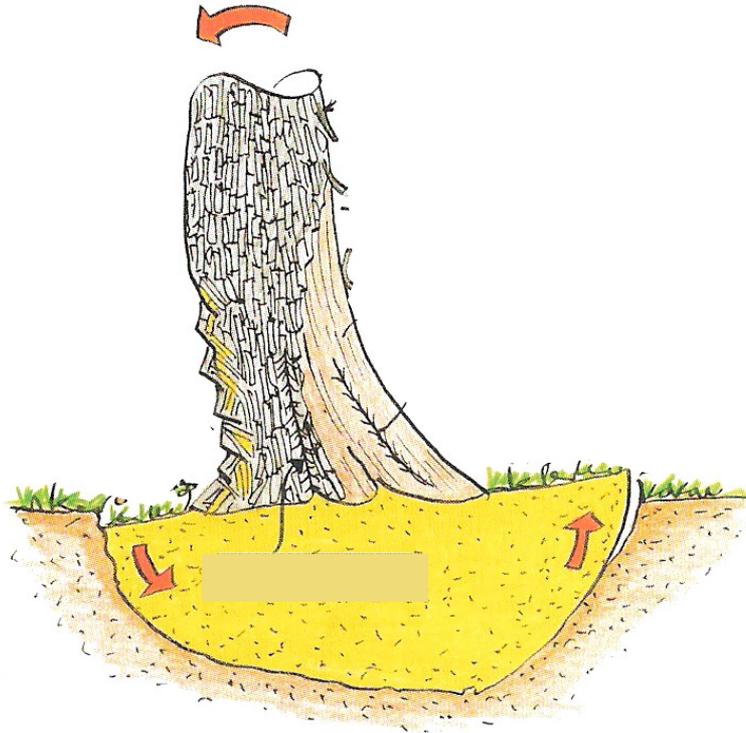
Ruptura por flexão

- Flambagem de elementos de casca em paredes com cavidades abertas:
 - A: Achatamento – deformação inicial;
 - B: Flambagem frontal – **rachadura**;
 - C: Flambagem posterior – **rachadura**



Ruptura por flexão

Sinais na Casca



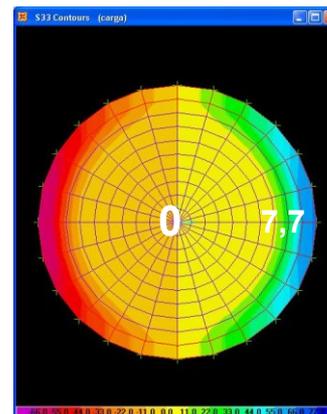
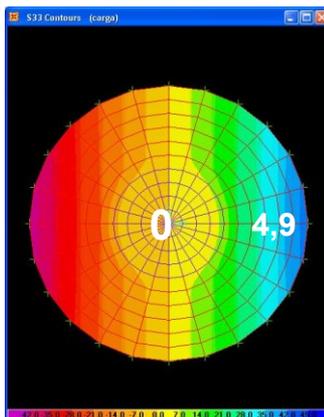
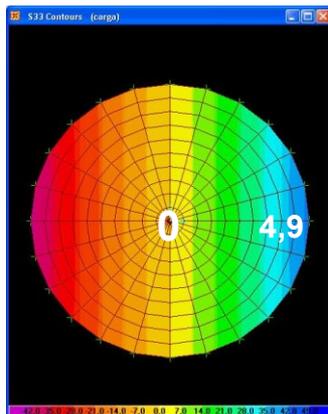
Distribuição de tensões do lenho sadio e deteriorado – Tensão normal

Sadio

16% PB_{INT}

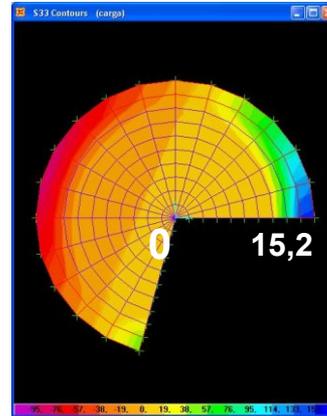
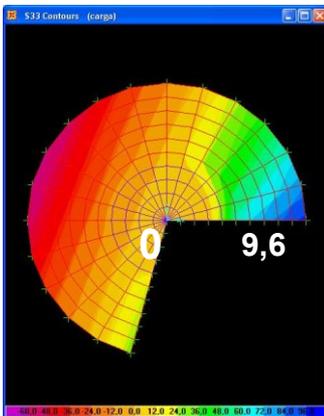
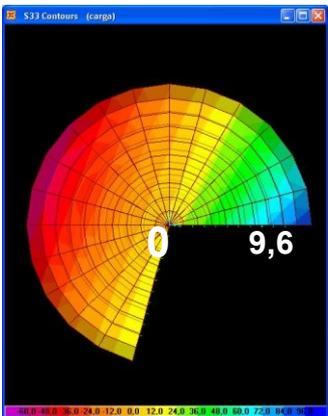
66% PB_{INT}

Apodr.
cerne



57 % de
aumento de
tensão

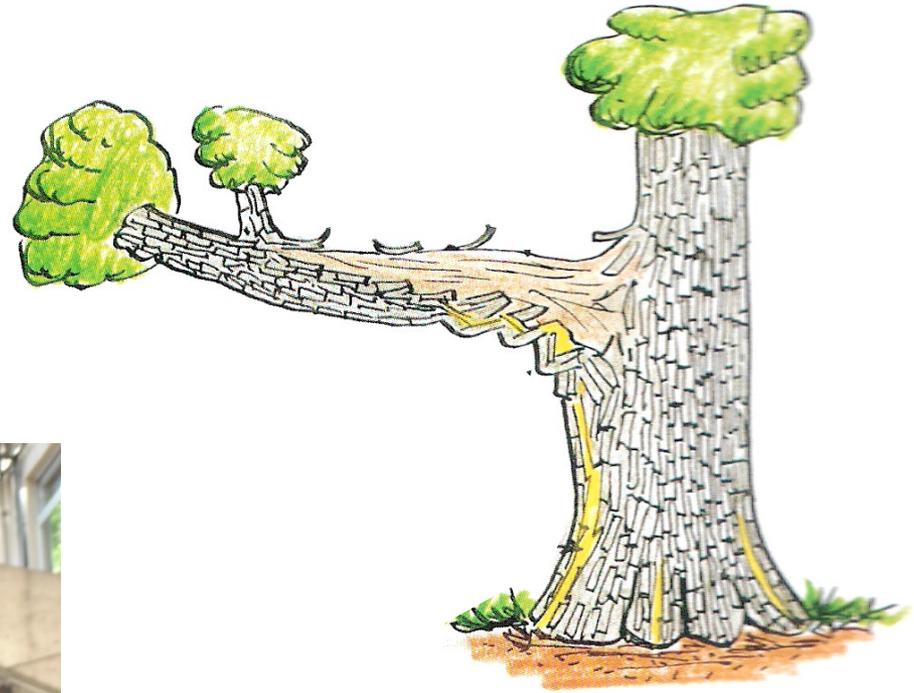
Apodr.
cerne +
oco
aberto



58 % de
aumento de
tensão

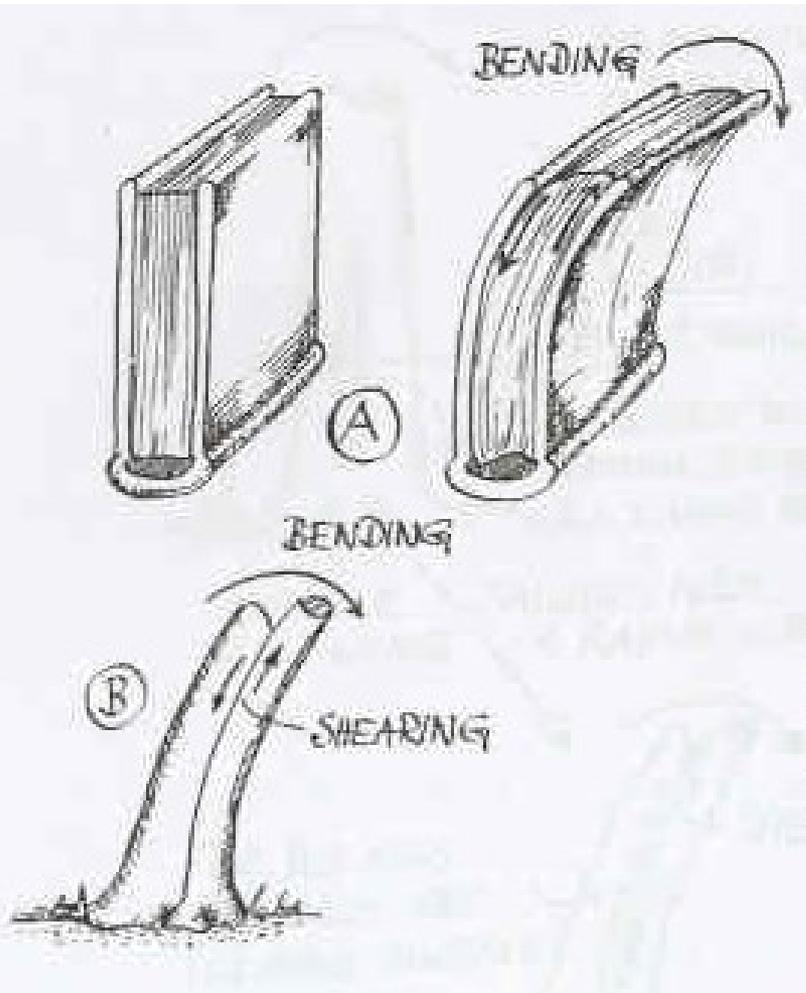
Ruptura por flexão

Sinais na Casca



bifurcação

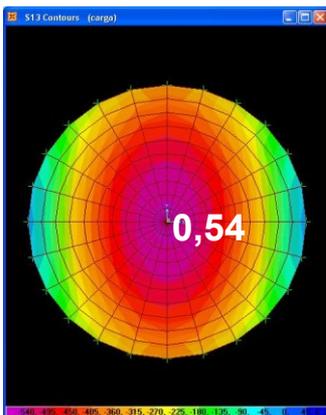
Ruptura por Cisalhamento



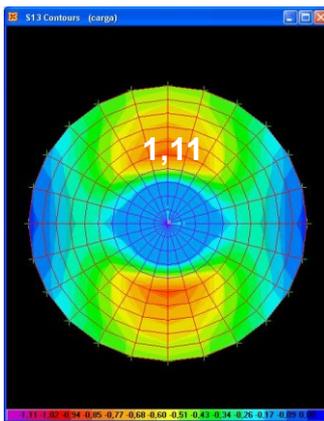
Fonte: Mattheck e Breloer (1997)

Distribuição de tensões do lenho sadio e deteriorado – Tensão de cisalhamento

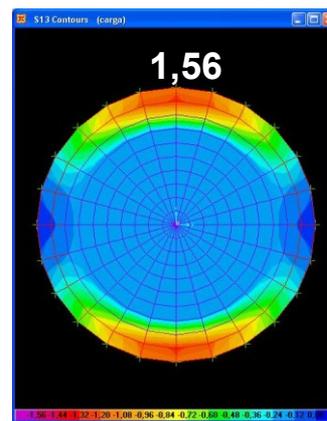
Sadio



16% PB_{INT}



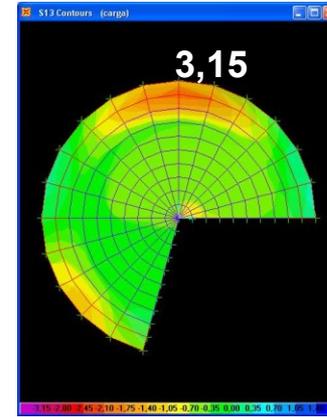
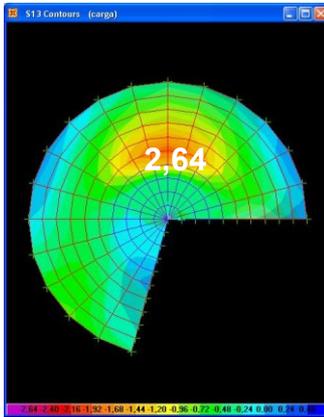
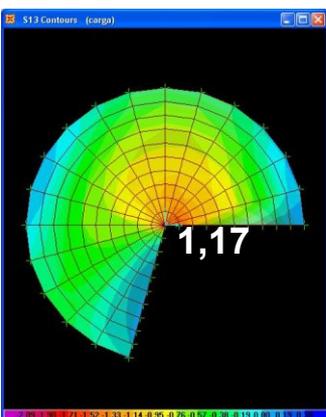
66% PB_{INT}



Apodr.
cerne

188 % de
aumento de
tensão

Apodr.
cerne +
oco aberto



169 % de
aumento de
tensão

Ruptura por cisalhamento



DAP ~ 0,70 m

~ 54% deterioração interna

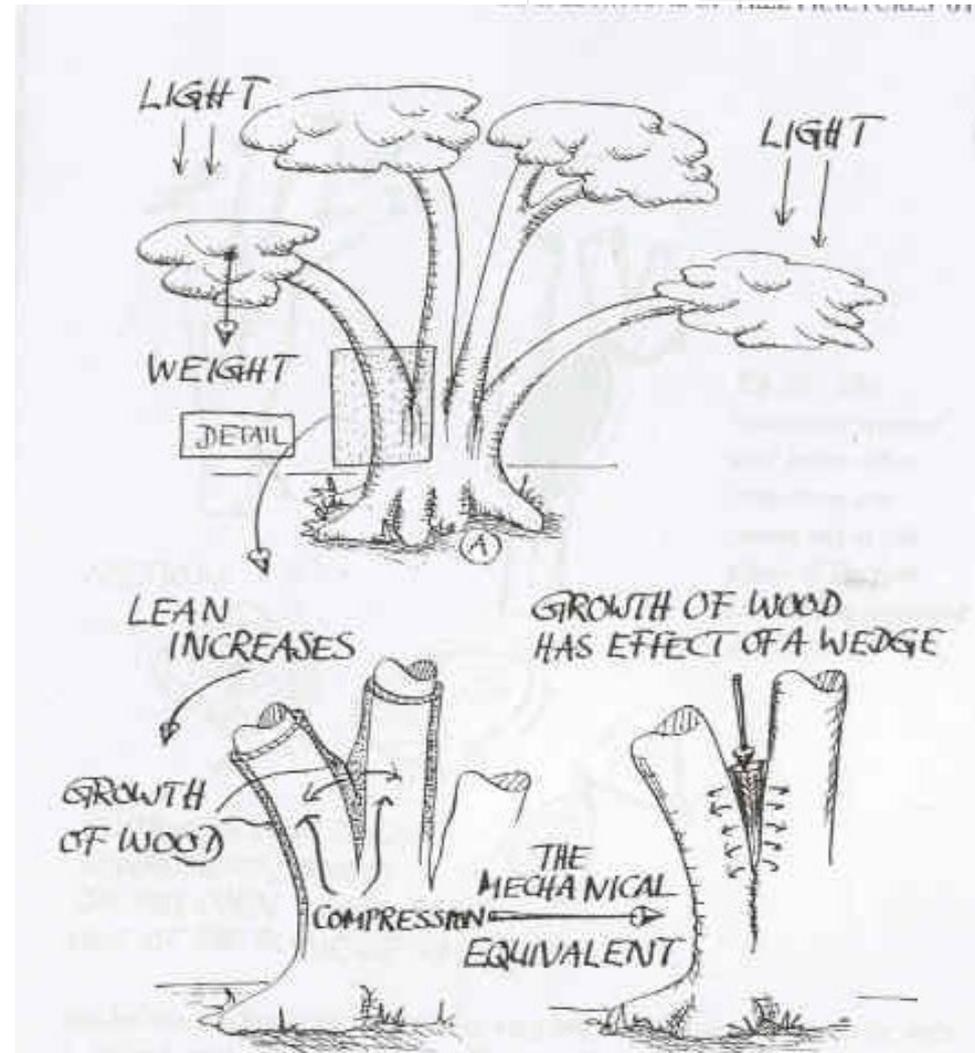
***C. gestroi* x lenho apodrecido**



Cisalhamento / falha

Ruptura por tensões transversais

- Fraturas nas bifurcações comprimidas



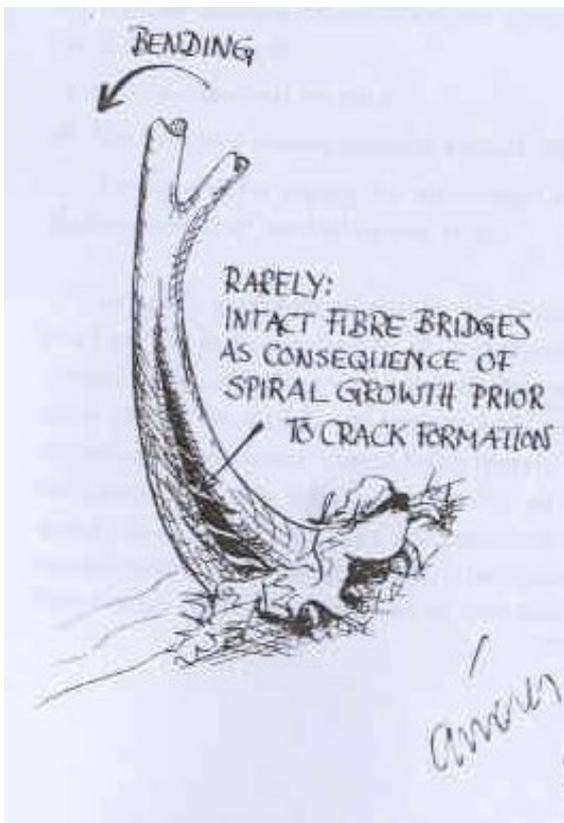
Ruptura por Tensão Transversais



figueira

Ruptura por tensões transversais

Troncos inclinados



Ruptura por tensões transversais





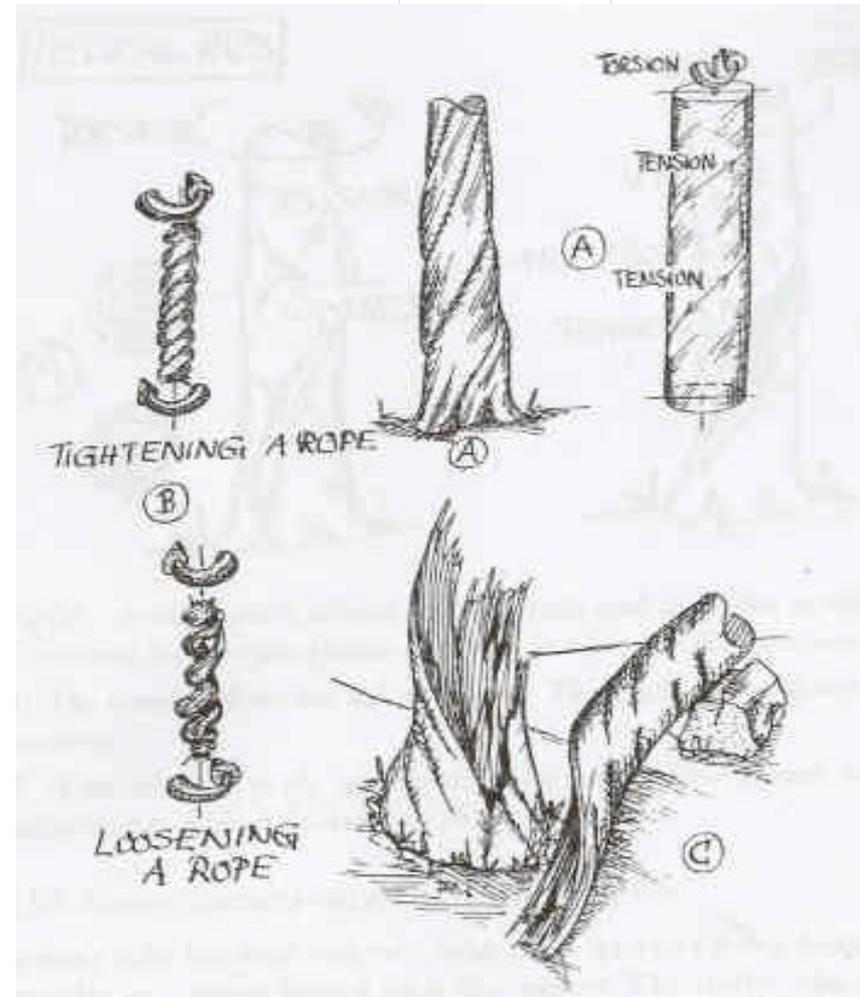
Ruptura por torção

Grã Espiralada



Ruptura por torção

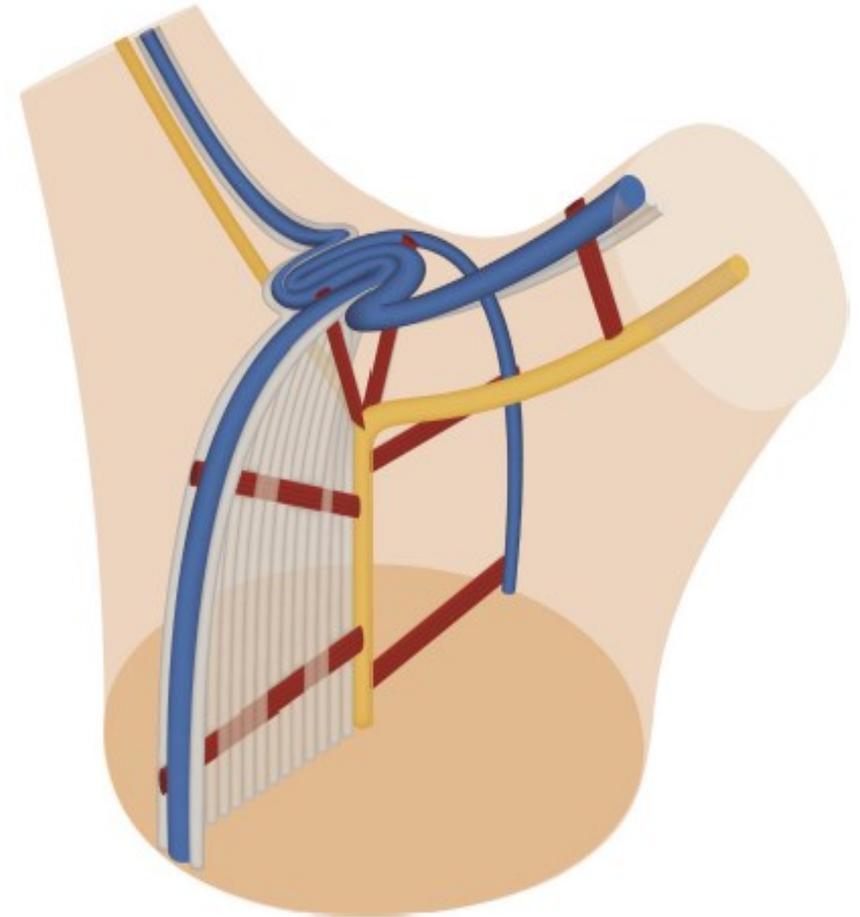
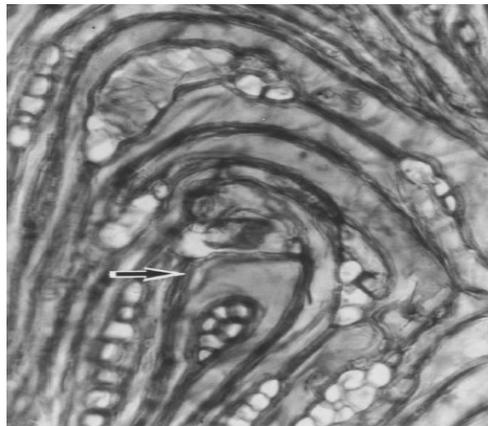
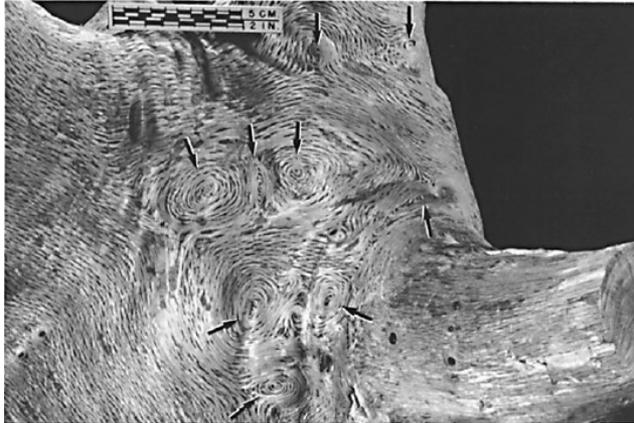
Grã Espiralada



Fonte: Mattheck e Breloer (1997)

Ruptura em galhos - Anatomia

Fonte: Lev-Yadun e Aloni (1990).

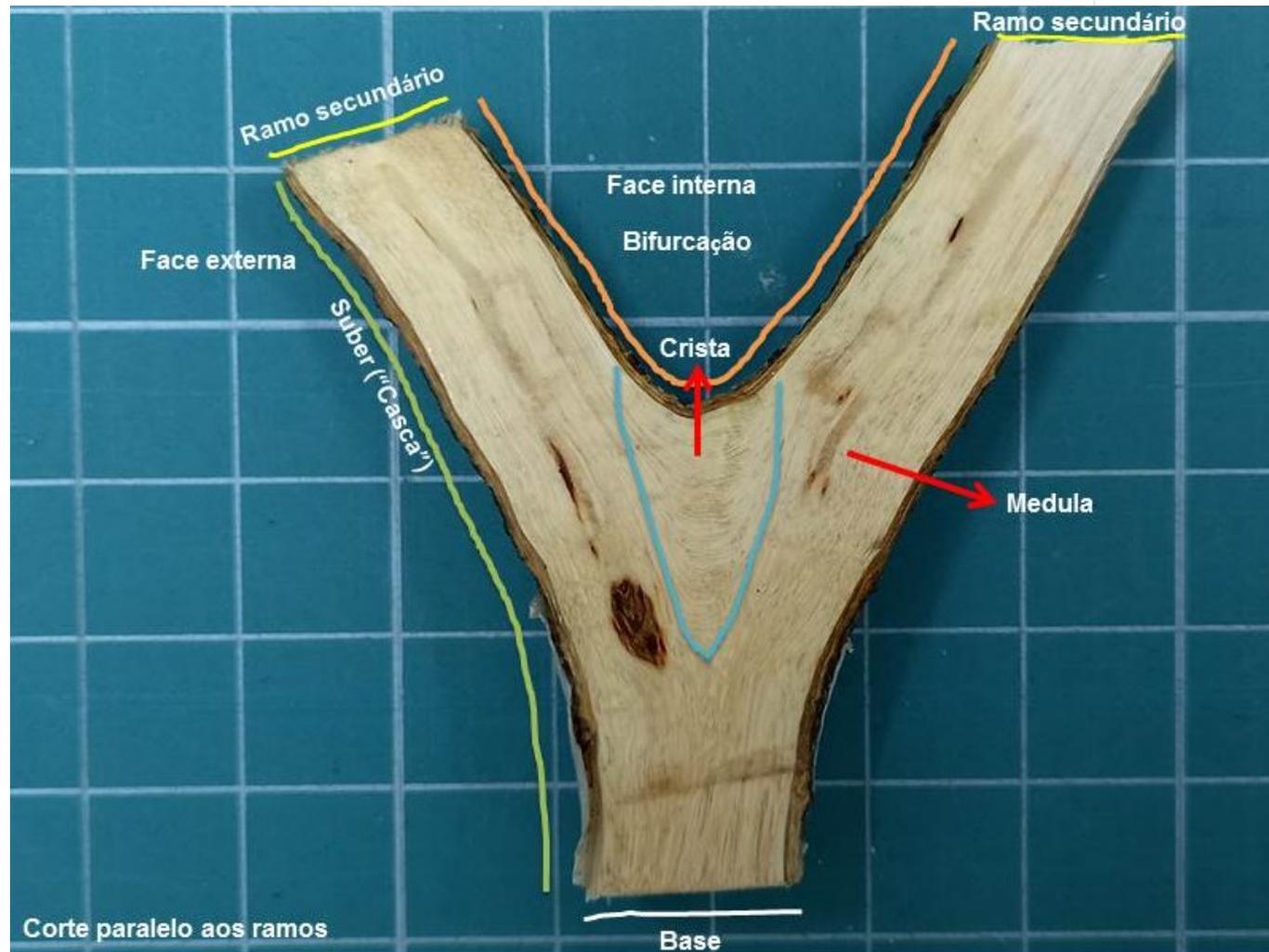


Modelo anatômico tridimensional da junção de galhos, mostrando os elementos de vaso (azul), a medula (amarelo), as fibras (branco) e o parênquima radial (vermelho). Fonte: Slater (2015).

**Maior resistência mecânica e
garantia de fluxo de seiva**

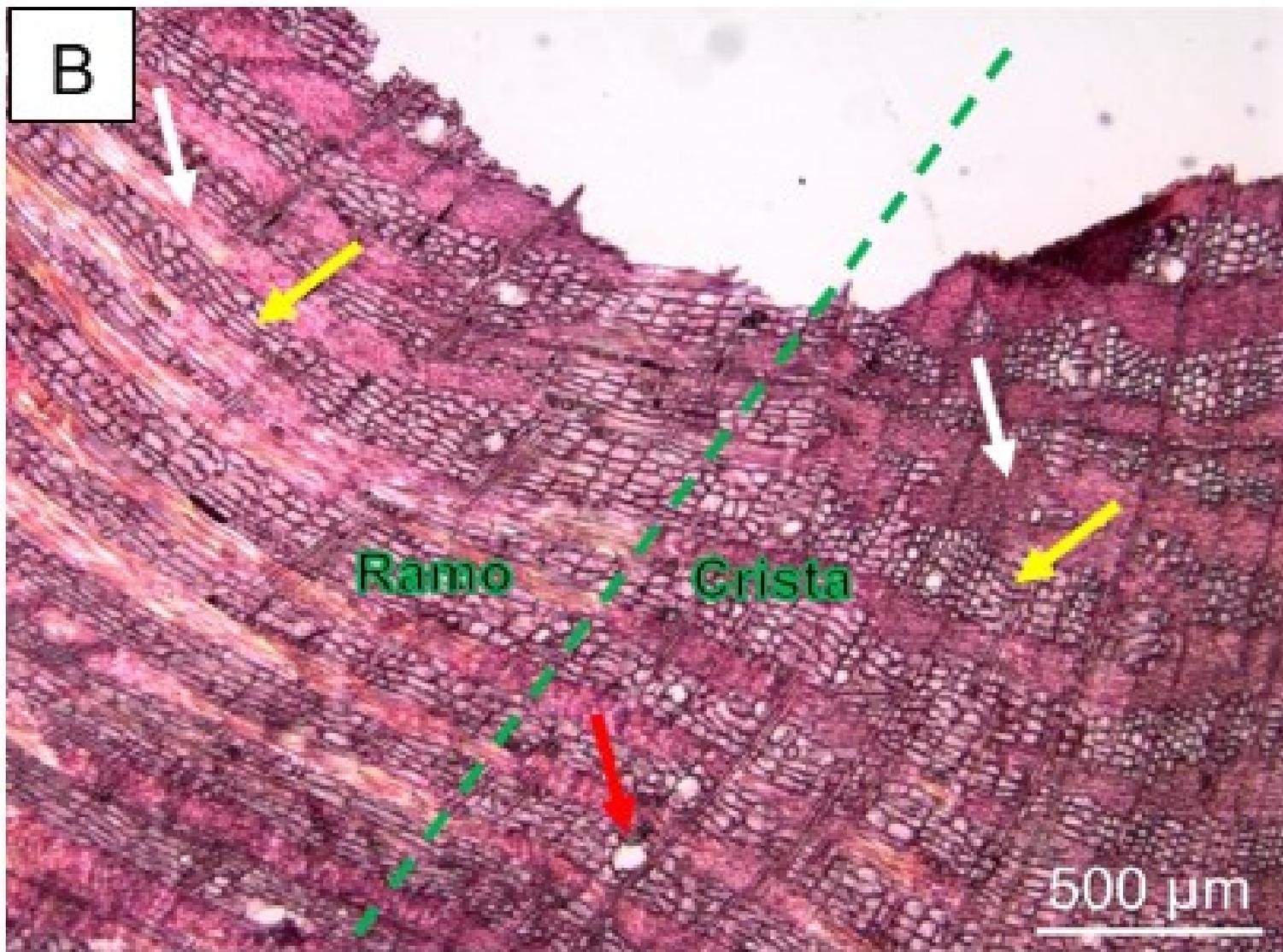
Projeto D0601 – Quebra Galho

Caracterização anatômica das bifurcações



Projeto D0601 – Quebra Galho

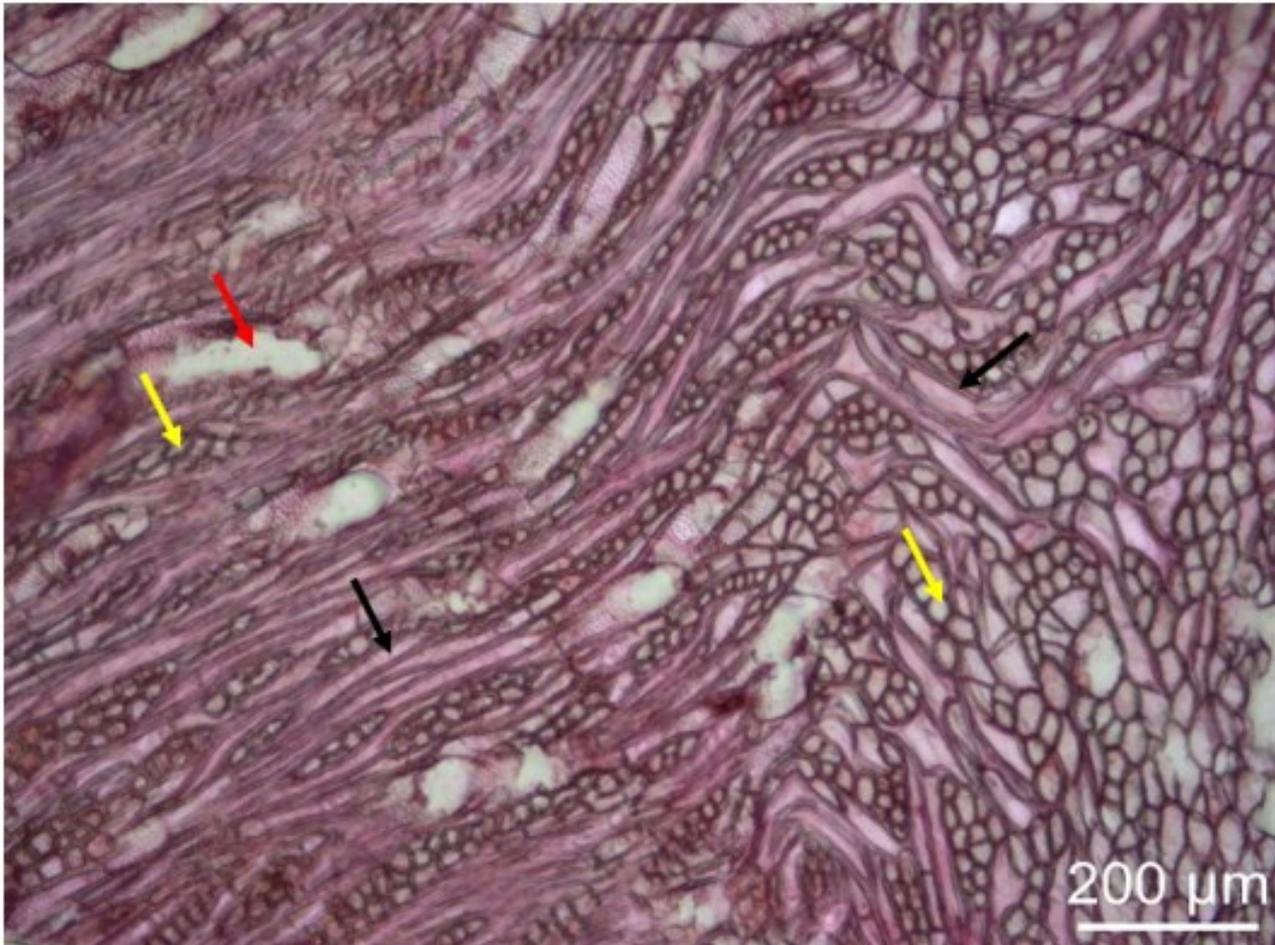
Caracterização anatômica das bifurcações – microscopia – pau-ferro



Projeto D0601 – Quebra Galho

Caracterização anatômica das bifurcações – microscopia – crista

Figura 6 – Secção transversal da região da crista de uma bifurcação de jacarandá-mimoso, mostrando o entrelaçamento dos elementos anatômicos e uma região em que os elementos se apresentam em aspecto longitudinal-tangencial. As setas indicam os elementos de vasos (vermelho), parênquima (amarelo) e fibras (preto).

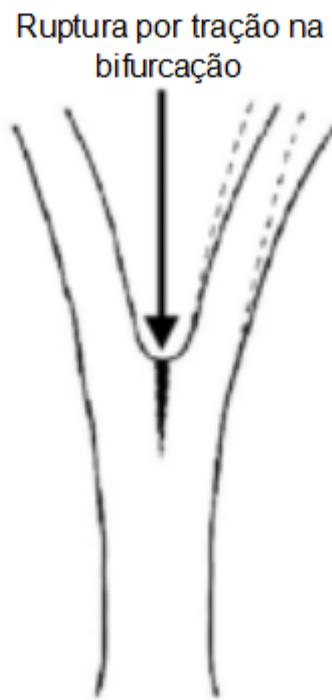


Um pouco de biomecânica....

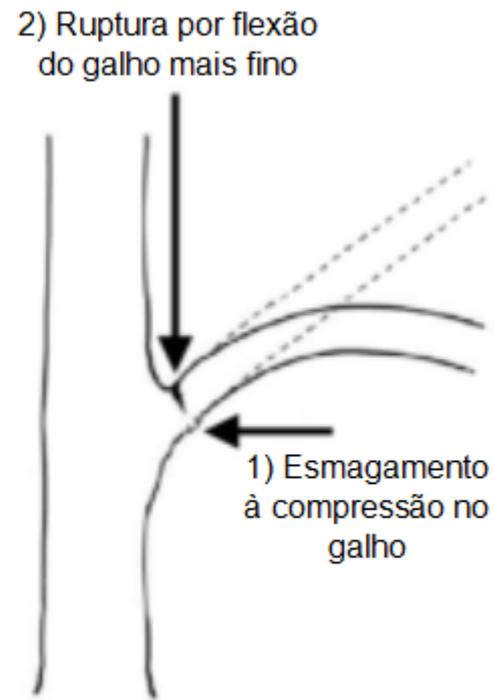
Tipos ruptura em galhos



c) Falha TIPO I



b) Falha TIPO II



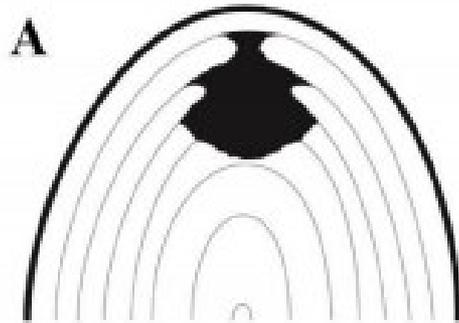
a) Falha TIPO III

Casca inclusa/galhos codominantes (Slater, 2015)



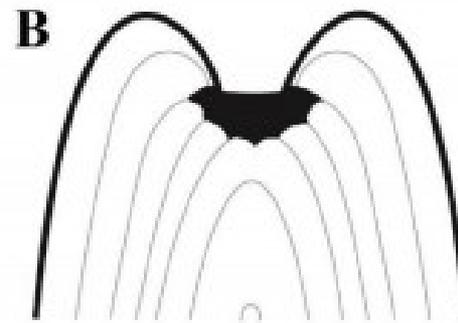
Desempenho semelhante sem casca inclusa

Desempenho inferior (33%)

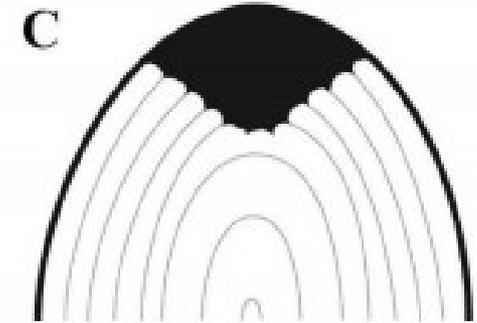


EMBEDDED

10 mm



CUP-SHAPED

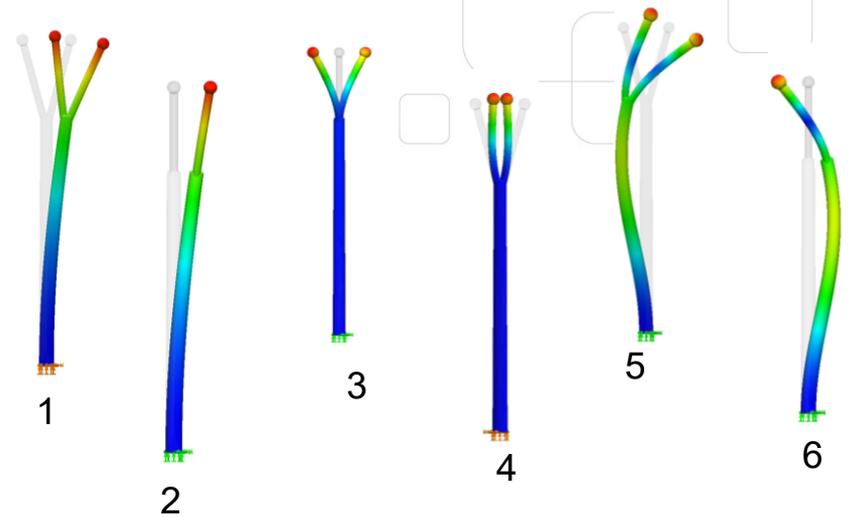
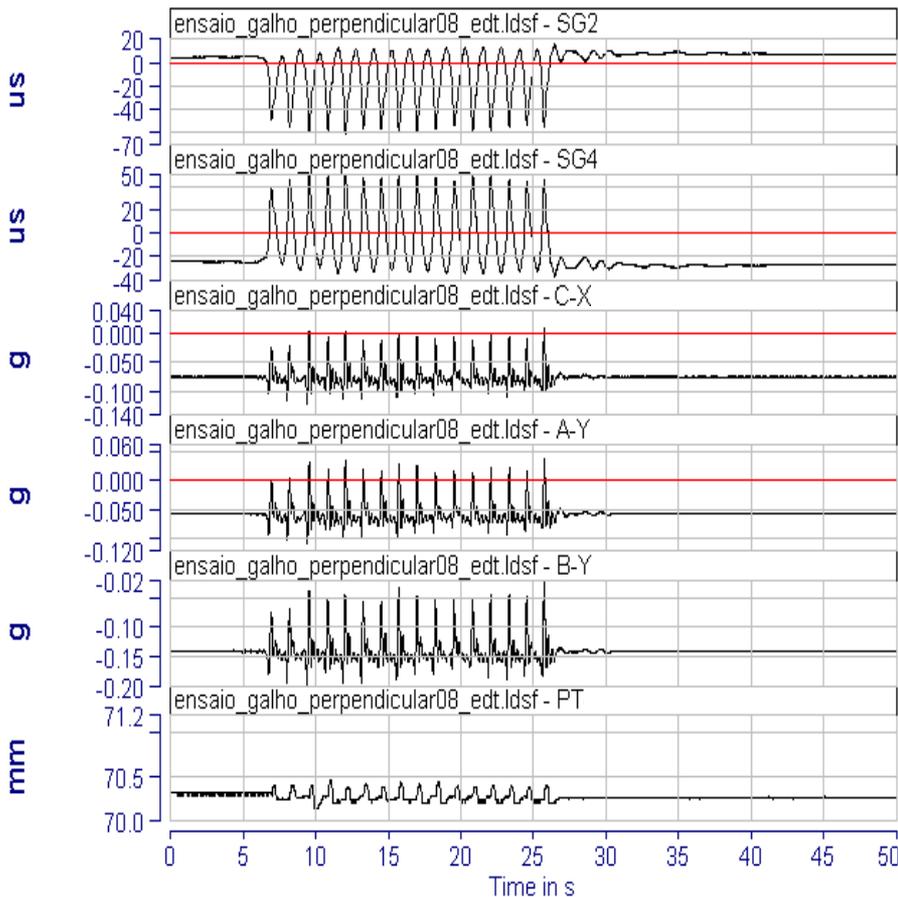


WIDE-MOUTHED
BARK INCLUSION



Modelo de cálculo estrutural

Fator dinâmico (Hf) – Teste de vibração livre e simulações modais

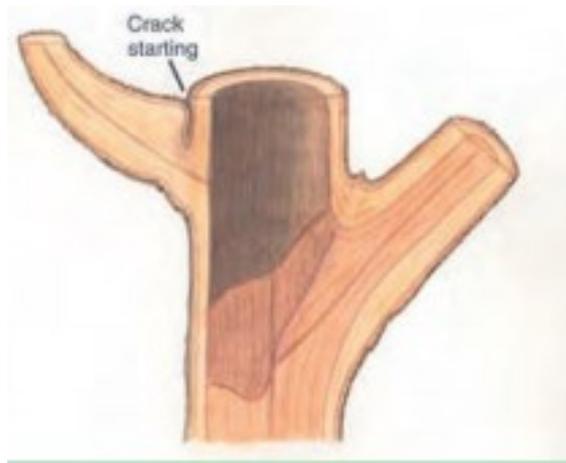
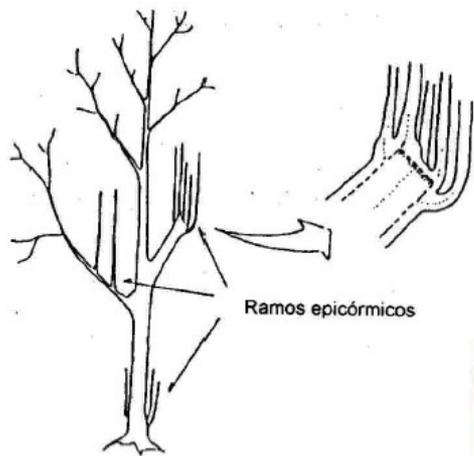


Simulação Modal	Frequência [Hz]
1	0,39
2	0,39
3	1,63
4	1,79
5	1,86
6	1,91

Fator de amplificação dinâmica
(frequência de vibração, forças e amortecimento)

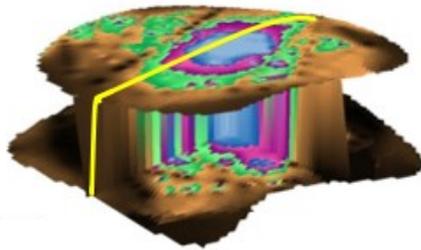
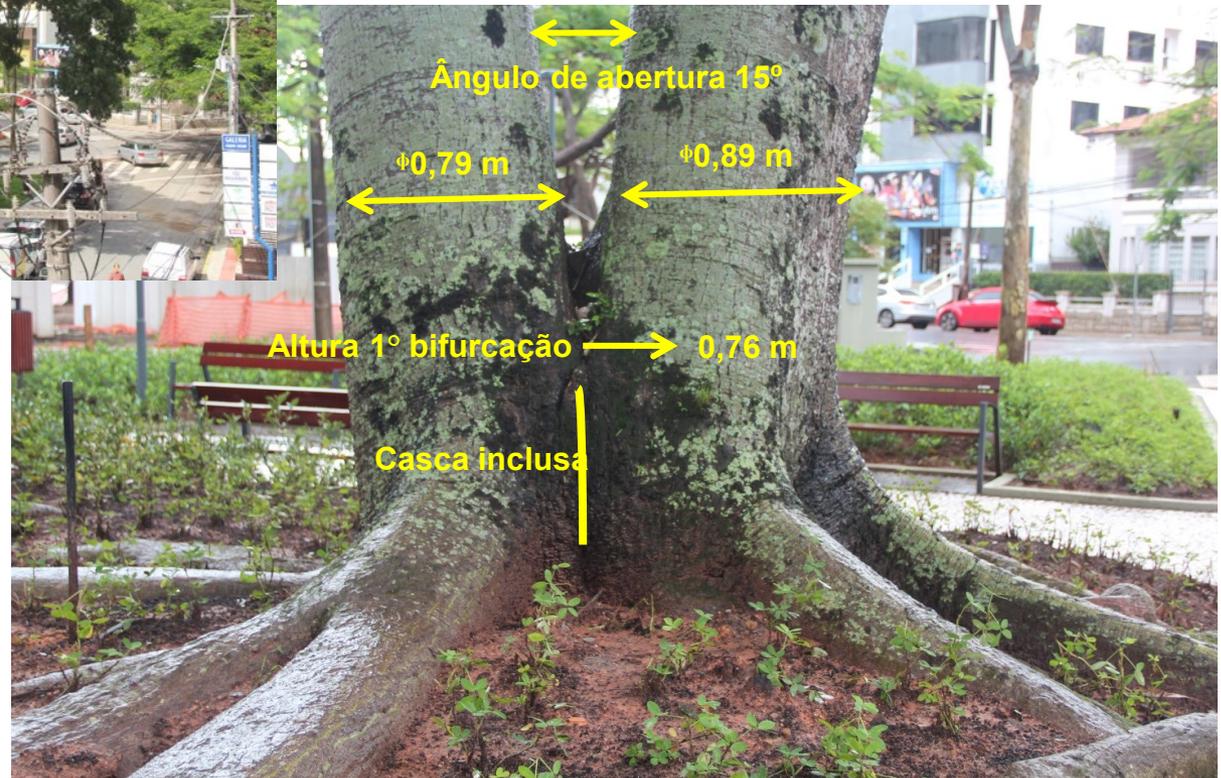
Ramos epicórmicos ou brotações

- Ocorrência nos galhos, troncos e raízes



Modelo de cálculo estrutural

Paineira – Florianópolis, SC



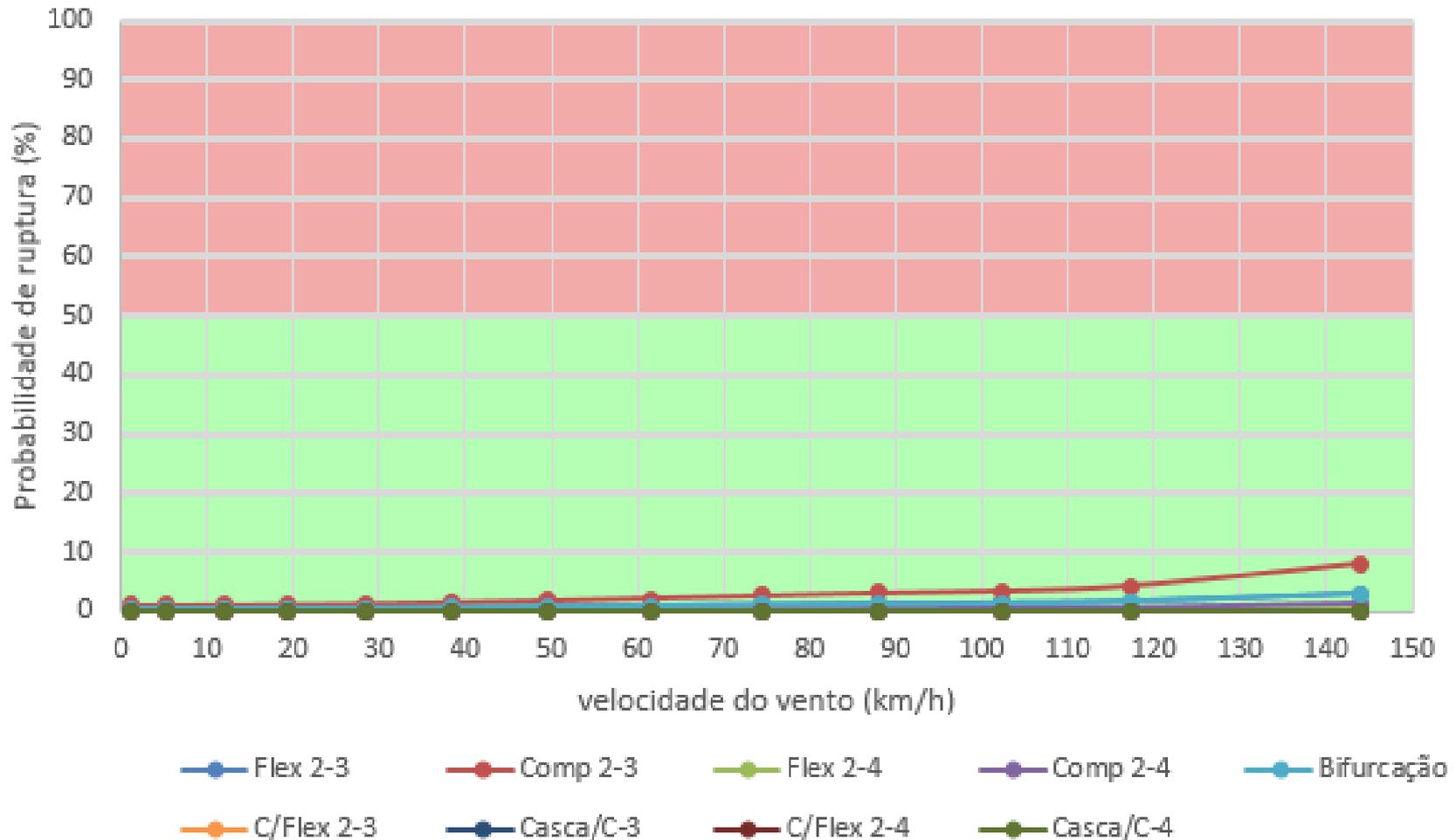
Modelo de cálculo estrutural

Paineira – Florianópolis, SC



Ângulo de abertura – 15 graus

Probabilidade de ruptura x velocidade (km/h)



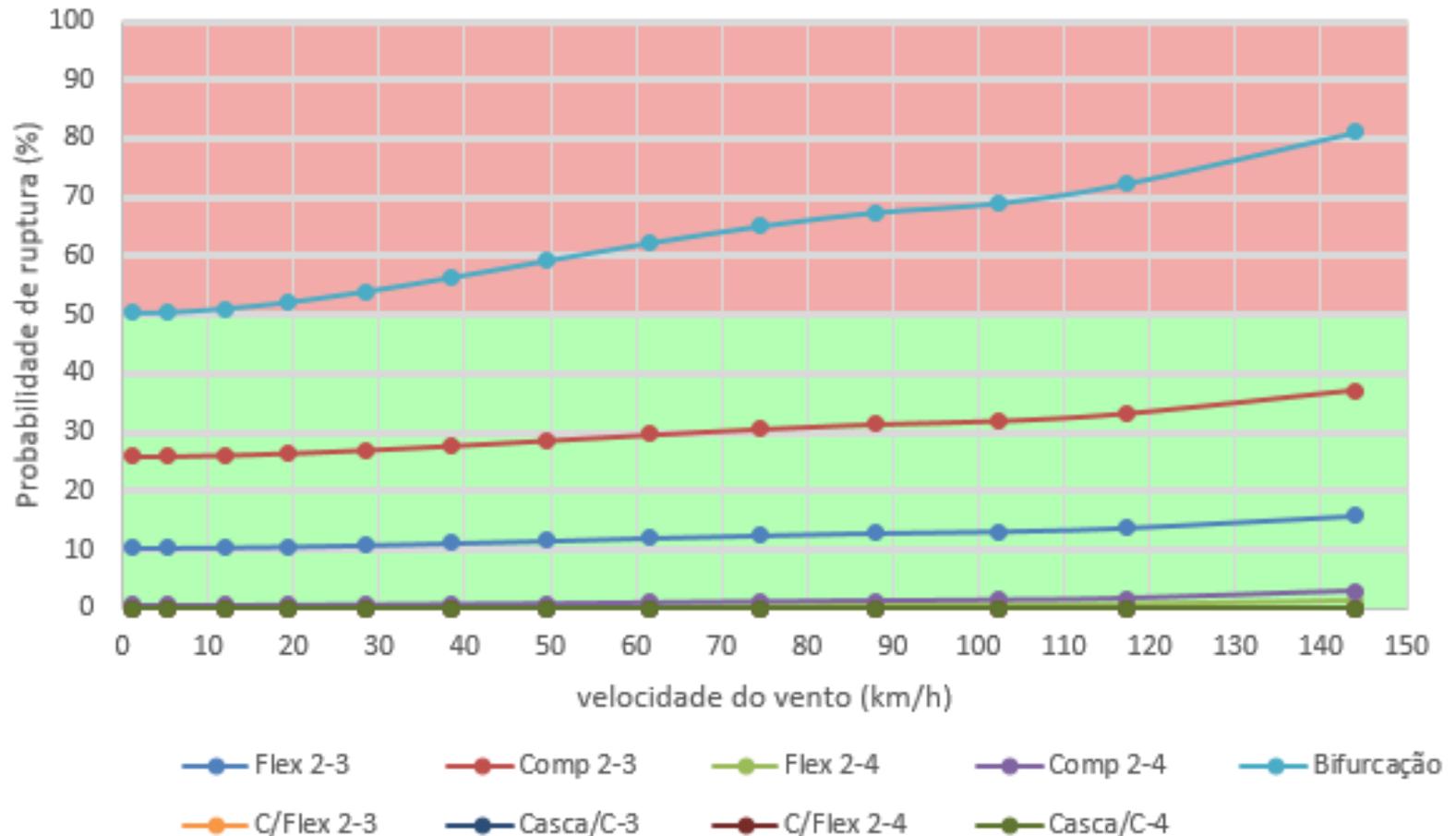
Modelo de cálculo estrutural

Paineira – Florianópolis, SC



Ângulo de abertura – 60 graus

Probabilidade de ruptura x velocidade (km/h)



Modelo de cálculo estrutural

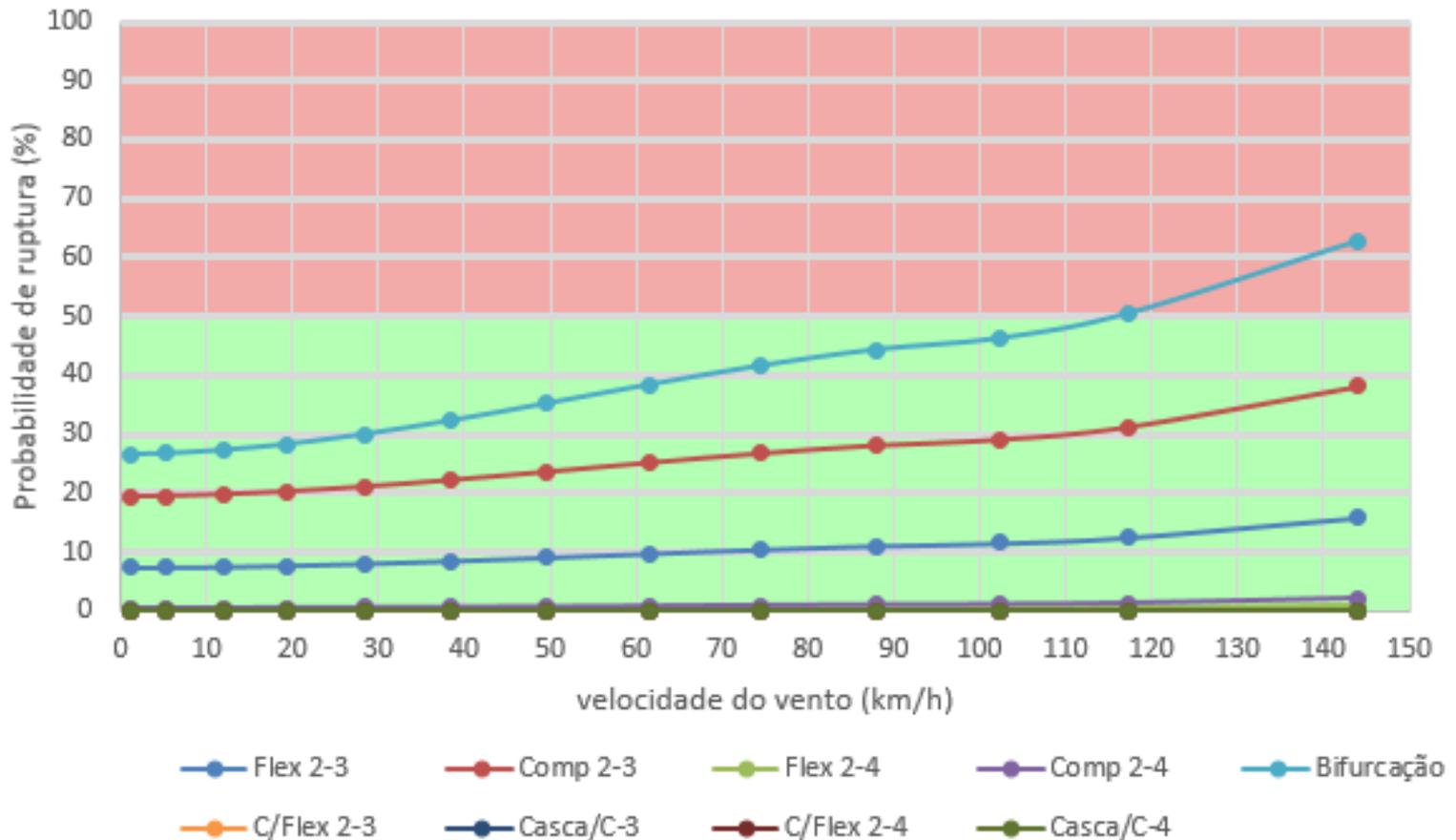
Paineira – Florianópolis, SC



Ângulo de abertura – 60 graus

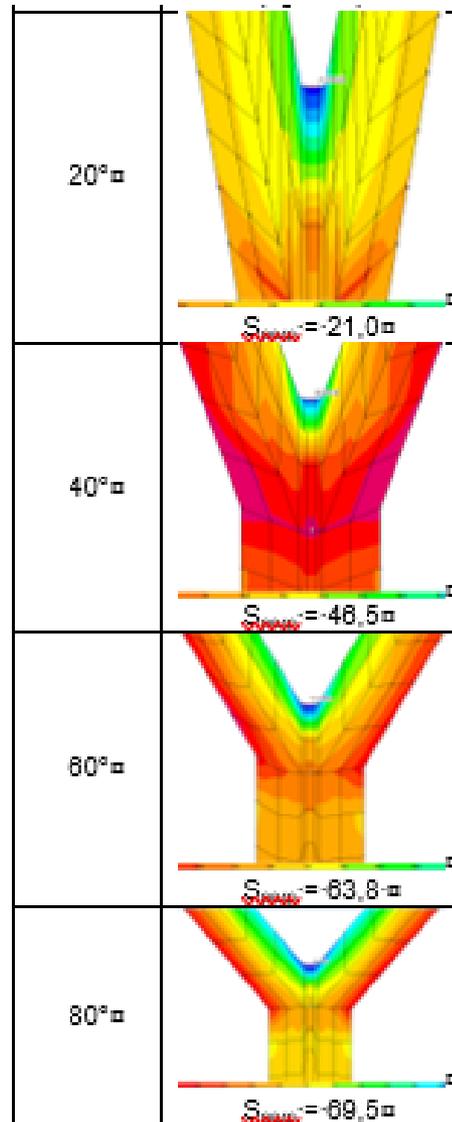
Redução ou rareamento de copa em 20%

Probabilidade de ruptura x velocidade (km/h)

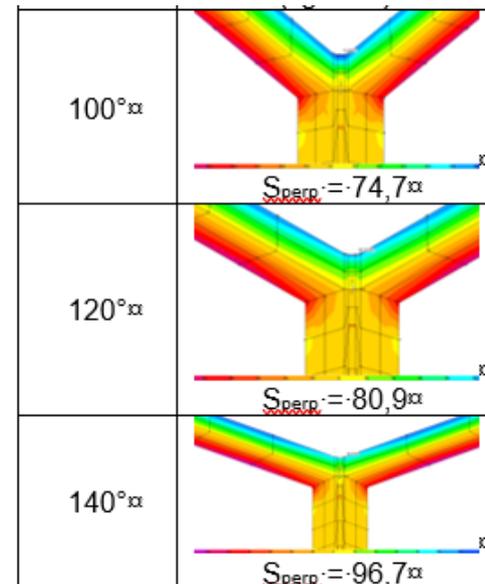


Validação do modelo de cálculo

Modelagem matemática – Método de Elementos Finitos



Ángulo de abertura (graus)	Fator de segurança (FS)
20°	1,43
40°	0,65
60°	0,47
80°	0,43
100°	0,40
120°	0,37
140°	0,31

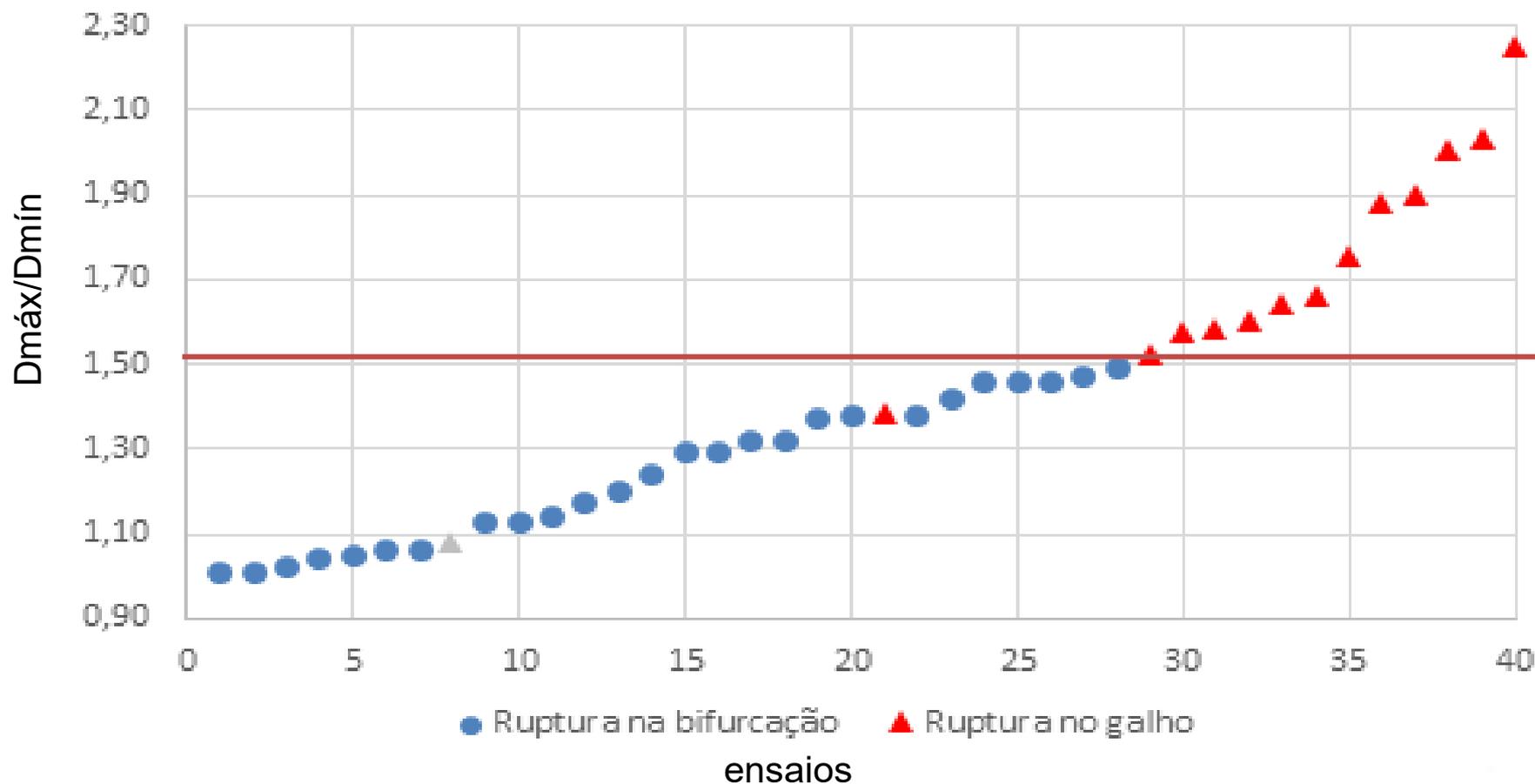


Ensaio mecânico de bifurcações

Parâmetros de tomada de decisão



Relação de diâmetros entre galhos da bifurcação ($D_{\text{máx}}/D_{\text{mín}}$) e modo de ruptura (galho / bifurcação)



Sistema Radicular

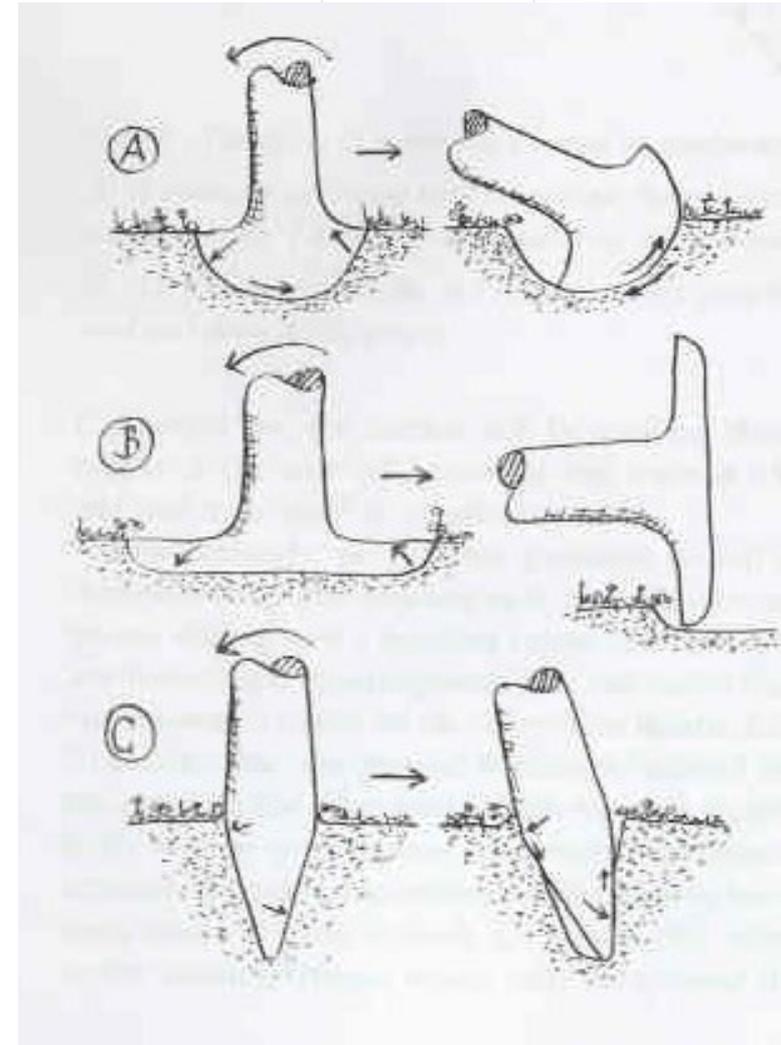
Deslizamento da Fundação (Torrão)



tipuana

Cisalhamento - Torção

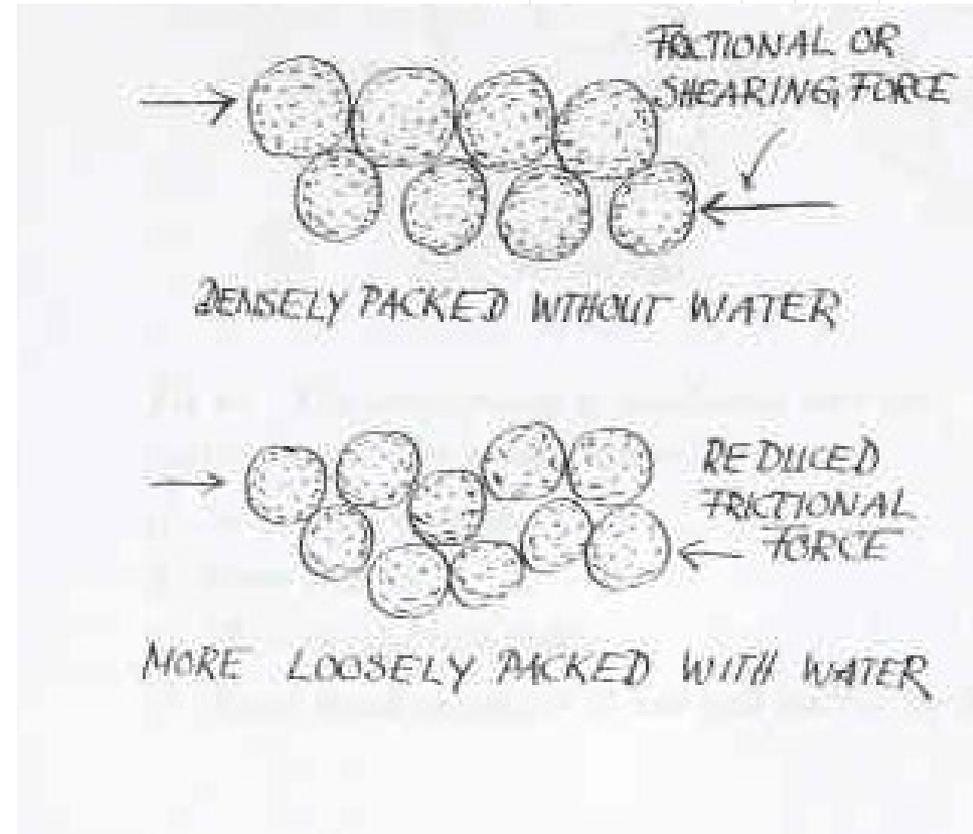
- Arrancamento de diferentes tipos de sistema radicular



Cisalhamento - Torrão

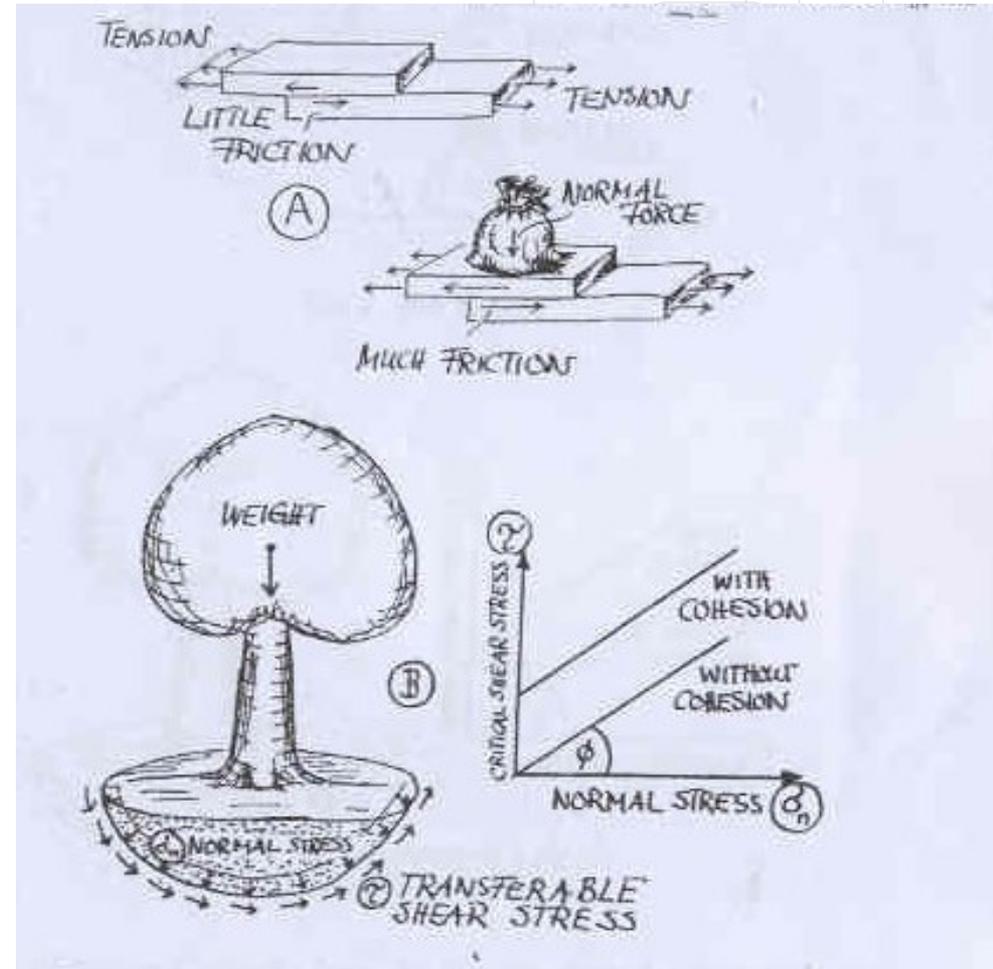


- Lei de Mohr-Coulomb

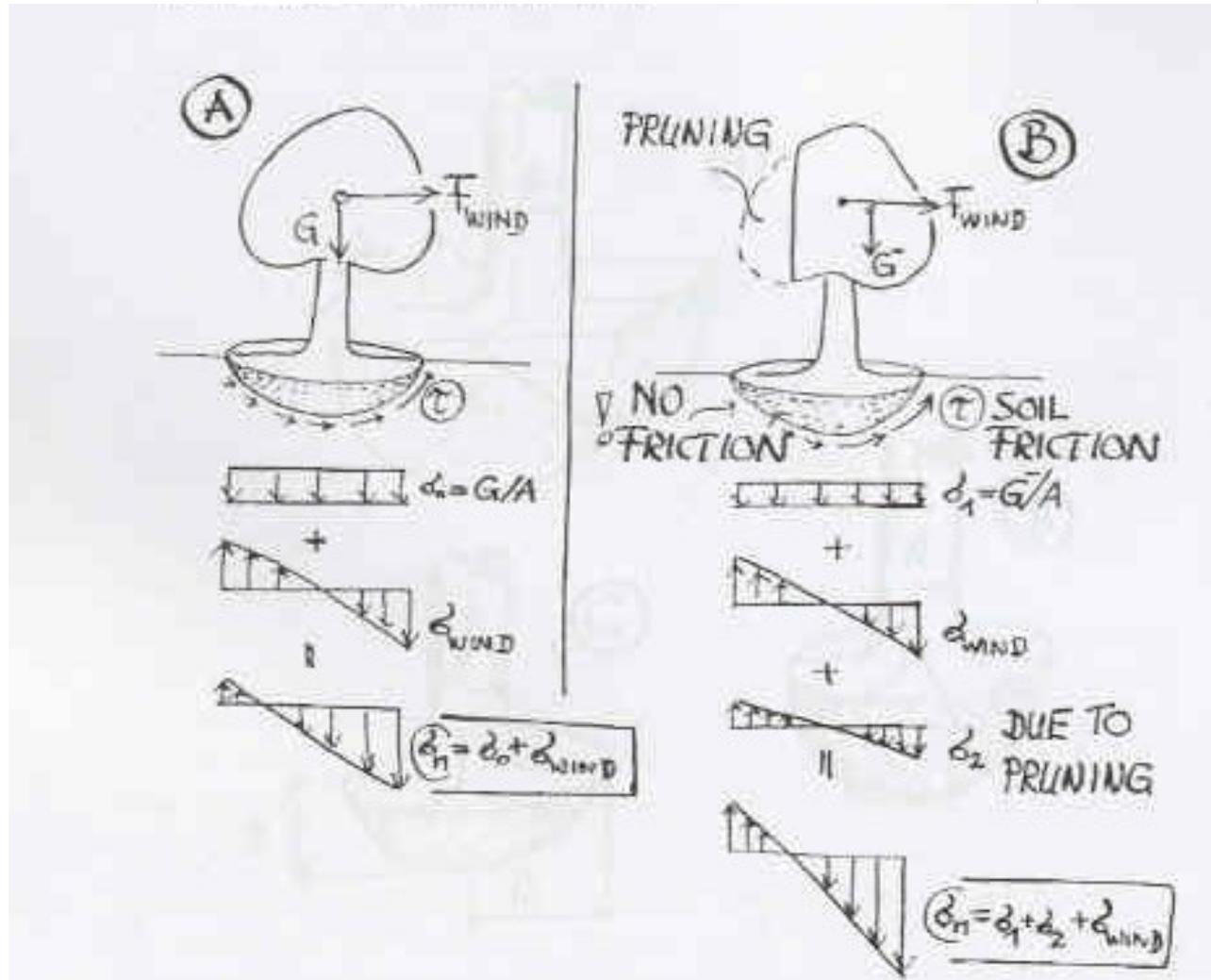


Sistema radicular - cisalhamento

- Lei de Mohr-Coulomb e a mecânica da raiz

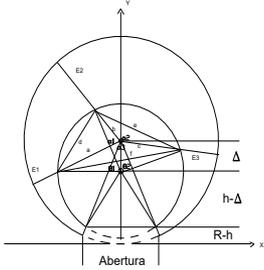


Poda mal planejada



$$CG_{11} = y_{G11} - y_G$$

$$CG_{21} = y_{G21} - y_G$$



$$CG_{22} = y_{G22} - y_G$$

$$J_t = \frac{4A^2_m}{\int \frac{ds}{e}}$$

$$I_x = (I_{x,cg1} + CG_1^2 A_1) - (I_{x,cg2} + CG_2^2 A_2) - (I_{x,cg11} + CG_{11}^2 A_{11}) + (I_{x,cg12} + CG_{12}^2 A_{12}) + (I_{x,cg21} + CG_{21}^2 A_{21}) - (I_{x,cg22} + CG_{22}^2 A_{22})$$

$$CG_2 = y_{G2} - y_G$$

$$CG_{12} = y_{G12} - y_G$$

$$CG_1 = y_{G1} - y_G$$

$$y_G = \frac{A_1 y_{G1} - A_2 y_{G2} - A_{11} y_{G11} + A_{12} y_{G11} + A_{21} y_{G21} - A_{22} y_{G22}}{A}$$

$$\int \frac{ds}{e} = 2 \int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi} \frac{\left(r + \frac{c-r}{2}\right)}{(c-r)} * \left[\frac{(R * \cos \alpha - \Delta) * R * \cos \alpha + R^2 * \sin^2 \alpha}{(R * \cos \alpha - \Delta)^2 + R^2 \sin^2 \alpha} \right] d\alpha$$

$$W_x = \text{mínimo} \left(\frac{I_x}{y_G}; \frac{I_x}{(2R - y_G)} \right)$$

$$J_t = \frac{4A^2_m}{\int \frac{ds}{e}}$$

$$f_{c,0,k} = 0,7 * f_{c0} \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

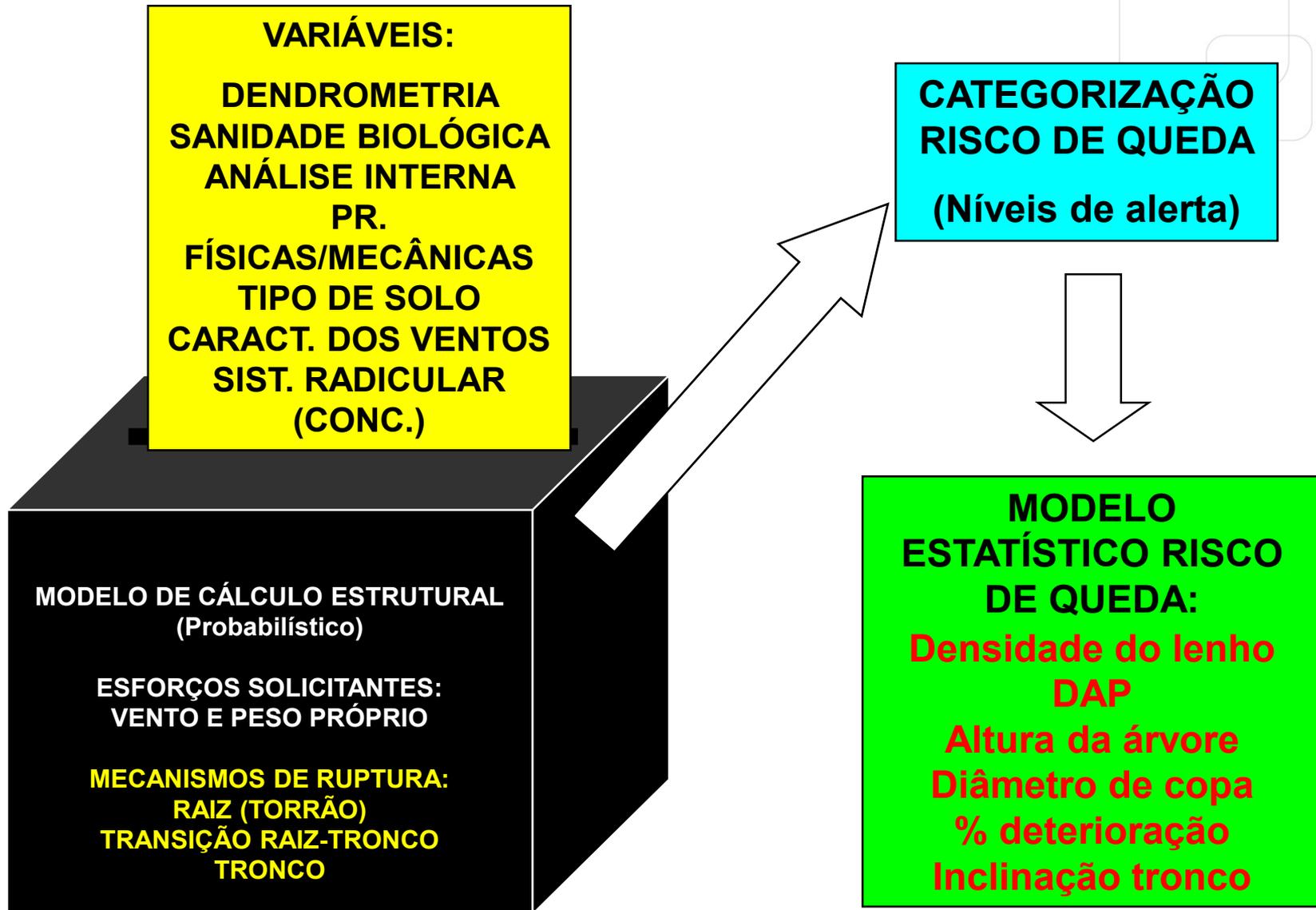
Modelo de Cálculo Estrutural

$$f_{m,k} = 0,7 * f_m * \left(\frac{V_{ref-fm}}{2R} \right)^{0,2} \quad f_{t,90,k} = 0,7 * f_{t,90} * \left(\frac{V_{ref-ft}}{2R} \right)^{0,2} \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$A = \pi R^2 - \pi r^2 - \alpha R^2 + r(\Delta + r \cos \beta) \sin \beta + \beta r^2 - r^2 \cos \beta * \sin \beta \quad \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,x} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$J_t = \frac{2}{3} \int_{\alpha_0}^{\alpha_N} (c-r)^3 \left(r + \frac{c-r}{2} \right) * \left[\frac{(R * \cos \alpha - \Delta) * R * \cos \alpha + R^2 * \sin^2 \alpha}{(R * \cos \alpha - \Delta)^2 + R^2 \sin^2 \alpha} \right] d\alpha \quad M_E = E_{p1} * \left(\frac{1}{3} H_p * D \right) + E_{p2} * \left(\frac{1}{2} H_p * D \right) + P_p * \left(\frac{H_L * D}{2} \right) * K_{fator}$$

Modelo de Cálculo Estrutural (IPT)



Risco de queda de *Tipuana tipu*

Estado de alerta	n°. de tipuanas (%)
Mínimo	932 (84)
Máximo	177 (16)
Total	1109 (100)

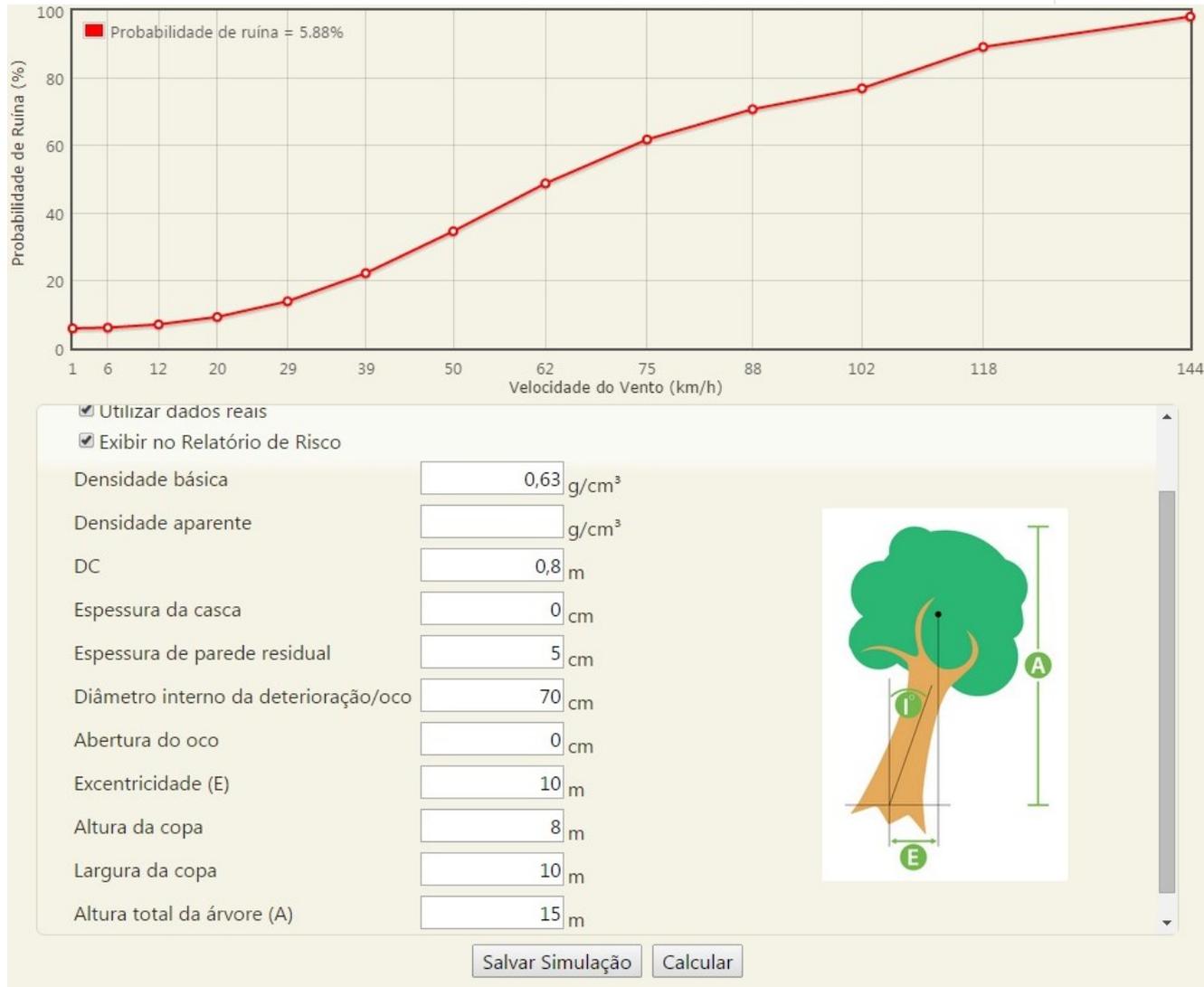


$$Y = 1,073877 - 0,280445 \times \text{DAP} - 0,001465 \times \text{FG} - 0,069562 \times \text{CS} + 0,014252 \times \% \text{DET}$$

98 % acerto - mínimo; 81 % acerto - máximo

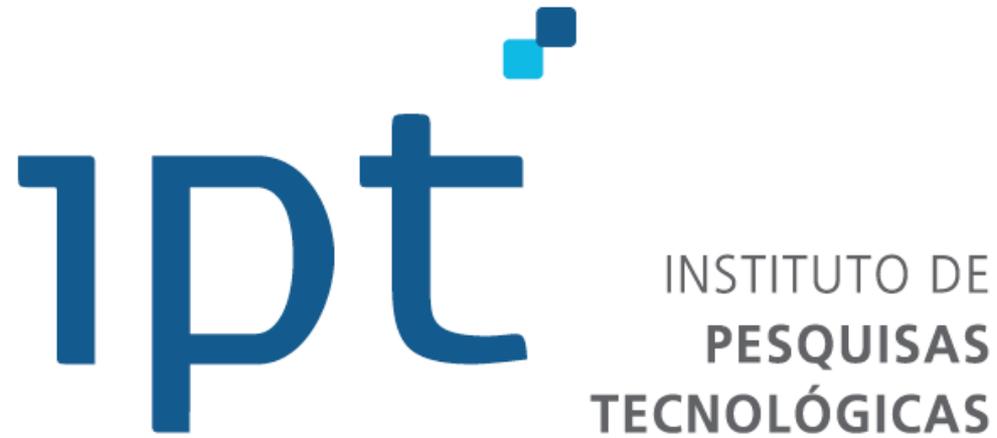
Análise de Risco

Modelo de Cálculo estrutural – Ferramenta auxiliar



Consideração

- Biomecânica – disciplina que reúne conhecimentos de engenharia e biologia
- Ferramenta auxiliar no diagnóstico de árvores



Obrigado!



Declínio



Declínio

Processo de morte

Mas...acelerado
por fatores de
estresse

Não é imediato...pode demorar anos

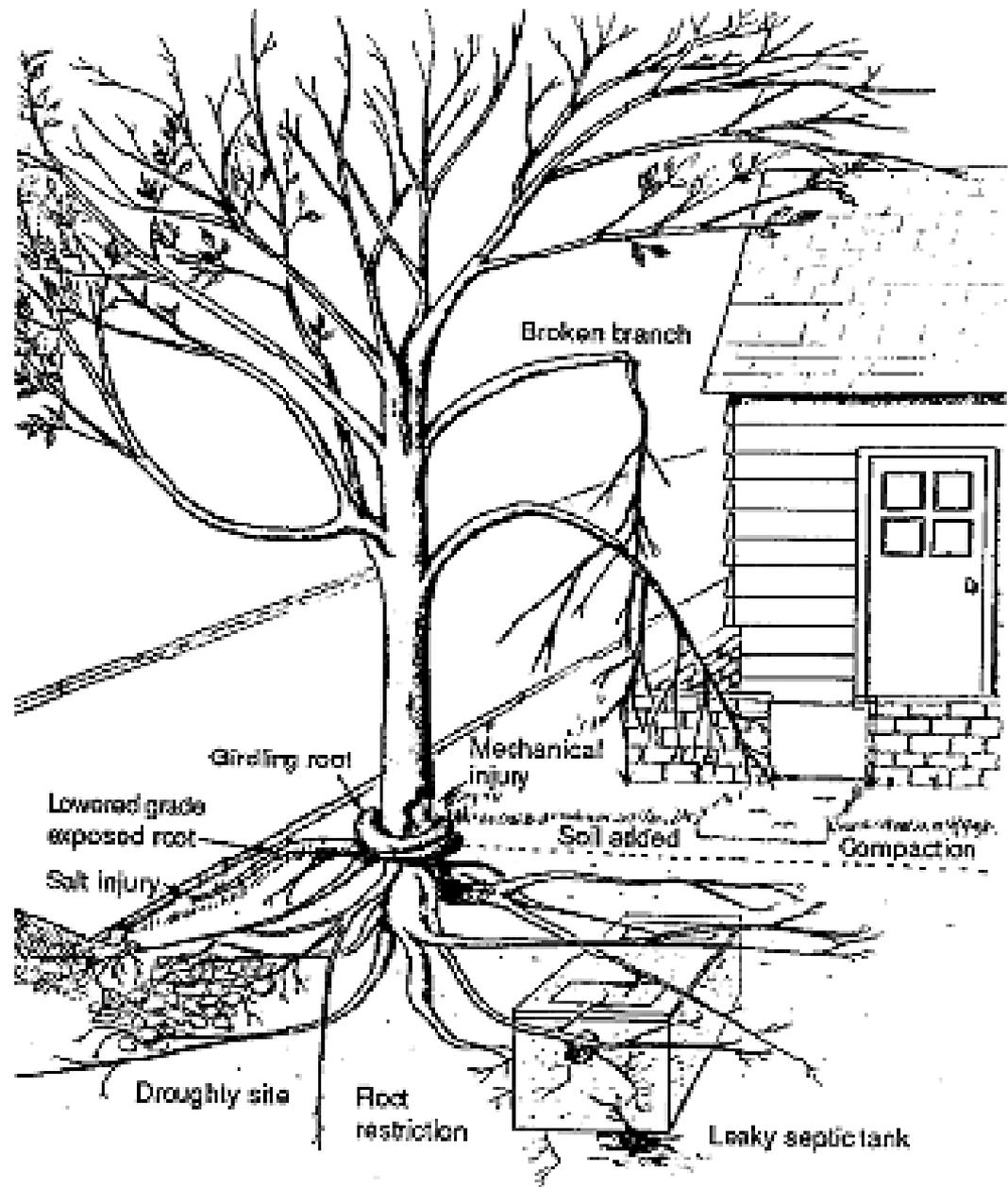


O que inicia esse PROCESSO ?

Modelos:

Um fator crônico

Injúria + estresses secundários



Plantas não adaptadas a uma
certa condição

Bióticos e/ou abióticos

Pode ser causado por
congelamento da raiz

Seca ou encharcamento

Compactação do solo



Alterações
climáticas

Eucalyptus sp.

Deficiências/ alterações nutricionais

Salinidade



Poda dos ápices

Mosca-branca em *Ficus* sp.



Shinghiella simplex
(Hemiptera)



Insetos,
fungos,
vírus,
bactérias,
nematóides

Parasitas



Erva-de-passarinho



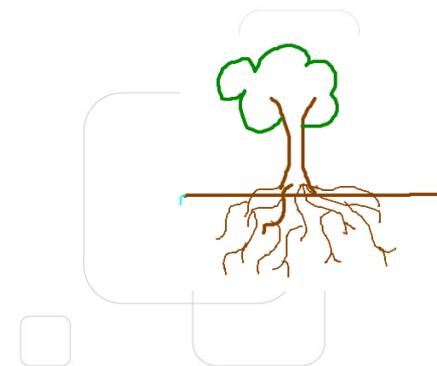
Principalmente!!



Alterar
o solo



Acrescentar solo
reduz oxigênio



Raízes dobradas
tem suas funções
reduzidas

E quais os sintomas desse processo?

Enfraquecimento

Copa seca
(principalmente ápices)

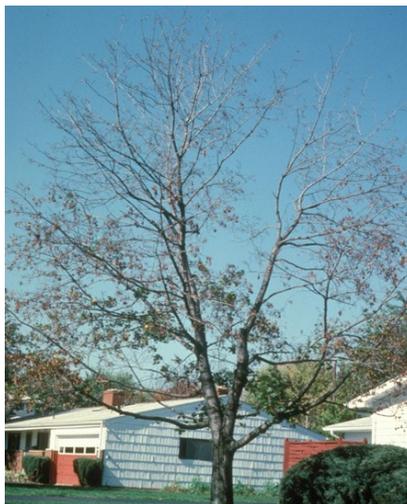
Casca solta

Amarelecimento

Galhos secos

Folhagem esparsa









O melhor é prevenir...



Escolha da espécie adequada



dreamstime.com

Conhecer a espécie e seus problemas mais comuns e suas necessidades

Poda adequada

Não podar raiz

Não utilizar pesticidas

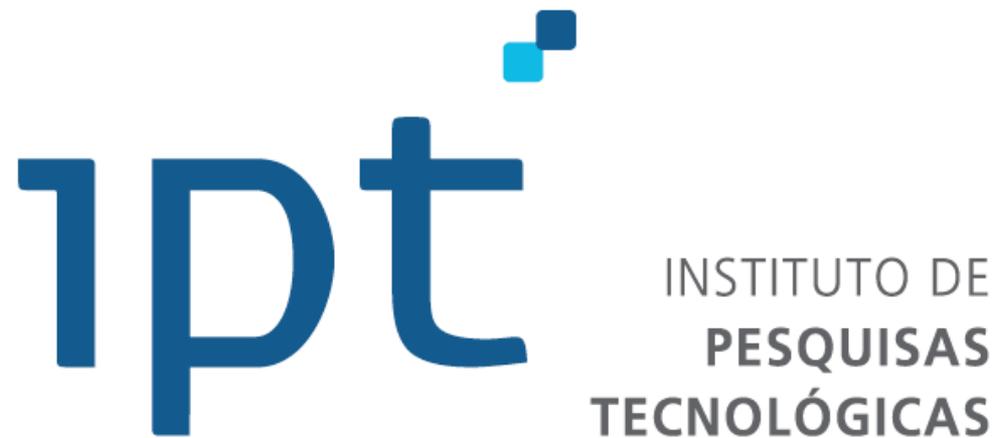
Monitorar problemas



Cuidado ao fazer reformas em lugares com árvores já estabelecidas

Calçada Verde





Obrigado!



Biodeterioração das Árvores: Térmitas e Brocas de Madeira

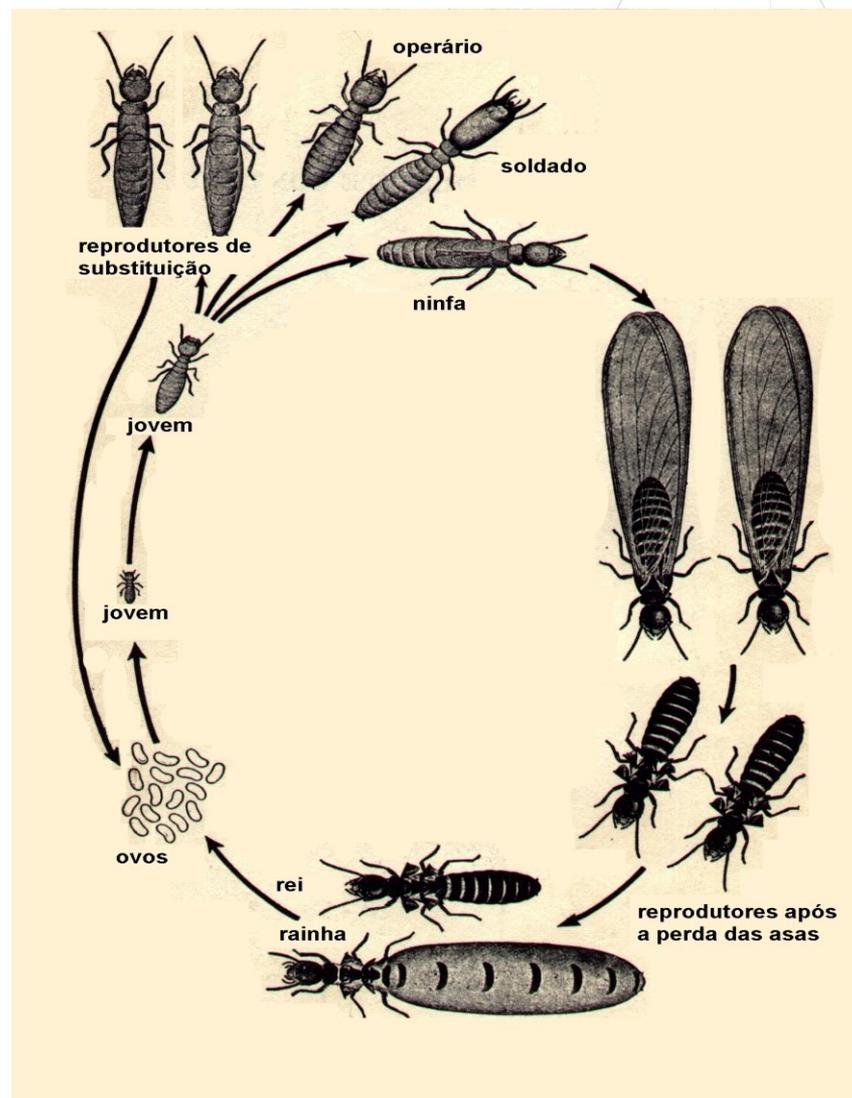


Cupins ou Térmitas



Cupins

- Insetos sociais
- Castas
 - operários
 - soldados
 - reprodutores
 - primários
 - secundários
- Revoada
- Alimentação



Hábito de nidificação

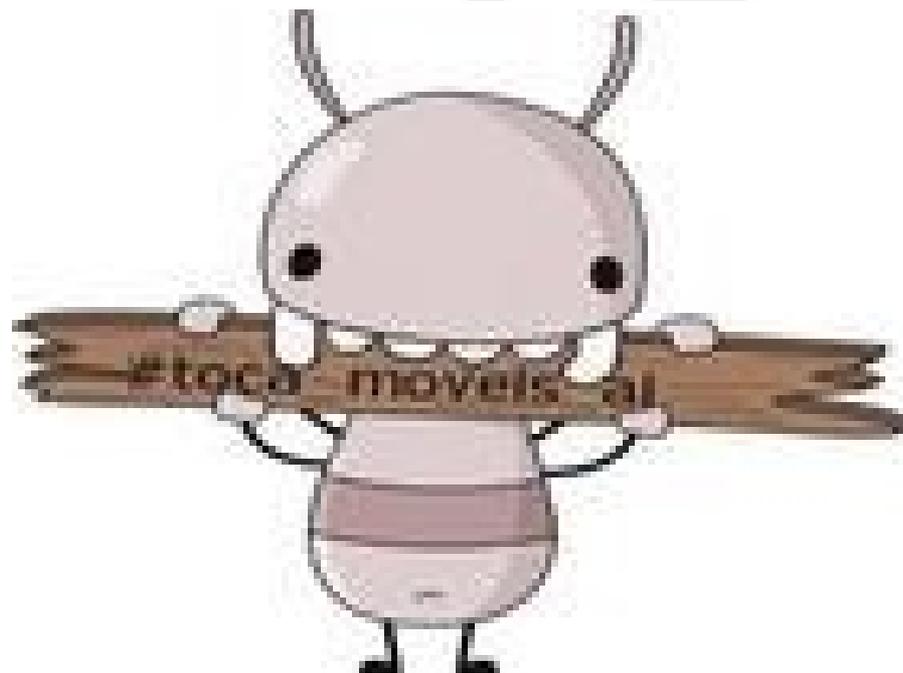
Cupins de madeira:

- seca
- úmida

Cupins subterrâneos

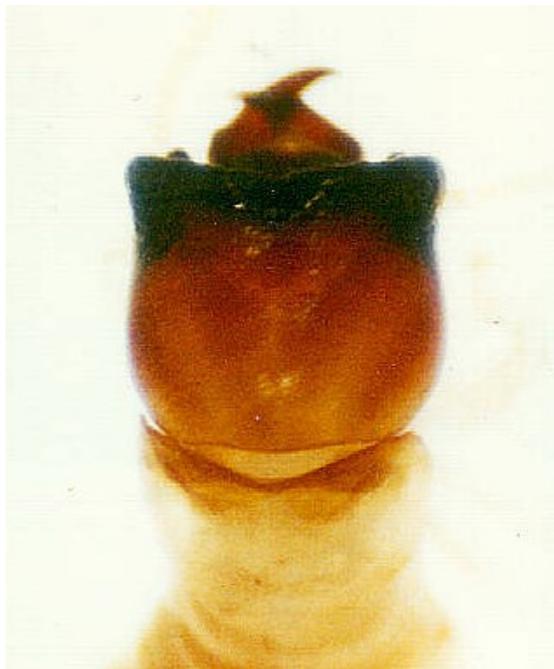
Cupins epígeos

Cupins arborícolas



Cupim de madeira

Família Kalotermitidae



Cryptotermes brevis



Placa de petri com
cupins



Resíduos

Rugitermes sp.



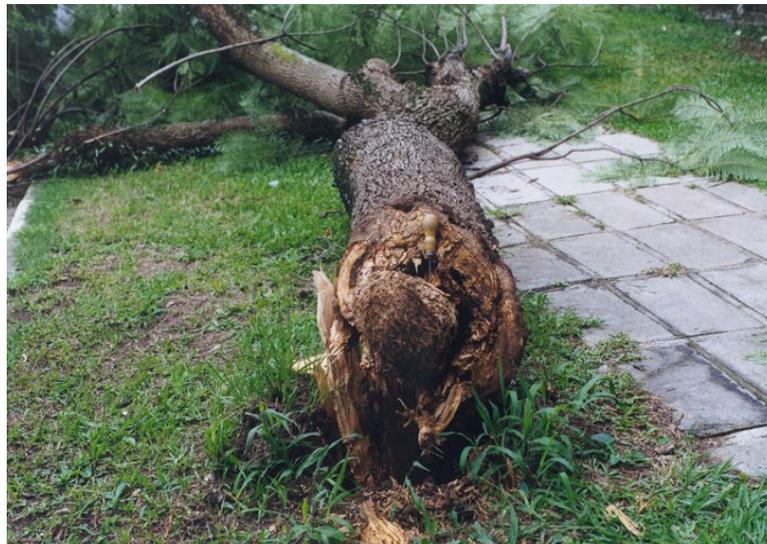
Cupim Subterrâneo



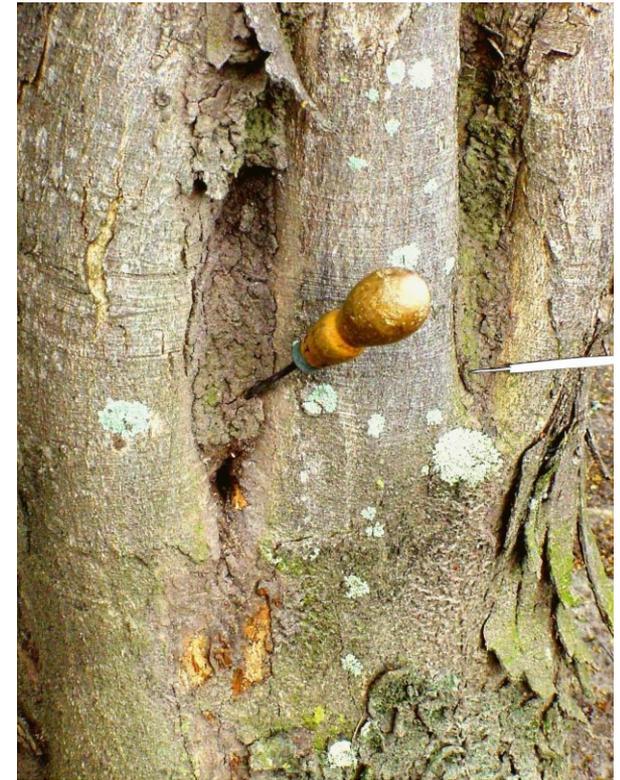
Coptotermes gestroi
(antigo *havilandi*)



Heterotermes spp.



Jacarandá-mimoso



Cupim Arborícola



Nasutitermes sp.



Cupins xilófagos

■ Espécies

■ *Coptotermes gestroi*

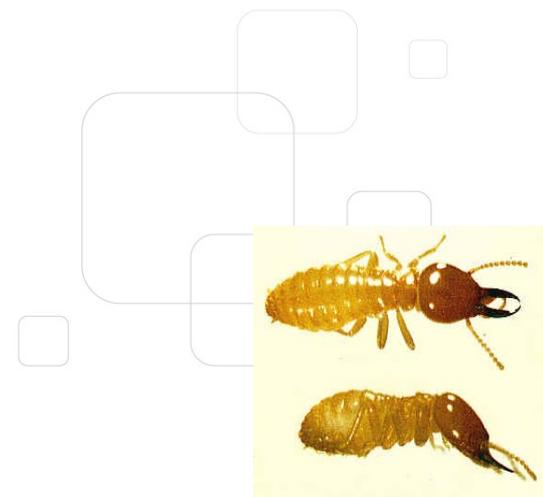
- AM, BA, CE, PE, SP, RJ, RS, PB, MG

■ *Heterotermes sp.*

- AM, BA, AL, PE, SP, RJ, PB, MG

■ *Nasutitermes sp.*

- AM, BA, CE, PE, SP, RJ, RS, PB, MG



Cupins não xilófagos

■ Espécies

- *Embiratermes* spp.
- *Cornitermes* spp.
- *Neocapritermes* spp.
- ...



Cornitermes sp. - sibipiruna

Associação Fungos e Cupins Subterrâneos

- *Tipuana tipu*
 - Ocorrência externa ($X^2 = 14,85$; $\Phi = 0,12$)
 - Exame macroscópico (91% das amostras)



Ensaio de suscetibilidade em *T. tipu*



CERNE SADIO		
Perda de massa (%)		
mín.	médio	máx.

CERNE APODRECIDO		
Perda de massa (%)		
mín.	médio	máx.

E
X
T
E
R
N
O



Coníferas e Folhosas

Pinheiro-do-paraná



Tipuana



Jacarandá-mimoso



Os cupins causam a morte da árvore ?

- **Ataque secundário** (maioria dos autores)
- Causam declínio das árvores (Kalshoven, 1962; Lai et al., 1983)
 - progressão do ataque para os tecidos vivos
 - ataque de raízes



Cupins em Árvores e Edificações



Cupins subterrâneos

C. gestroi



Estrutura de ninho sob escada



Caixão perdido com madeira



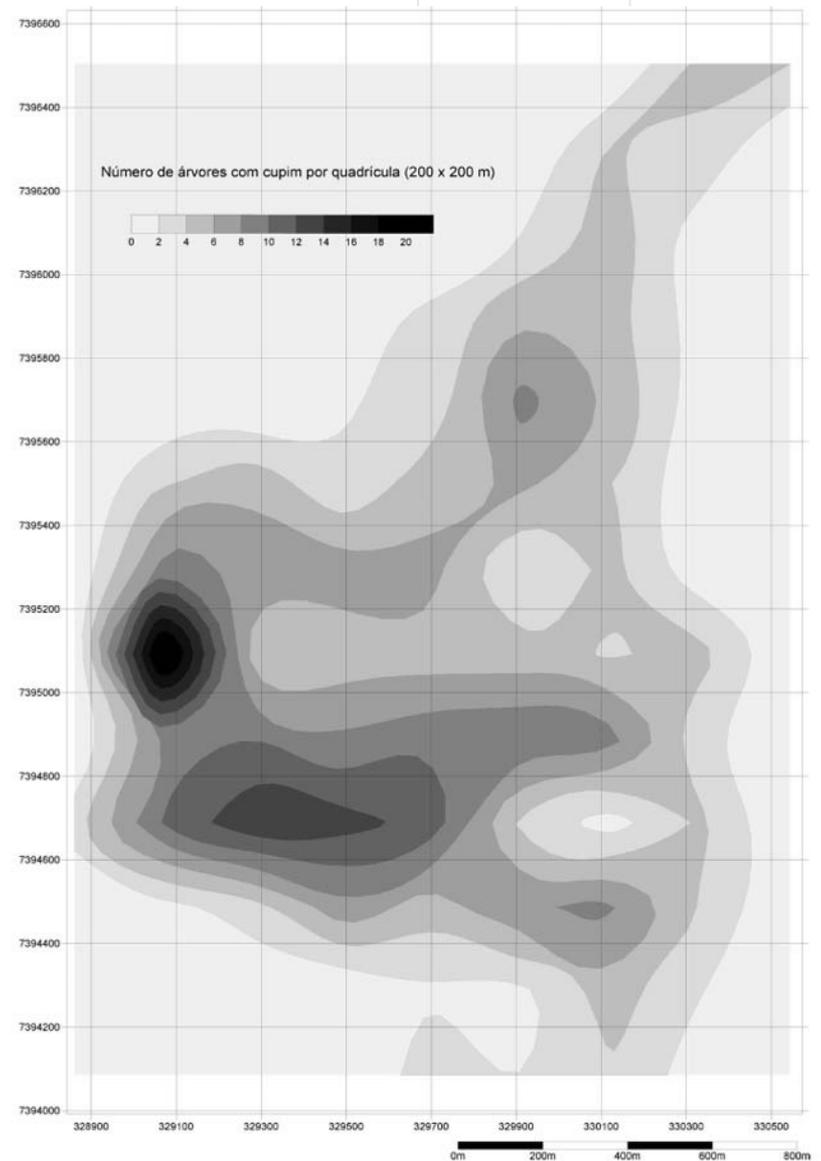
Espaço perdido com estrutura de ninho

Cupins Subterrâneos

(ROMAGNANO, 2007)

■ Gestão ambiental

- Mapa de tendências (árvores e edificações)



Conclusões

- Cupins em árvores
 - Alteram o estado de sanidade biológica árvores
 - Cupins subterrâneos – organismos secundários
 - Associação com queda de árvores urbanas
- Controle (custo x benefícios)
 - Associação árvores e edificação



Coleobrocas

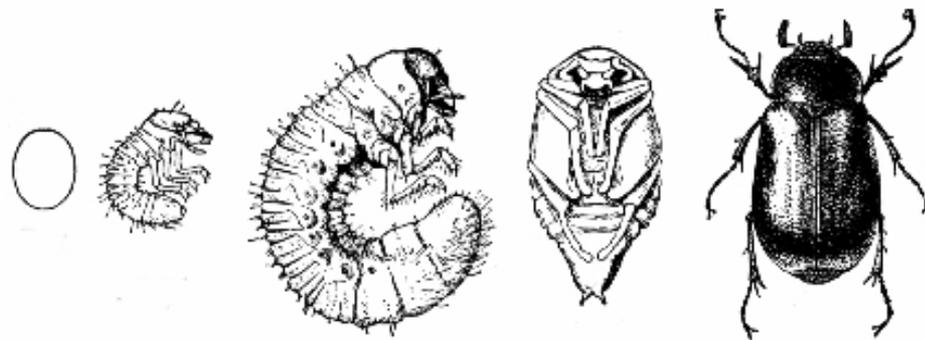
“Coleobroca não é
causa, e sim,
consequência...”

(Prof. Evôneo Berti-ESALQ/USP)



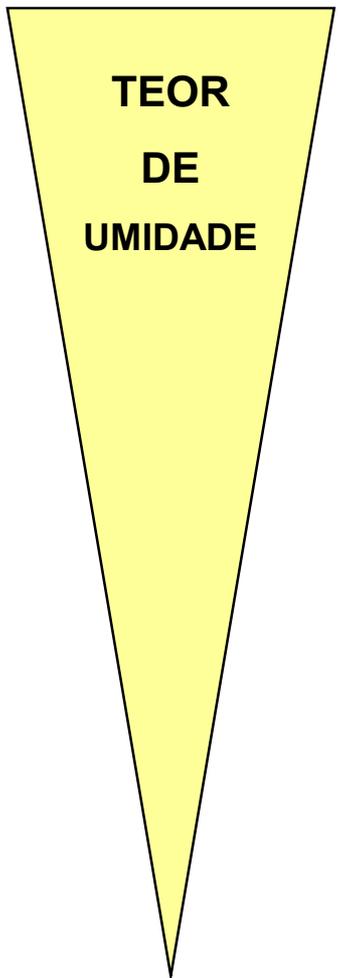
Coleobrocas

- Ordem Coleoptera
- Milhares de espécies
- Ocorrência: todas etapas (árvore –madeira) - **hábito x umidade da madeira**
- Ciclo de vida:



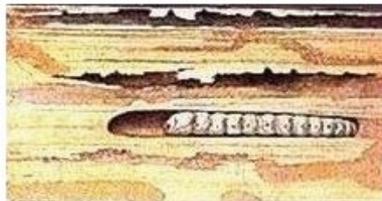
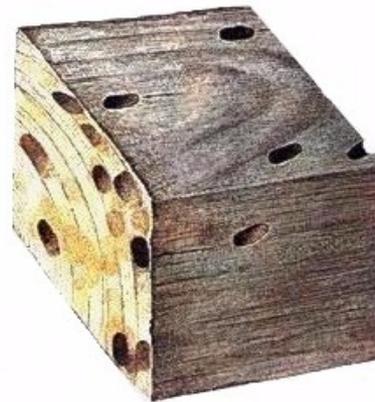
Complete metamorphosis; life stages of a beetle, *Phyllophaga* sp.

Coleobrocas



Família Cerambycidae

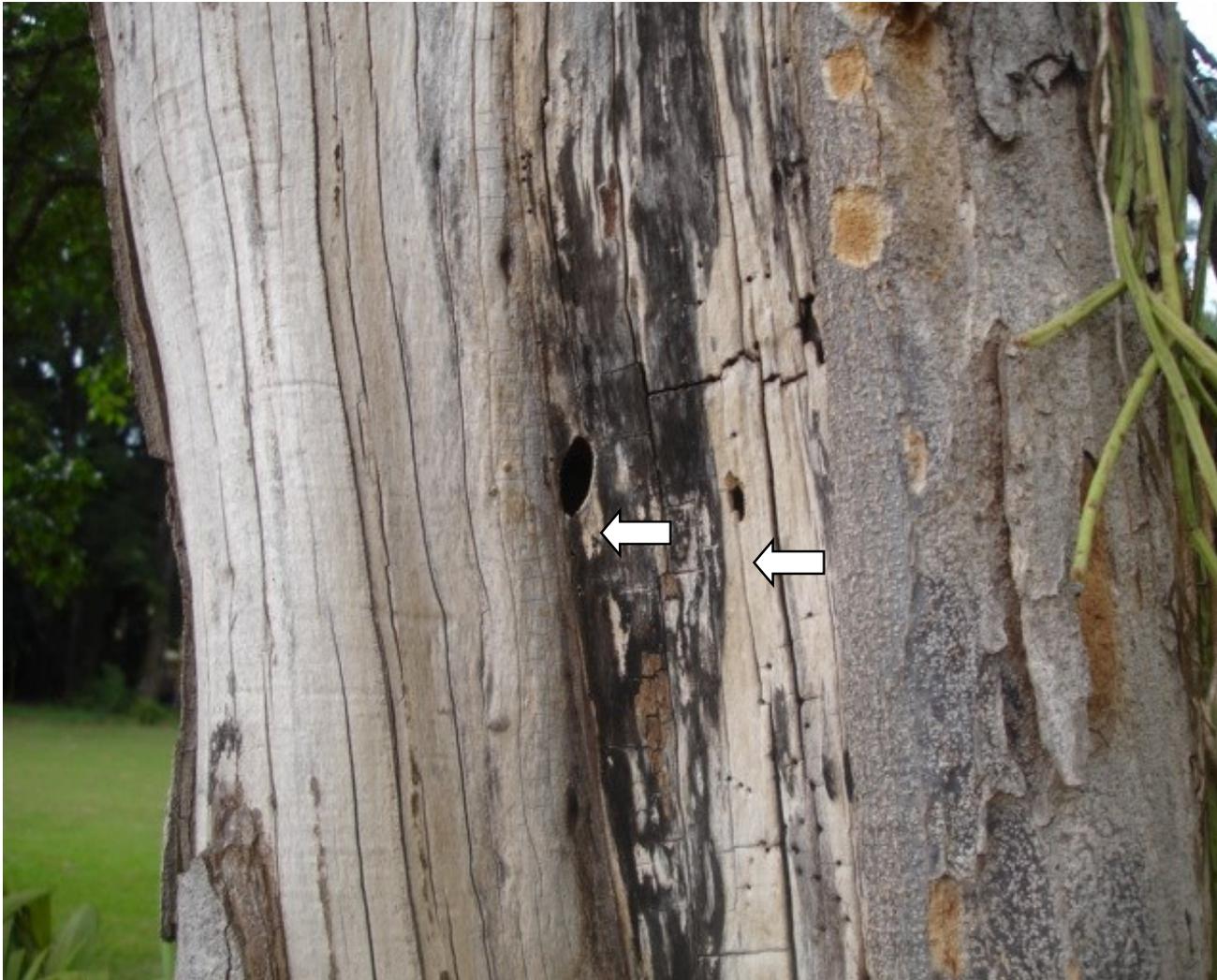
- Atacam árvores (elevado teor de umidade)



Família Cerambycidae

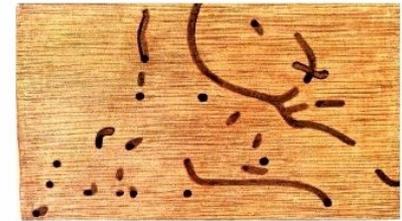
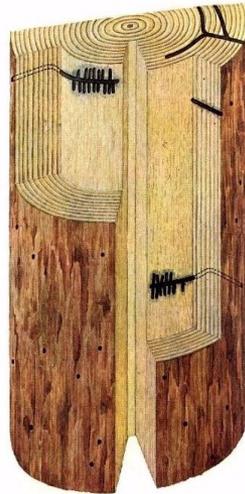
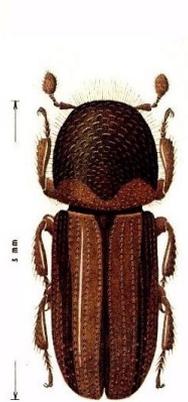


Família Cerambycidae



Famílias Scolytidae e Platipodydae

- Injúrias de árvores (elev. teor de umidade)
 - substâncias químicas liberadas pela madeira - atração
- Associação com fungos manchadores



Escolitídeos e/ou platipodídeos



Ordem Coleoptera - Platipodídeos



Pau-brasil (Girardi et al., 2006)



***Platypus mutatus* (3 mm)**

Coleobrocas vs apodrecimento



Coleobrocas



Buprestidae



*munguba-Pachira
aquatica*



Euchroma gigantea



Conclusão – coleobrocas

- Coleobrocas são importantes organismos no processo de biodeterioração de árvores
- Causa de queda de árvores?
- Identificação e conhecimento da biologia são essenciais

Mosca- branca (Ordem Hemiptera)

Singhiella simplex



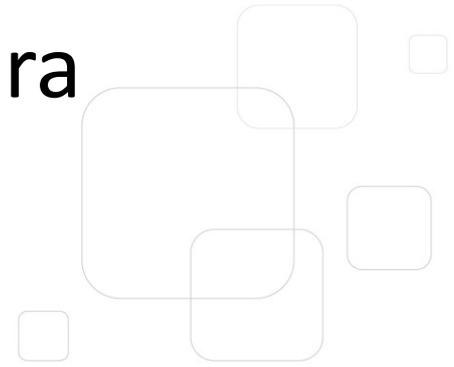
Desfolia em *Ficus benjamina*



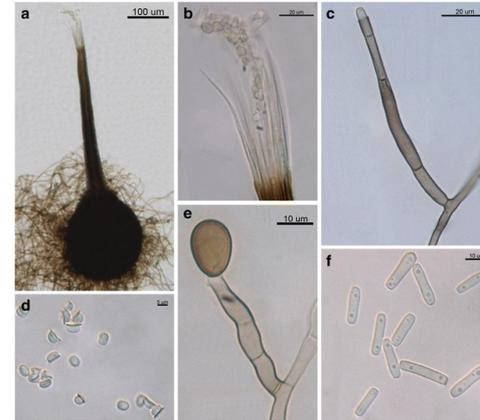
- Aspersão de inseticida?
- Poda?
- Evitar disseminação?

“Seca”ou “murcha” da mangueira

Ceratocystis fimbriata



Ceratocystis fimbriata



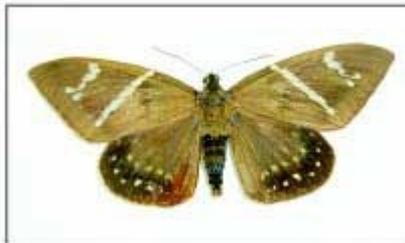
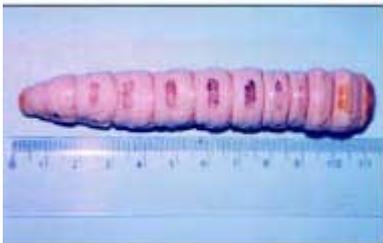
Hypocryphalus mangiferae

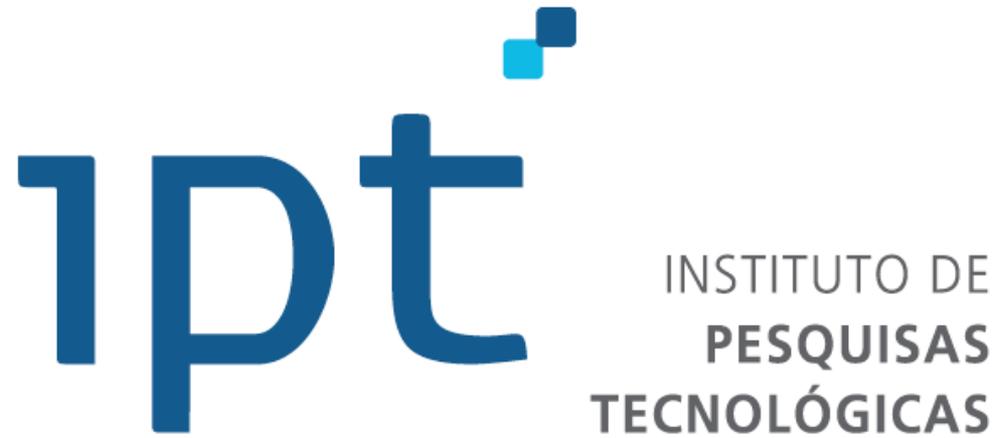
Outros insetos “broqueadores”...

Ordem Lepidoptera (mariposas)
Broca-da-coroa-foliar
Eupalamides deadalus



Ordem Hymenoptera
Vespa-da-madeira
Sirex noctilio





Obrigado!

O problema...



Quais os principais fatores associados à queda de uma árvore?

Reflexão do grupo



Olhar do IPT...

FATORES INTRÍNSECOS (ÁRVORE)

(Propriedades; defeitos; tensões de crescimento; peso próprio; dendrometria; arquitetura)



FATORES EXTRÍNSECOS (AMBIENTE)

(Solo; vento; condições de entorno; **organismos xilófagos**; patógenos)



AÇÃO ANTRÓPICA

(poda inadequada; injúrias; falta de planejamento e informação)





Biodeterioração das Árvores



Fitossanidade/Fitopatologia

■ Doenças

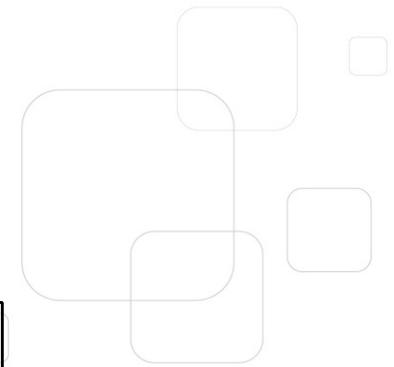
- Vírus
- Bactérias
- Nematóides
- Fungos
- Protozoários

■ Pragas

- Insetos
- Plantas
- Outros animais

• O que abordaremos?

- Fungos apodrecedores
- Insetos xilófagos
 - Cupins
 - Coleobrocas
- Outros insetos
 - Mosca-branca
- Plantas
 - Figueira mata pau
 - Erva de passarinho
 - Cipó chumbo



**Queda de
árvores**

**Declínio ou
morte**



Biodeterioração de árvores



cupins



Fungos apodrecedores



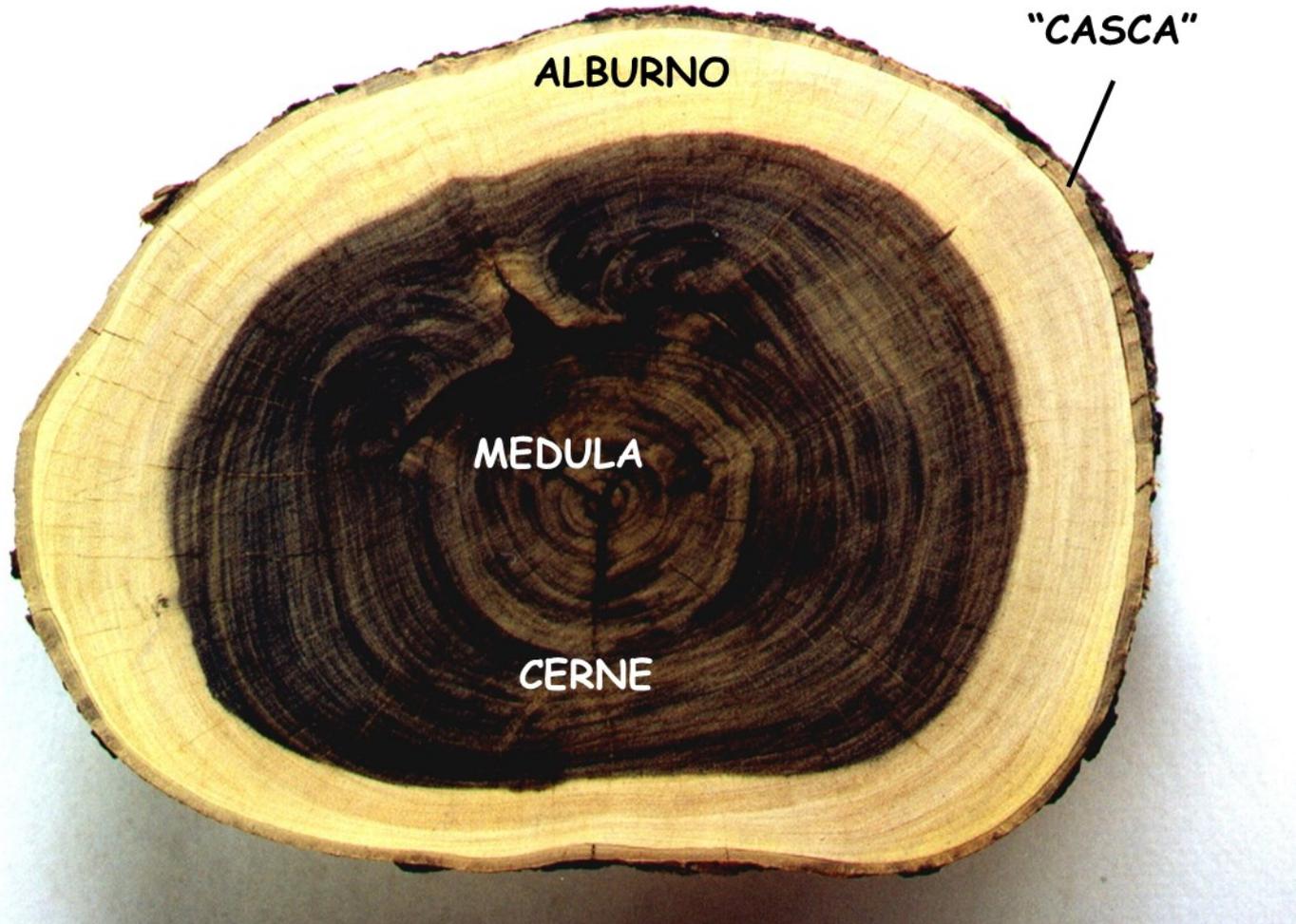
Coleobrocas

Fatores envolvidos na biodeterioração



- Temperatura
- Disponibilidade de oxigênio
- pH
- **Água**
- **Durabilidade natural (extrativos)**

Lenho das Folhosas (xilema)

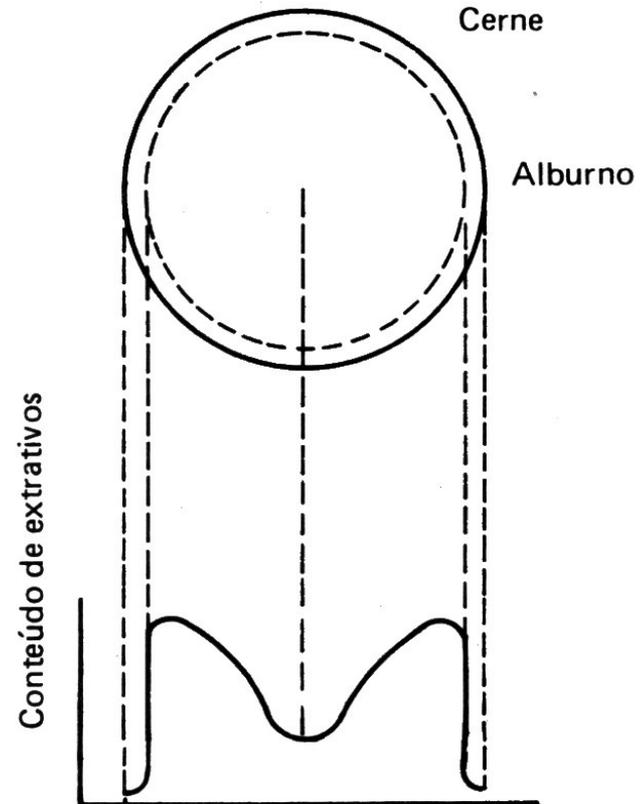


Durabilidade natural

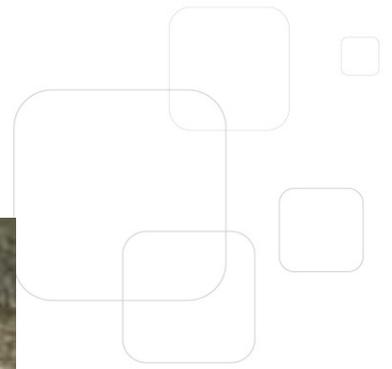
- **Característica intrínseca** da espécie botânica;
- Relacionada apenas com à região do **cerne**;
- Todo o **alburno é susceptível** ao ataque por organismos: insetos, fungos e brocas

Durabilidade natural do cerne

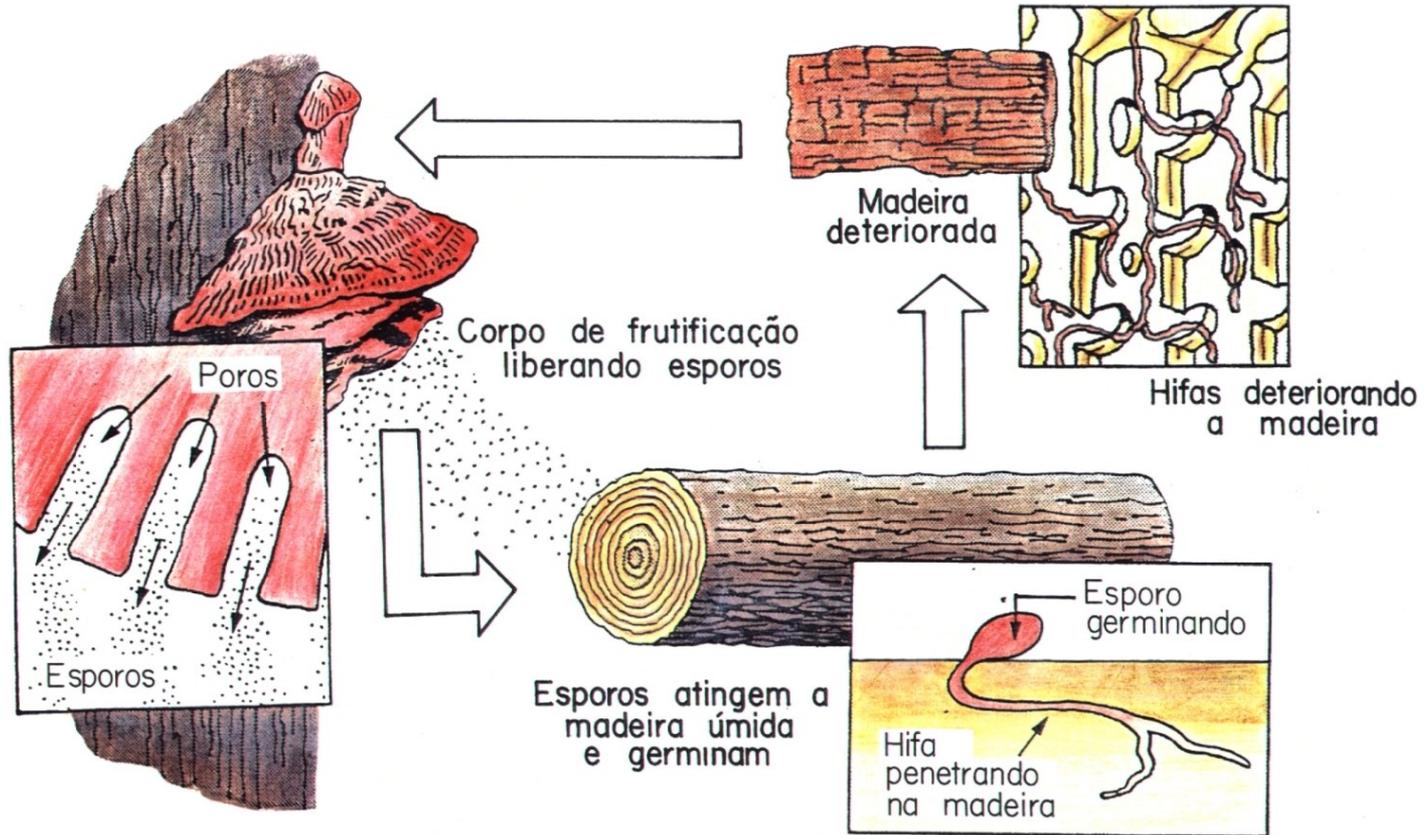
- Aspectos nutricionais
- Anatomia da madeira
- Materiais inorgânicos
- **Extrativos**



Fungos



Ciclo de vida



Danos causados



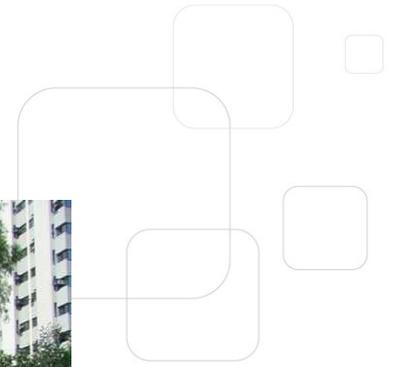
Ganoderma sp.



Rua Bela Cintra, SP

Praça, John Lennon, SP

Apodrecimento do colo



Feridas/podas



Galhos



Apodrecimento no sistema radicular



Fungos xilófagos

(Classificação enzimática - Käärik, 1975)



- Fungos emboloradores e manchadores
- Fungos apodrecedores
 - Podridão branca
 - Podridão parda
 - Podridão mole

Fungos emboloradores e manchadores

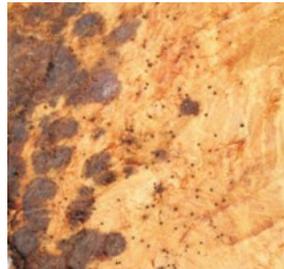


Ascomicetos – Murcha

Murcha vascular

Ferreira et al. (2013)

- *Ceratocystis fimbriata*
- Disseminação
 - Solo
 - Contato de raízes
 - Besouros de ambrosia
- Controle
 - Mudas selecionadas
 - Corte de árvores e galhos



Plantas hospedeiras	Família	Estado	Referência
<i>Acacia decurrens</i>	Leguminosae	SP	Ribeiro et al., 1988
<i>Acacia mearnsii</i>	Leguminosae	RS	Santos & Ferreira, 2003
<i>Actinidia deliciosa</i>		RS	Sonego et al., 2010
<i>Annona squamosa</i>	Annonaceae	RJ	Silveira et al., 2006
<i>Cajanus indicus</i>	Leguminosae	SP	Viégas, 1944
<i>Carapa guianensis</i>	Meliaceae	RO e AM	Halfeld-Vieira et al, 2012; Valdetaro, 2012
<i>Cassia renigera</i>	Leguminosae	SP	Ribeiro et al., 84; 1987
<i>Cassia fistula</i>	Leguminosae	SP	Galli, 1958
<i>Colocasia esculenta</i>		SP	Harrington et al., 2005
<i>Crotalaria juncea</i>	Leguminosae	SP/MG/CE/ PE/DF	Costa & Krug 1935, Viégas, 1944, Batista, 1947; Melo Filho et al., 2002
<i>Crotalaria expectabilis</i>	Leguminosae	SP	Viégas, 1944
<i>Crotalaria retusa</i>	Leguminosae	SP	Galli, 1958
<i>Daucus carota</i>	Apiaceae	RJ	Carvalho e Carmo, 2003
<i>Eucalyptus</i>	Mirtaceae	BA/MS/MG/SP/ MA/ES/PE/AL /PA/RS	Ferreira, et al., 1999; Ferreira, 2005; Alfenas et al., 200 9; Ferreira et al., 2011
<i>Gmelina arborea</i>	Verbenaceae	PA/SP	Muchovej et al., 1978; Ribeiro, 1982
<i>Hevea brasiliensis</i>	Euphorbiaceae	PA/SP/AM	Albuquerque et al. 1972; Silveira et al., 1986.
<i>Lactuca sativa</i>	Chiocoriaceae	RR	Halfeld-Vieira e Nechet, 2006
<i>Mangifera indica</i>	Anacardiaceae	SP/PE/BA/RJ/ MG/CE/PI	Arruda, 1940; Viégas, 1960; Batista, 1960; Lima et al., 2000 ; Silveira et al., 2006; Rossetto & Ribeiro, 2001
<i>Nicotiana tabacum</i>	Solanaceae	SP	Viégas, 1944
<i>Persea americana</i>	Lauraceae	PE	Mariano & Menezes, 1989
<i>Ricinus communis</i>	Euphorbiaceae	SP	Viégas, 1944
<i>Spathodea campanulata</i>	Bignoniaceae	PE	Mariano & Menezes, 1989
<i>Tectona grandis</i>	Lamiaceae	MT	Firmino et al., 2012
<i>Theobroma grandiflorum</i>	Sterculiaceae	BA	Oliveira et al., 2006
<i>Theobroma cacao</i>	Sterculiaceae	RO/BA/ES	Bastos & Evans, 1978; Bezerra et al., 1998; Oliveira & Bezerra, 2005; CEPLAC, 2007

Ascomicetos – Murcha

Murcha vascular

- Murcha de eucalipto ou murcha-de-ceratocystis (cancro)

Ferreira et al. (2013)

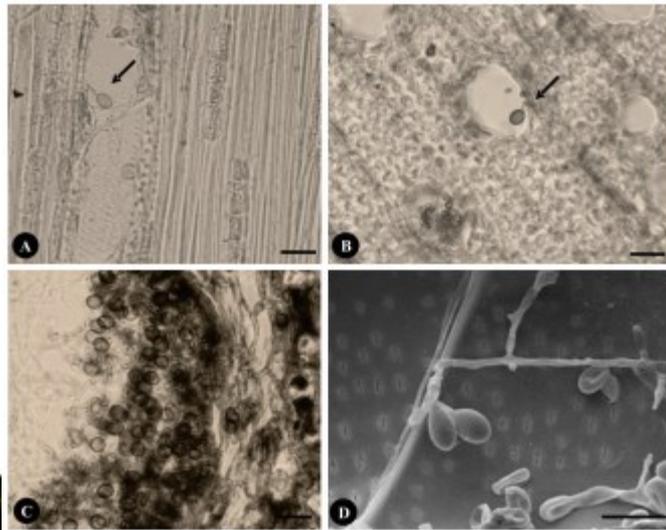


FIGURA 2 - Sintomas externos da murcha-de-ceratocystis em eucalipto. A) Sintomas de murcha em rebrota; B) Murcha e morte em árvores de seis anos de idade; C) Murcha de brotações ao longo do tronco; D) Depressão na casca devido a colonização interna do tronco.

Tipos de podridão



Estratégias de Apodrecimento



Apodrecimento do cerne
("heart rot")



Apodrecimento do alburno – injúria
("sap rot")

Os fungos apodrecedores afetam a vitalidade das árvores?

Estratégias de colonização

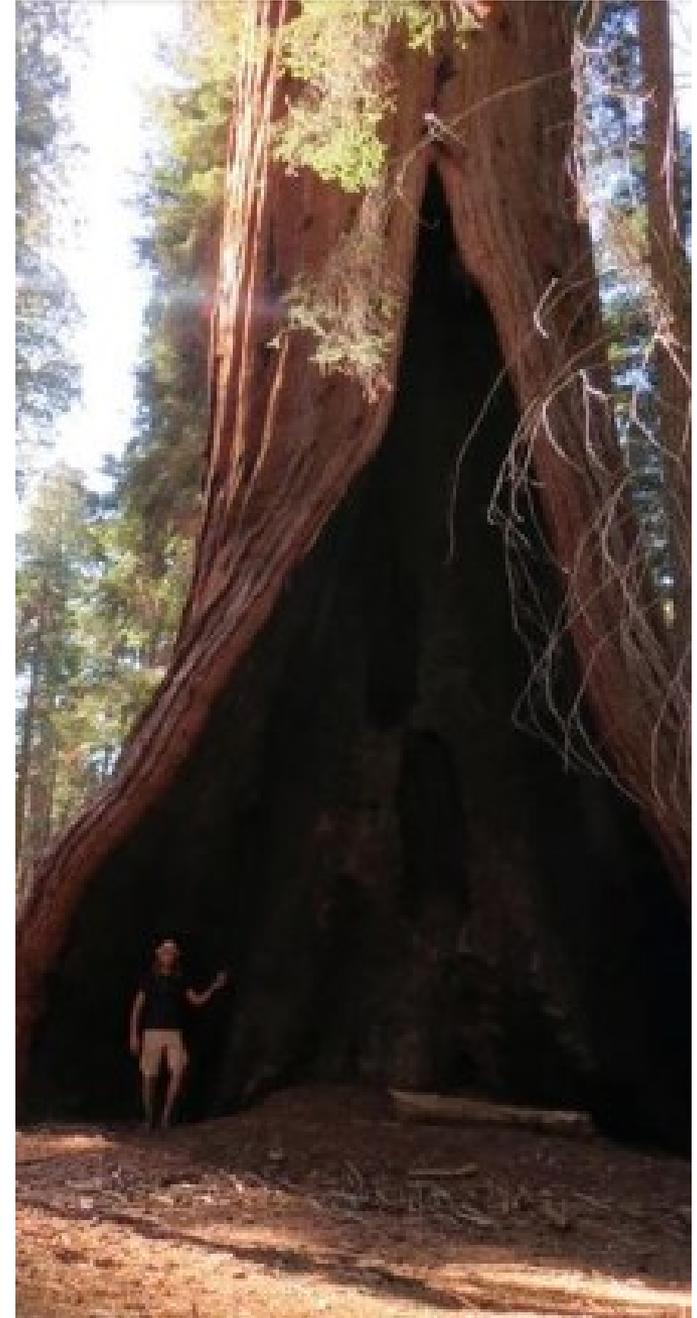
- Proposta de Rayner (1986)
 - Árvore possui microambientes heterogêneos
 - Promovem padrões de colonização diversos
 - Distribuição da água e disponibilidade de O₂
- Padrões de colonização
 - Apodrecimento do cerne (*heart rot*)
 - Oportunismo não específico (*sap rot*)
 - Patogenicidade ativa
 - Tolerância ao dessecação



Estratégia de colonização

Apodrecimento do cerne

- Principal causa de apodrecimento em árvores
 - Carece estudos
- Importância na resistência mecânica da árvore
- Porção fisiologicamente inativa
 - Células vivas ausentes
 - Regime gasoso existente
 - Extrativos (alelopatia)
 - Fator limitante para fungos
- Número de espécies vs apodrecimento de raízes
 - Pouco seletivos



Estratégia de colonização

Oportunismo não especializado

- Apodrecimento do alburno não suscetível
- Zonas de reação



Estratégia de colonização

Patogenicidade ativa

- Fungos que acessam alburno e desencadeiam os **mecanismos de patogenicidade**
- Ataque de troncos, galhos e raízes
- Ex. *Heterobasidion annosum*



Apodrecimento de raiz e colo (*butt rot*)

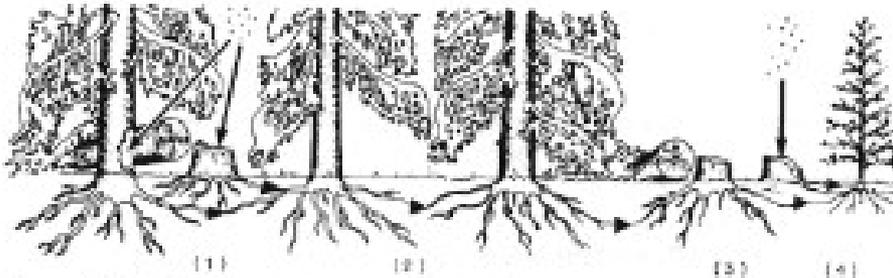


Figure 10.17 Infection sites of *Heterobasidion annosum* in conifer plantations. Stages shown left to right are as follows. (1) Thinning. Spore infections develop in wounds and on recently exposed stump surfaces. (2) Continuous. Vegetative spread occurs through root contacts between standing trees. (3) Final felling. Decay occurs in the stumps partly due to saprotrophic survival of infections already established in the previous crop, and to fresh colonization of newly exposed stump surfaces by spores. (4) Regeneration. Infections established in stumps from the previous stand are transmitted to young trees via root contacts. (Reproduced from Stenlid, 1986, by permission of the author)



Estratégia de colonização

Oportunismo especializado

- Especificidades com as árvores hospedeiras
 - Ex. *Piptoropus betulinus* em árvore de betula ou aveleira
- Colonização primária
- Capacidade de modificar e aliviar o estresse microambiental
- Vantagem, como pioneiros no processo de decomposição



Basidiomicetos

Podridão de raízes e tronco/colo



Basidiomicetos – Apodrecimento do cerne

Tronco – Folhasas

- Podridão branca
 - *Stereum* sp. (A e B)
 - *Hericum* sp. (C e D)
 - *Phellinus* sp. (E-J)



Basidiomicetos – Apodrecimento de cerne

Folhosas

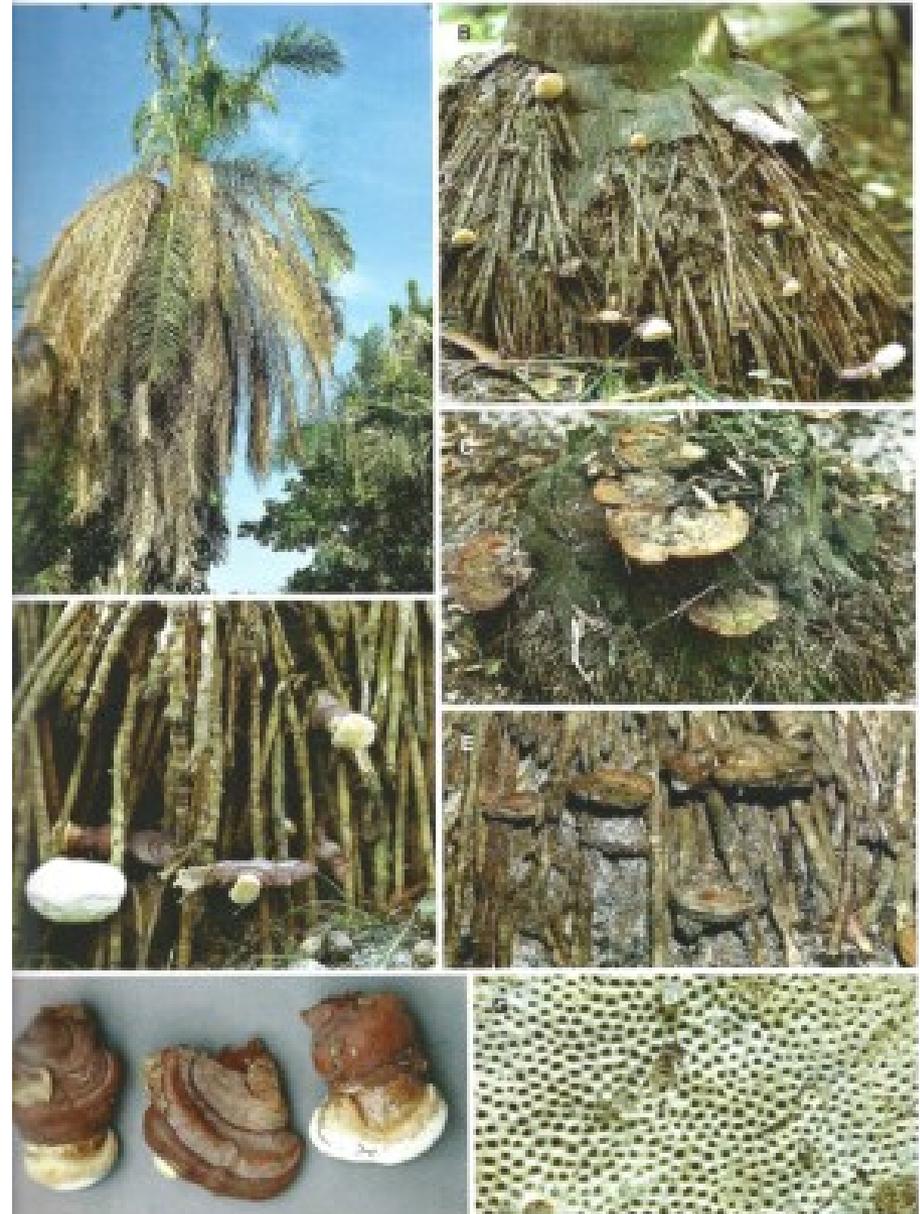
- Podridão branca
 - *Ganoderma* sp.



Basidiomicetos – Apodrecimento

Palmeiras

- Podridão branca
 - *Ganoderma* sp.

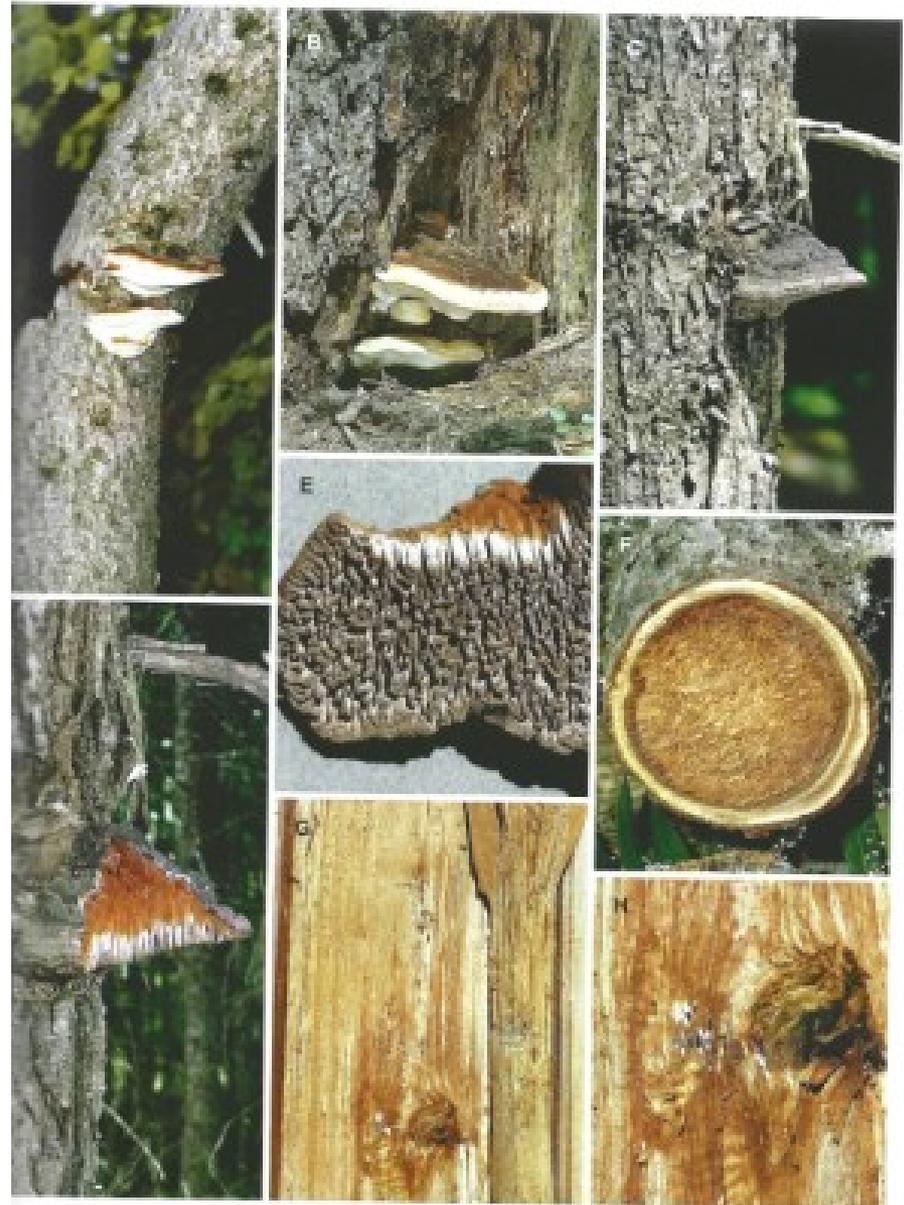


Basidiomicetos – Apodrecimento do cerne

Tronco - **Coníferas**

- Podridão parda

- *Fomitopsis pinicola* (A-B)
- *Echinodontium tinctorium* (C-H)



Basidiomicetos – Apodrecimento do alburno

Tronco - Folhosas

- Podridão branca
 - *Spiculosa* sp.
 - “cancro de spiculosa”
 - Alburno (Ataque)
 - Células condutoras
 - Câmbio
 - Felogênio



Basidiomicetos – Apodrecimento de raízes

Folhosas

- *Armillaria* sp.



Basidiomicetos – Apodrecimento de raízes

Coníferas

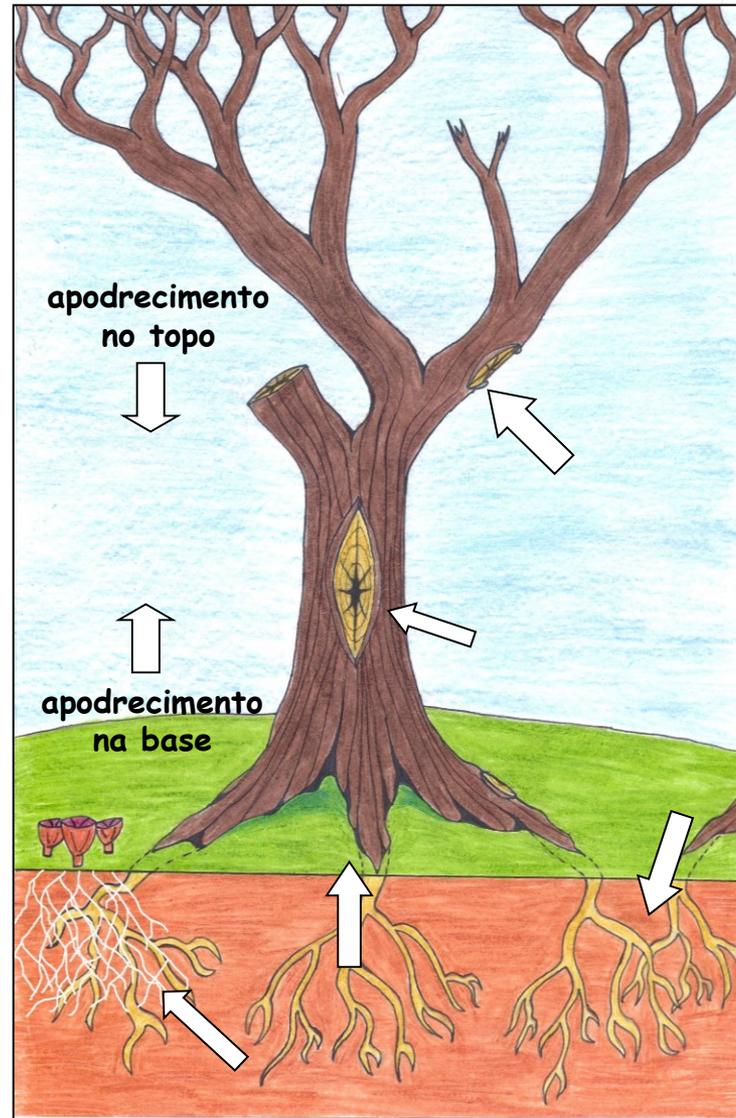
- Fungos ectotróficos
 - Infecção de raízes jovens sem periderme
- *Armillaria sp.*



Rotas de infecção

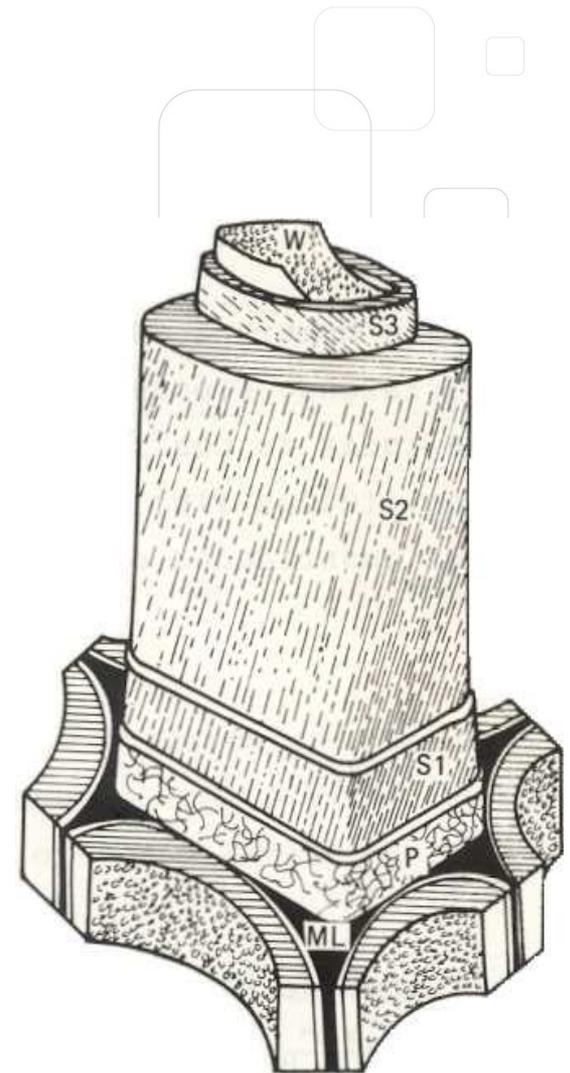
Injúrias

Organismos oportunistas



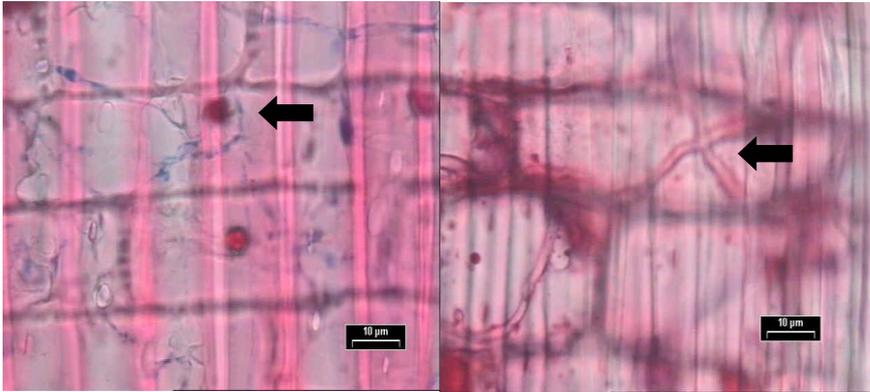
Parede celular

- Celulose (polímero de glicose)
 - Microfibrilas
 - Resistência à tração
- Lignina (polímero de fenilpropano)
 - Substância incrustante
 - Resistência à compressão

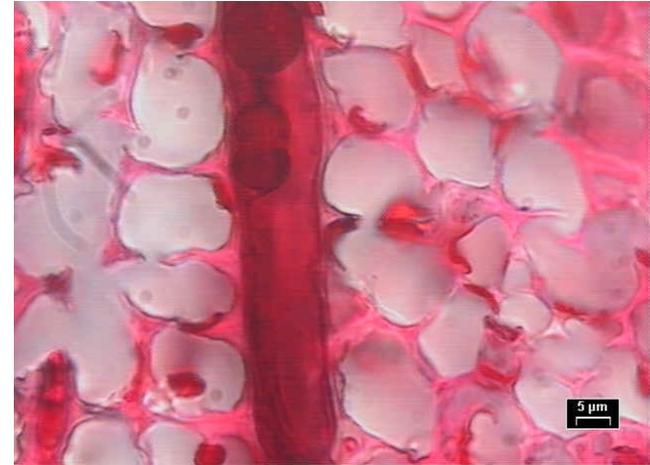


Podridão branca

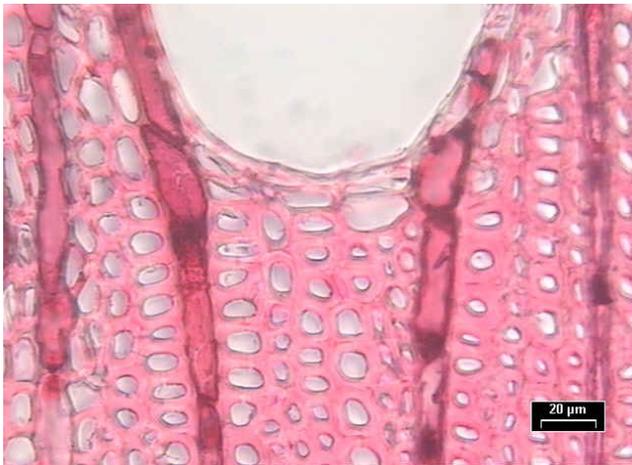
parênquima radial



Fibras deterioradas



Sadia



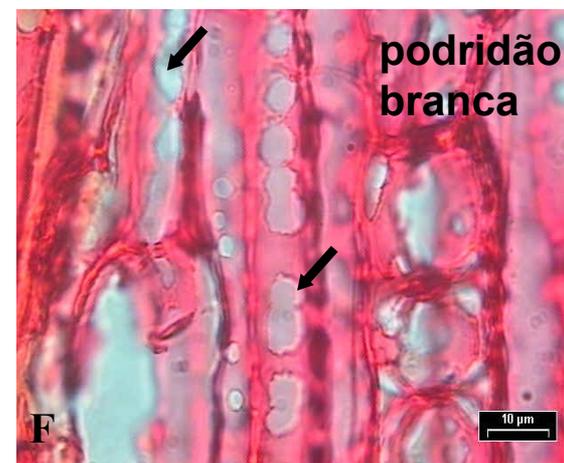
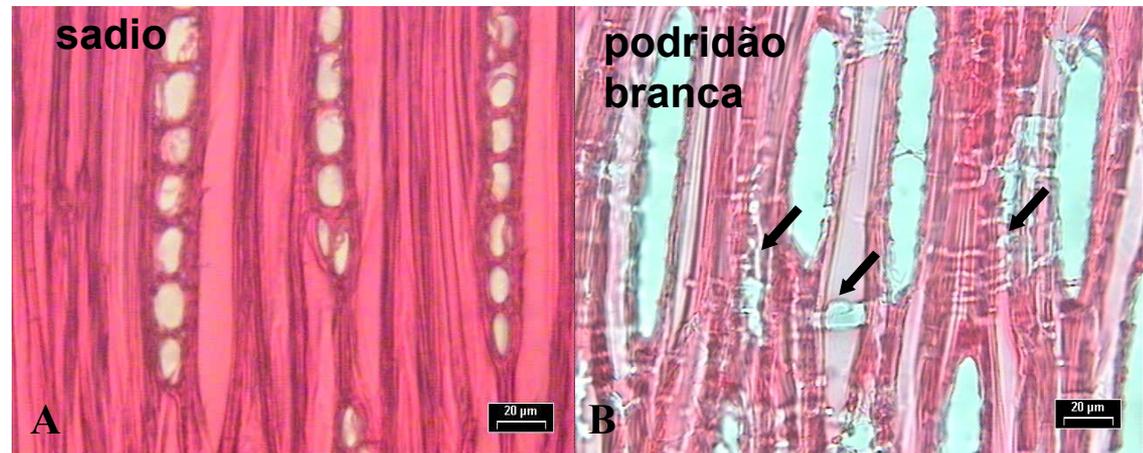
eucalipto

Biodeterioração do lenho das tipuanas

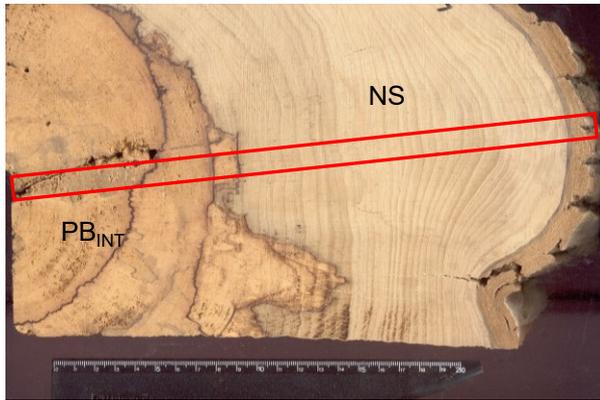
■ Podridão branca simultânea

- celulose + lignina + hemicelulose

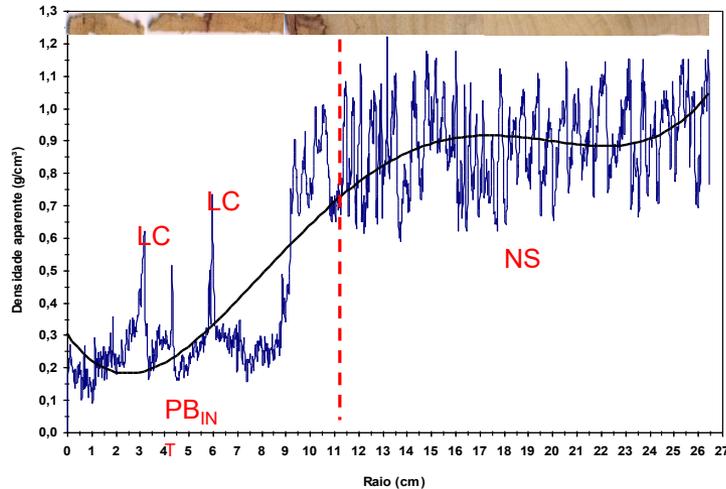
Secções long. tangenciais



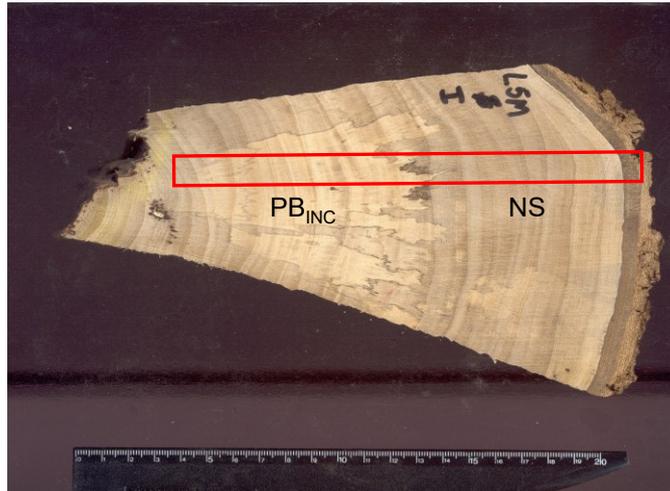
Densitometria de raios x



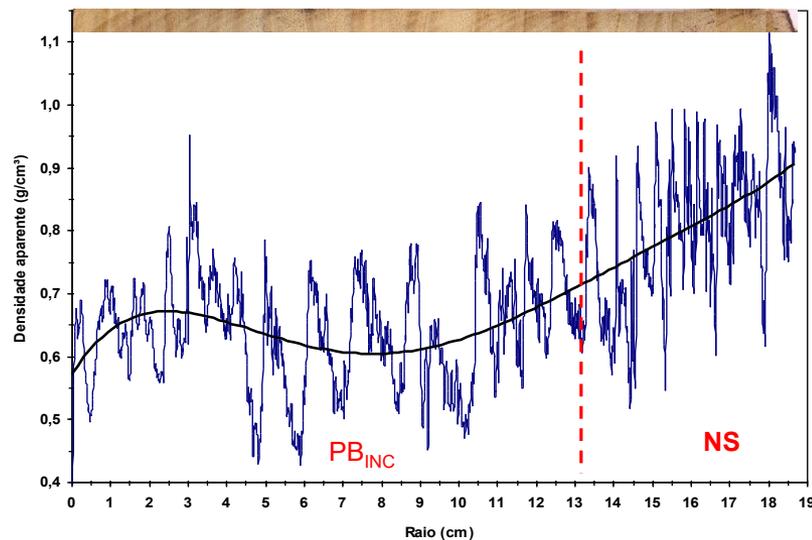
Podridão branca intensa (PB_{INT})



Padrões de biodeterioração do lenho



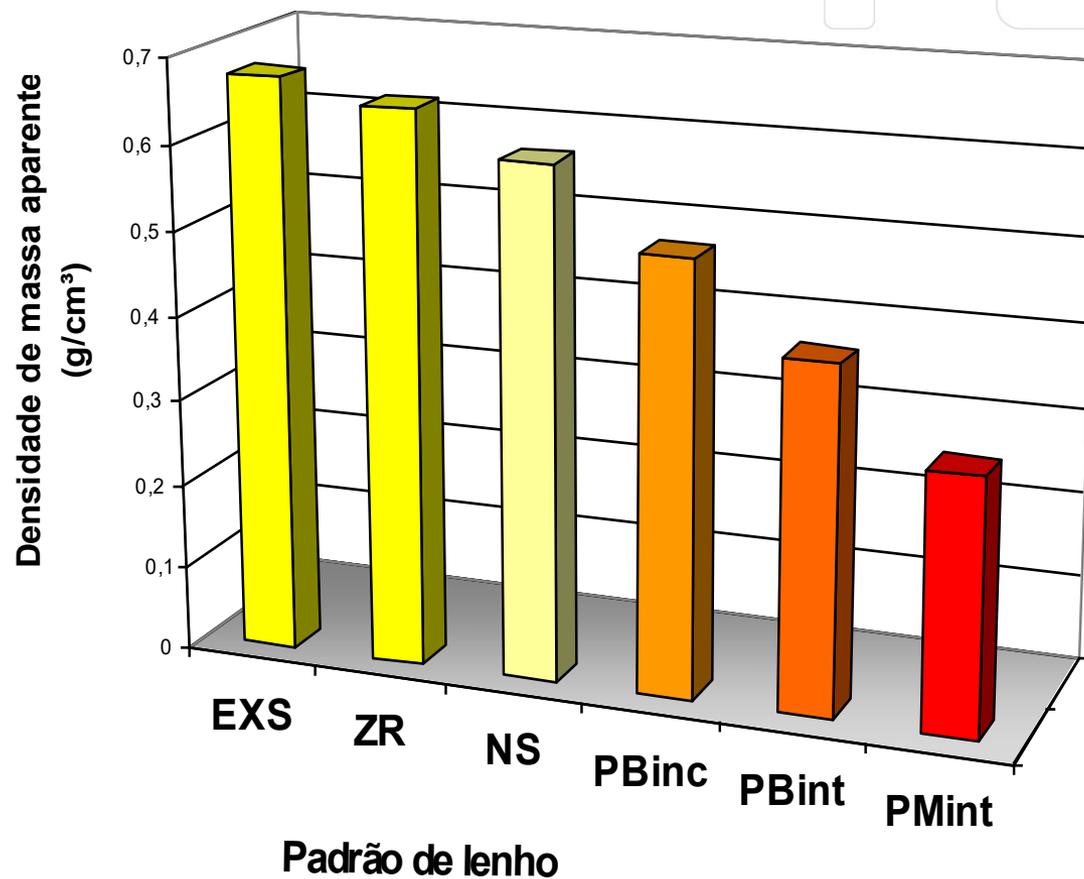
4. com podridão branca incipiente (PB_{INC})





Ensaio Físicos e Mecânicos

Densidade de massa aparente



Legenda:

EXS - c/ extrativo e sadio

ZR - zona de reação

NS - normal e sadio

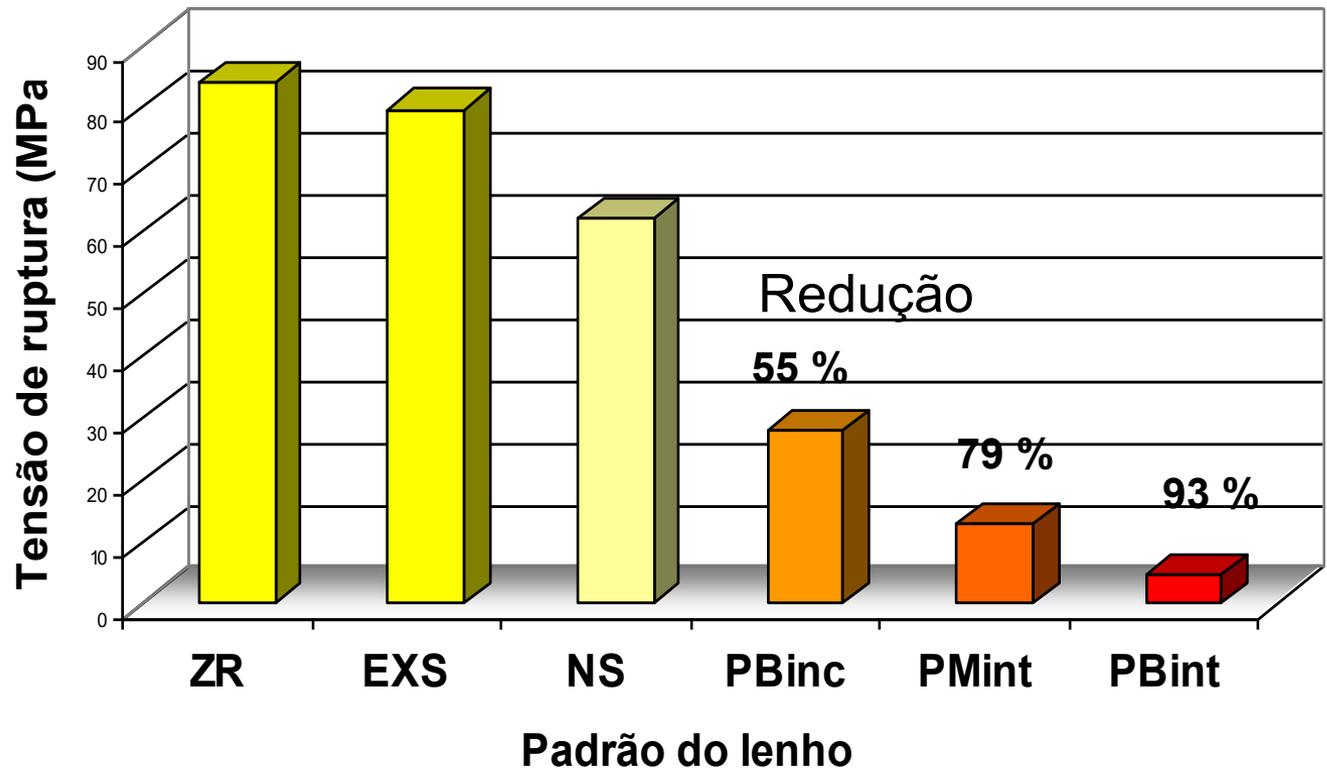
PBinc - podridão branca incipiente

PBint - podridão branca intensa

PMint - podridão mole intensa

Resistência à flexão estática

Tensão de ruptura



Legenda:

EXS - c/ extrativo e sadio

ZR - zona de reação

NS - normal e sadio

PBinc - podridão branca incipiente

PBint - podridão branca intensa

PMint - podridão mole intensa

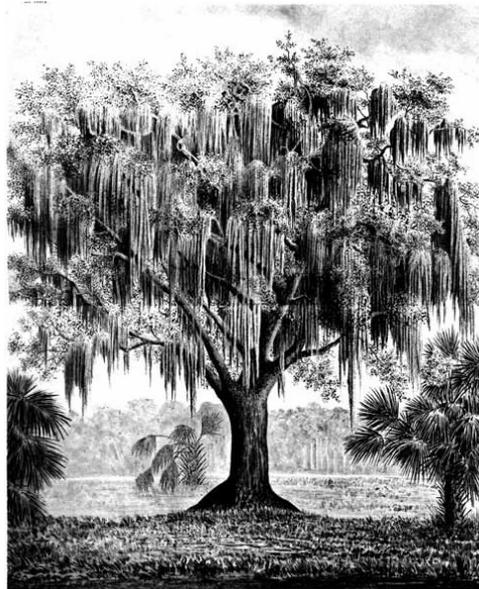
Conclusão

- Durabilidade natural do cerne e disponibilidade de oxigênio: fatores importantes
- Fungos são organismos importantes no processo de biodeterioração das árvores
- Organismos oportunistas (cerne)
 - ruptura de árvores



Obrigado!

Plantas Epífitas e Parasitas



Seres epífitos

Vivem associados a um vegetal

Fixação

Podem ser biomonitores



Bromeliaceae



Araceae



Orchidaceae

Causam mal?

NÃO
necessariamente
são parasitas



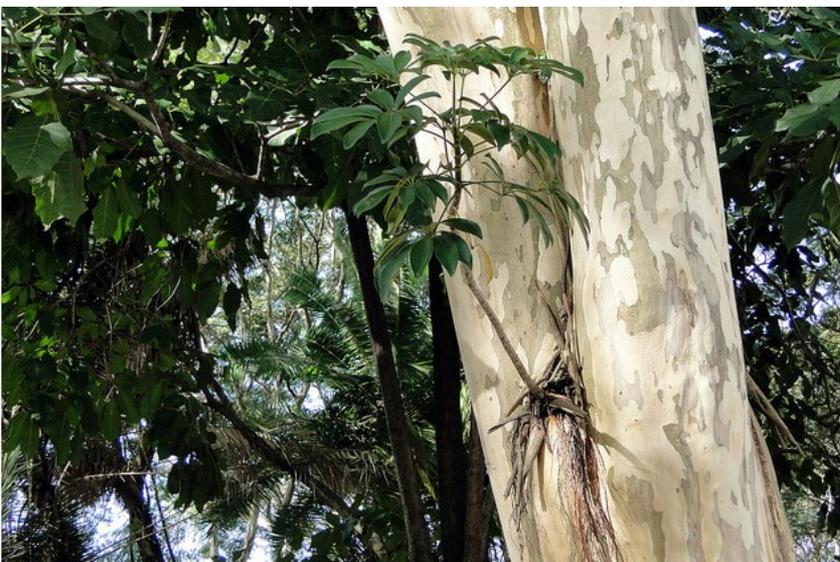
Bromeliaceae

Campylocentrum sp.
(Orchidaceae)
Somente raízes



Líquen

Orchidaceae



Schefflera sp.
(Araliaceae)





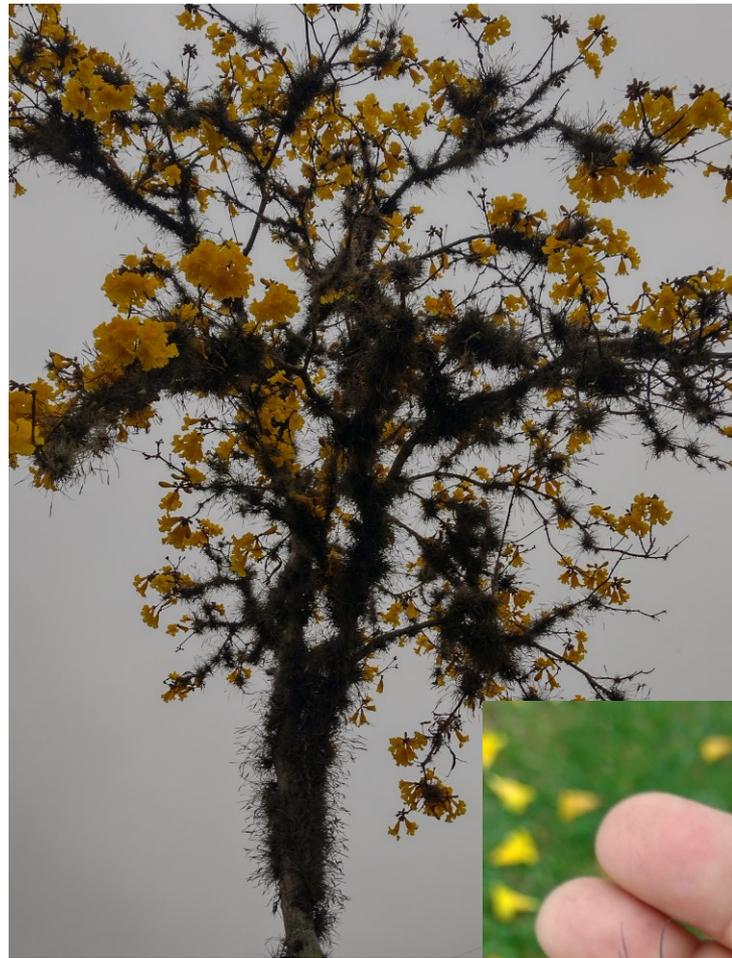
Samambaia-grama
Microgramma vaccinifolia
(*Polypodiaceae*)



Tillandsia sp.
(Bromeliaceae)



Tillandsia sp.



Plantas parasitas

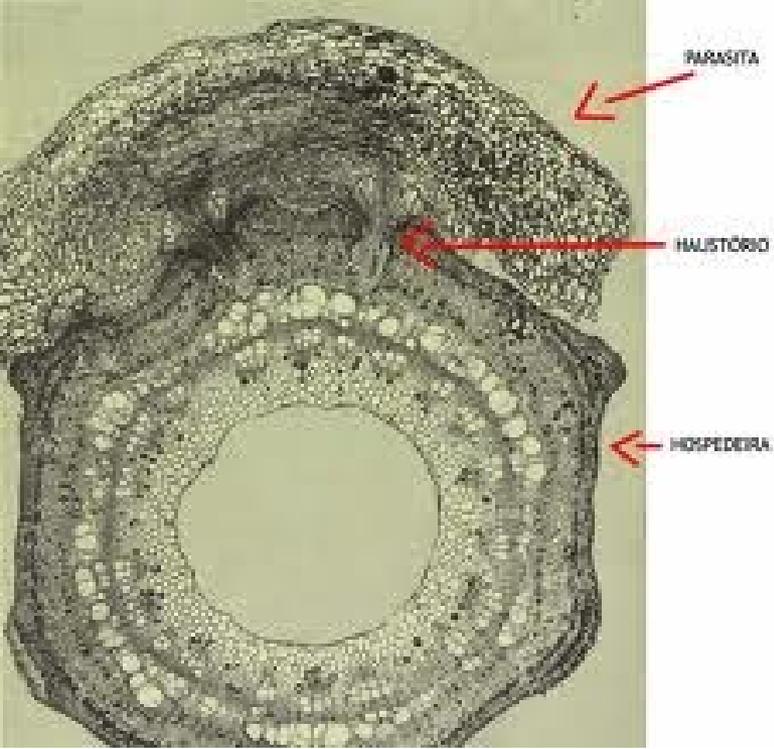
Se aproveitam de
elementos
nutricionais

Podem ter
especificidade maior
ou menor

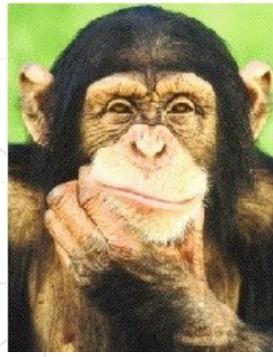


- Diminuem crescimento, folhas, flores e frutos
- Enfraquecimento
- Predisposição a doenças
- Declínio



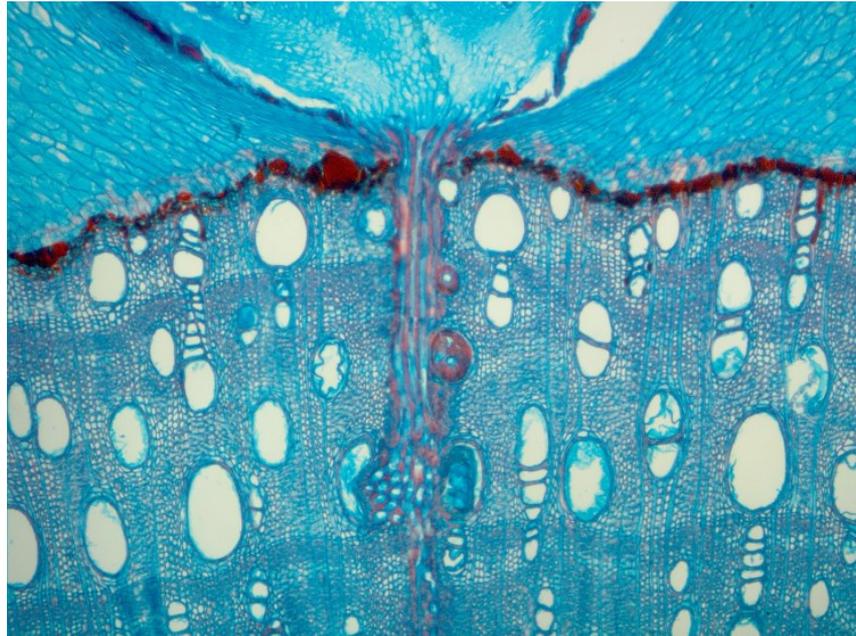


Como parasitam?



Possuem raízes diferenciadas

(Haustórios)



Hemiparasitas



Retiram água e nutrientes, fazem fotossíntese!

Mais comum no Brasil:
Erva-de-passarinho (mais em Loranthaceae)



Struthanthus é generalista





Psittacanthus sp.



Phthirusa sp.



Phoradendron sp.





Holoparasitas

Retiram água e nutrientes e açúcares

NÃO fazem fotossíntese!!

Redução das folhas



Holoparasita de raíz
Bdallophyton americanum



Espiga-seca

Lophophytum mirabile



Tristerix aphyllus
(Loranthaceae)





Cipó-chumbo
Cuscuta sp. (Convulvulaceae)

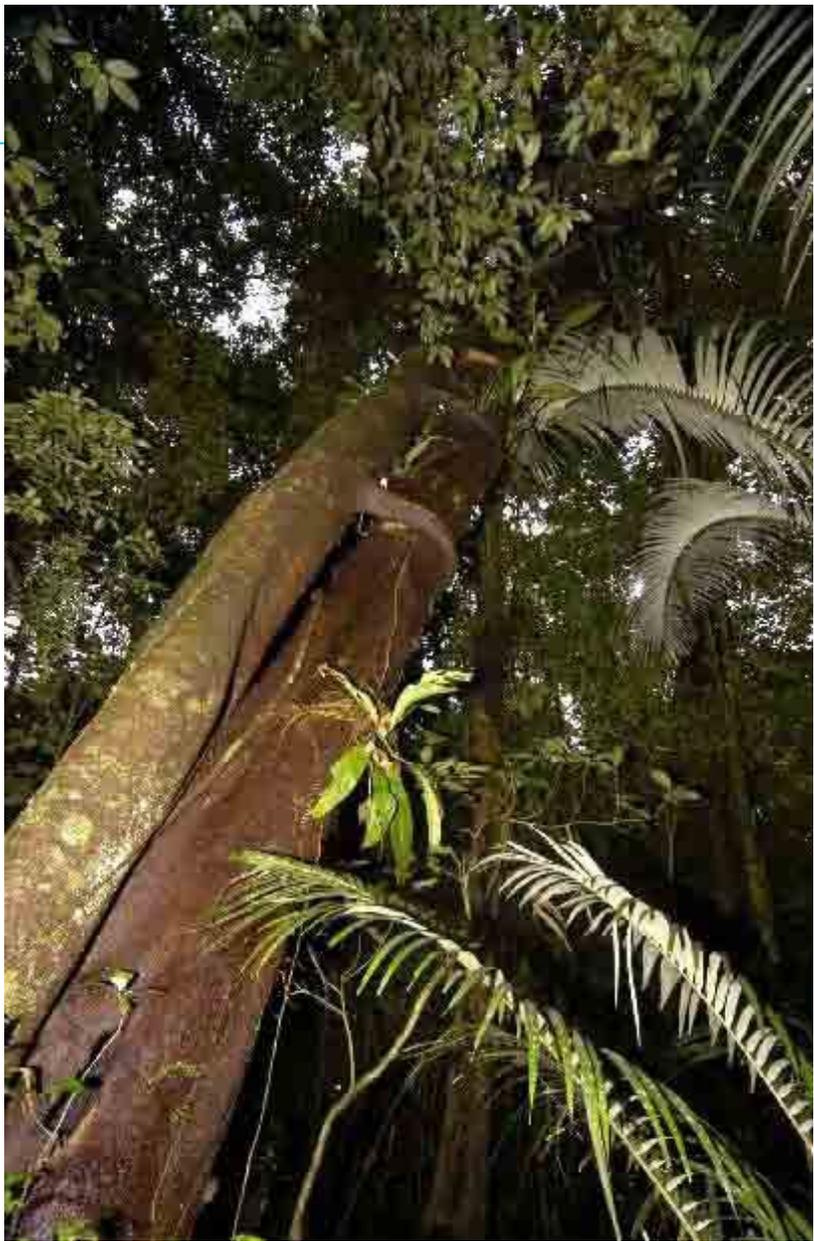
Figueira mata-pau

Hemiepífita
estranguladora

É arbórea!



Ficus sp.



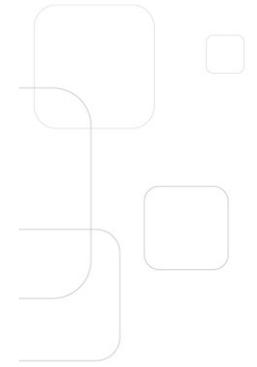
Coussapoa sp. (Urticaceae)

Ficus sp.

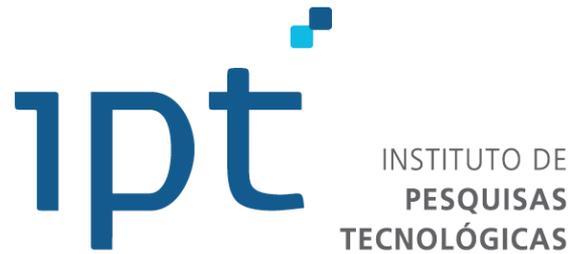




INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS



Obrigado!



Sucessão de organismos xilófagos e mecanismos de resistência



Sucessão de organismos xilófagos

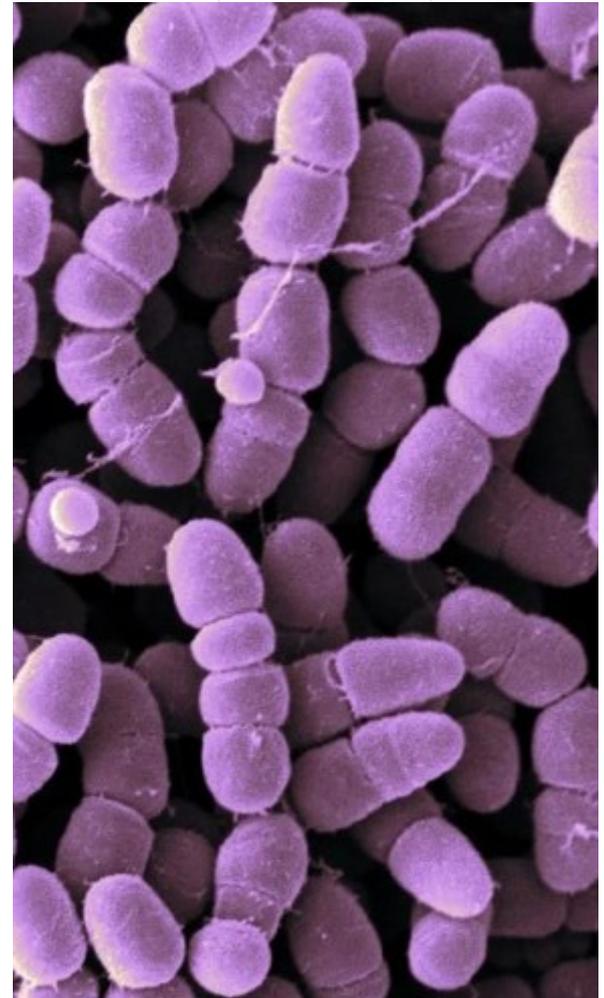
Processo de biodeterioração

FERIDAS

- Bactérias
- Fungos emboloradores e manchadores
- Fungos apodrecedores
- Insetos
 - Brocas-de-madeira (coleópteros)
 - Cupins (isópteras)

Bactérias

- Monocelulares e filamentosas
- Degradação da **celulose**
- Importância na colonização
 - Destruição das pontoações
 - Aleteração na relação C:N
 - Detoxificação de substâncias tóxicas
- Infestação
 - Células do parênquima radial
 - Pontoações
 - Traqueídes, fibras e vasos
- Alterações da permeabilidade da madeira



Bactérias que causam erosão – Tipo I

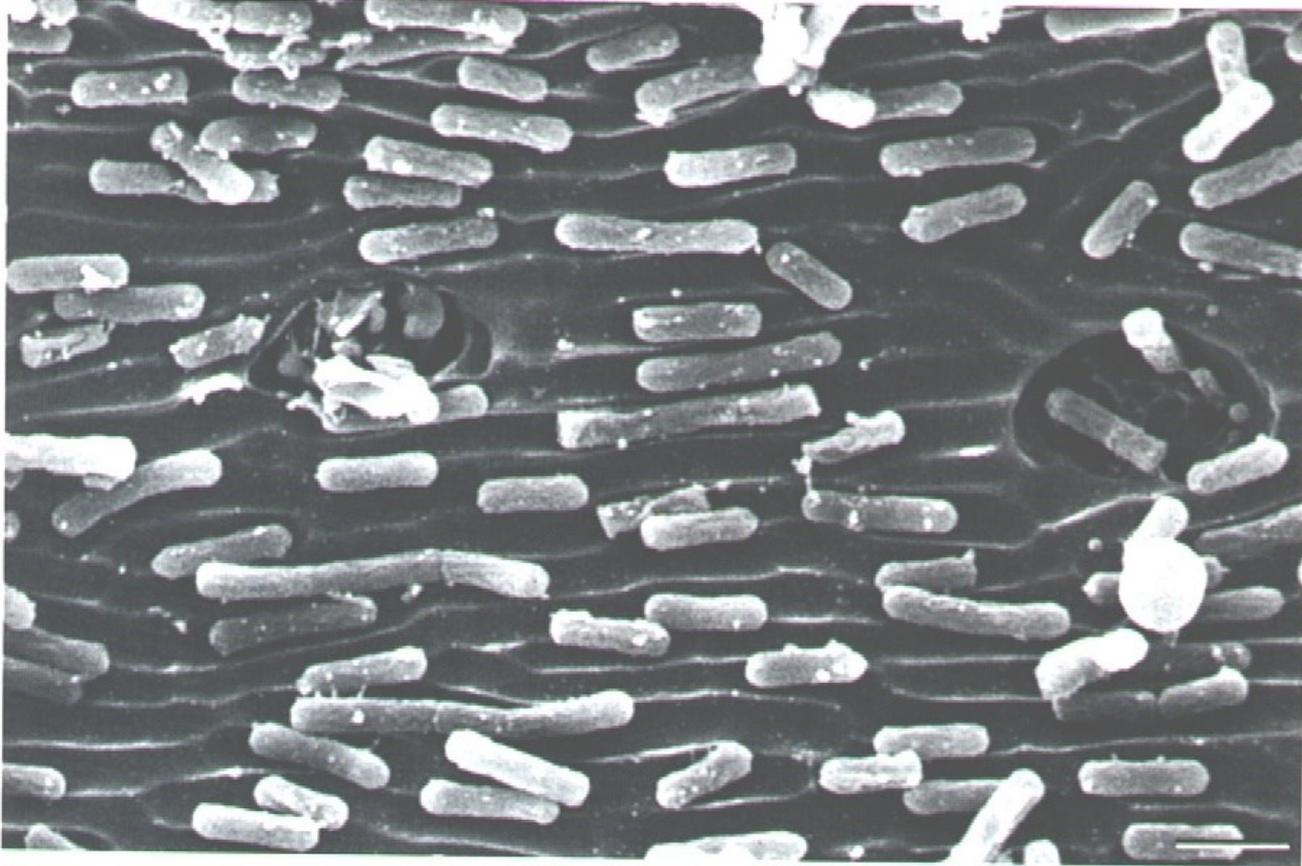


Figure 6.5 Erosion bacteria attacking S_2 layer of birch wood cell wall showing the alignment of the elongate erosion troughs with the rod-shaped bacteria (bar line = 1 μm ; reproduced with permission, G. Daniel and T. Nilsson).

Bactérias que causa erosão – Tipo II

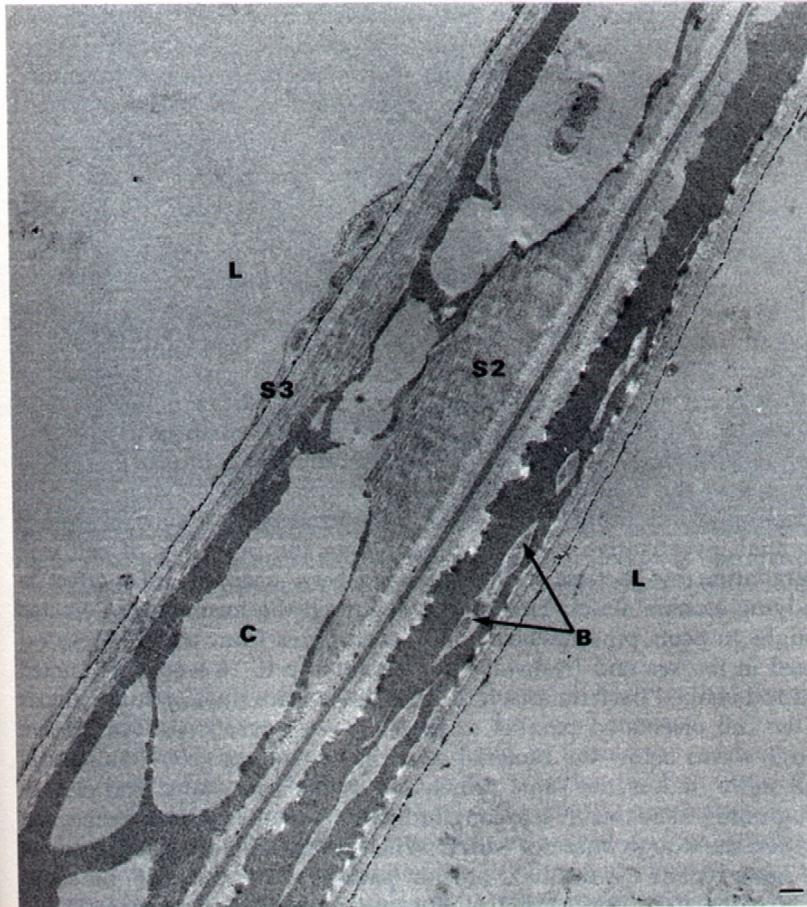


Figure 6.4 Cavitation bacterial attack of CCA-treated *Pinus radiata* tracheid showing bacteria (B), cavities (C) in the S₂ layer and the cell lumina (L) (bar line = 1 μm; reproduced with permission, A. Singh).

Bactérias que formam túneis – “*Tunneling bacteria*”

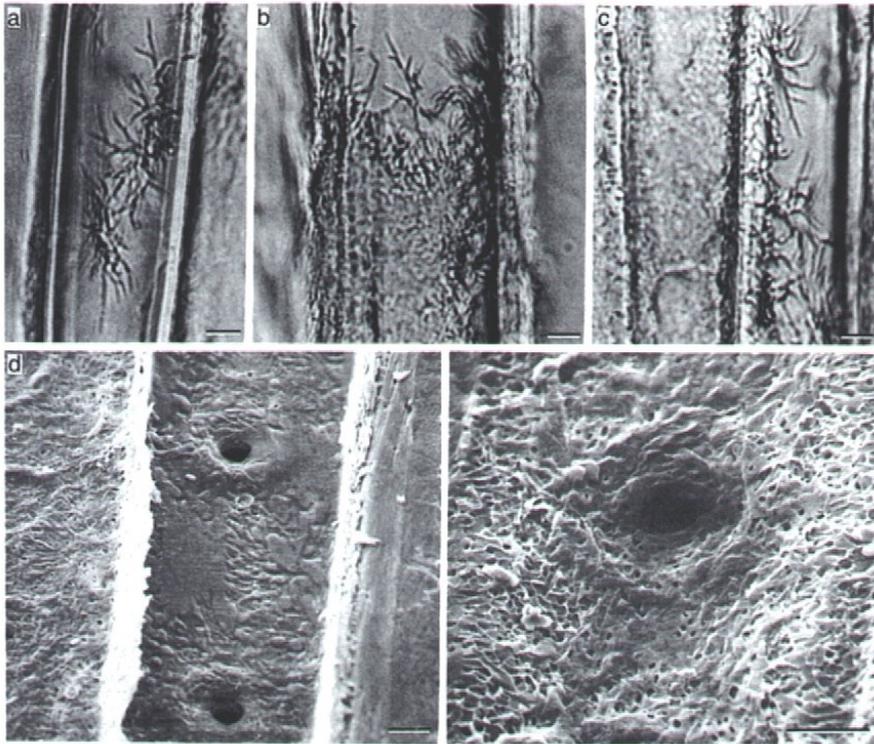


Figure 6.1 Tunnelling bacterial decay in CCA-treated Scots pine tracheids. (a)–(c) light micrographs, (d) and (e) scanning electron micrographs. (a) Early stage of infection, (b) and (c) cell wall granulation zones indicative of severe decay with peripheral tunnels in intact cell walls, (d) elongate depressions in S_3 cell wall layer due to tunnels in the S_2 below, (e) extensive tunnelling around a bordered pit (bar lines = 10 μm).

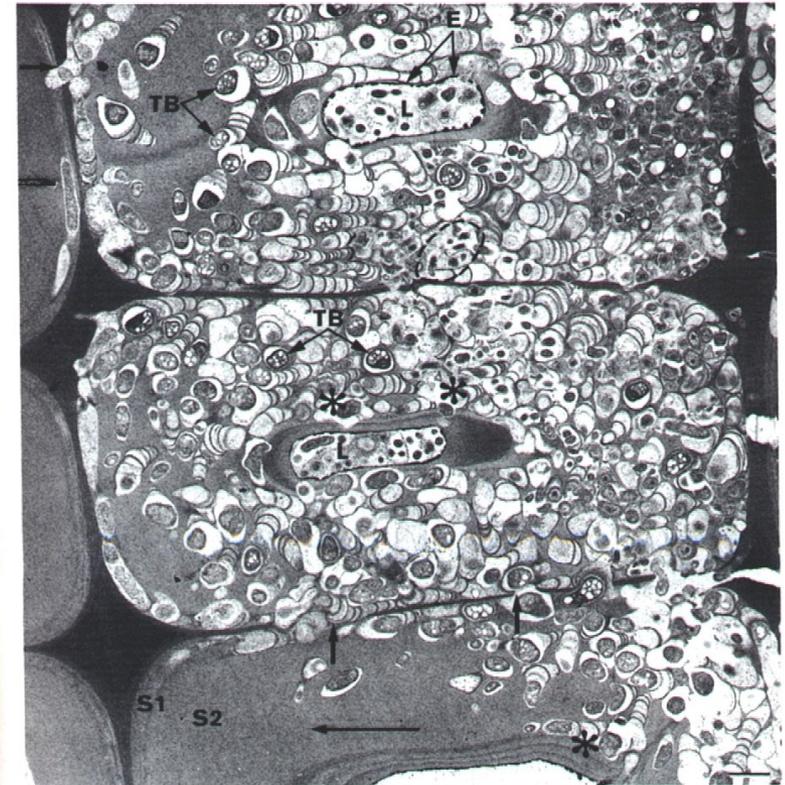
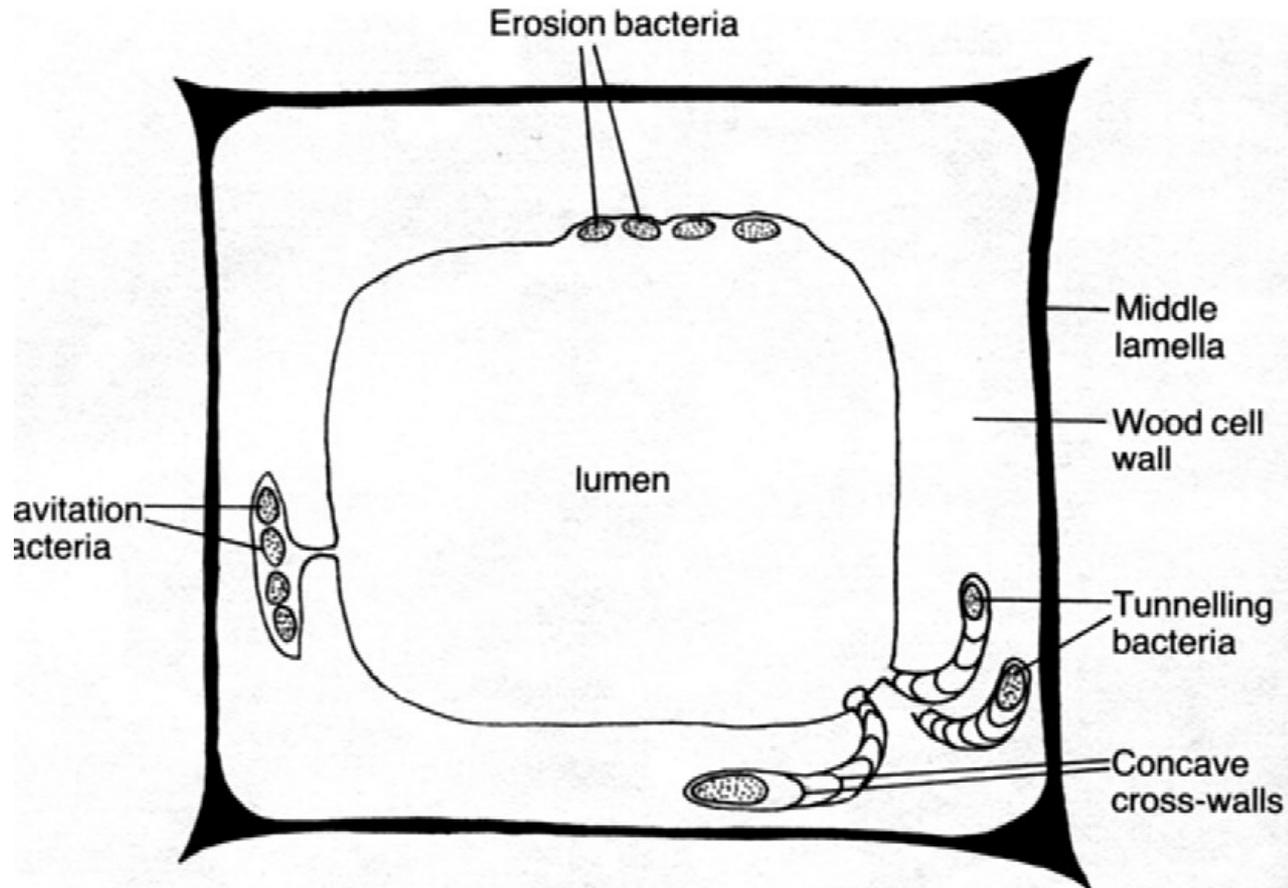


Figure 6.2 Tunnelling bacteria (TB) in a transverse section of fibres of *Homalium foetidum* showing extensive attack in all cell wall layers including penetration of the middle lamella (short arrows). The lumen (L) of each cell contains bacteria and the wall surface coated with extractives (E) is also attacked by tunnelling bacteria (asterisks). The large arrow (lower) indicates the direction of attack in the S_2 cell wall layers (bar line = 1 μm ; reproduced with permission, A. Singh).

Bactérias



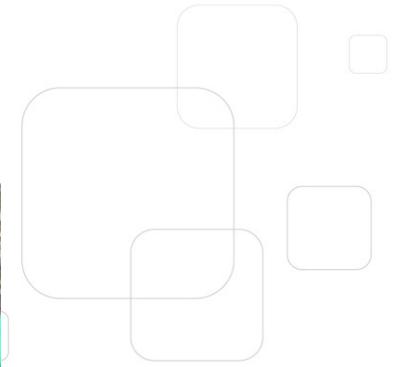
Fungos emboloradores e manchadores



Fungos e insetos



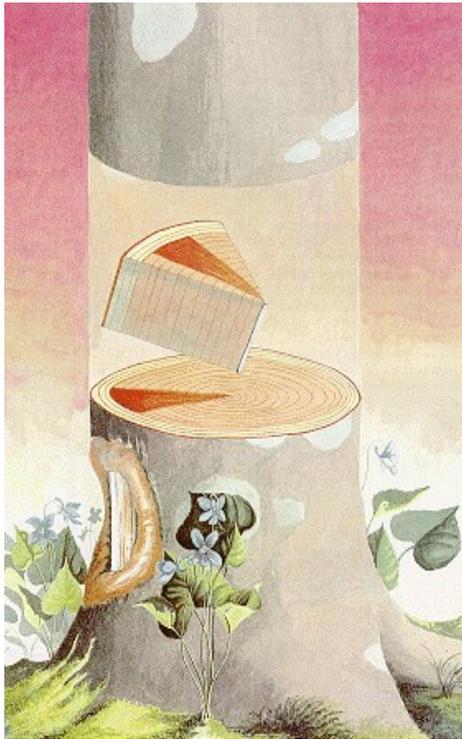
Processo de biodeterioração



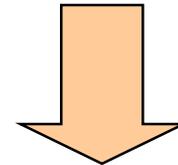
Mecanismos de resistência à biodeterioração

Compartimentalização

(Shigo, 1979)

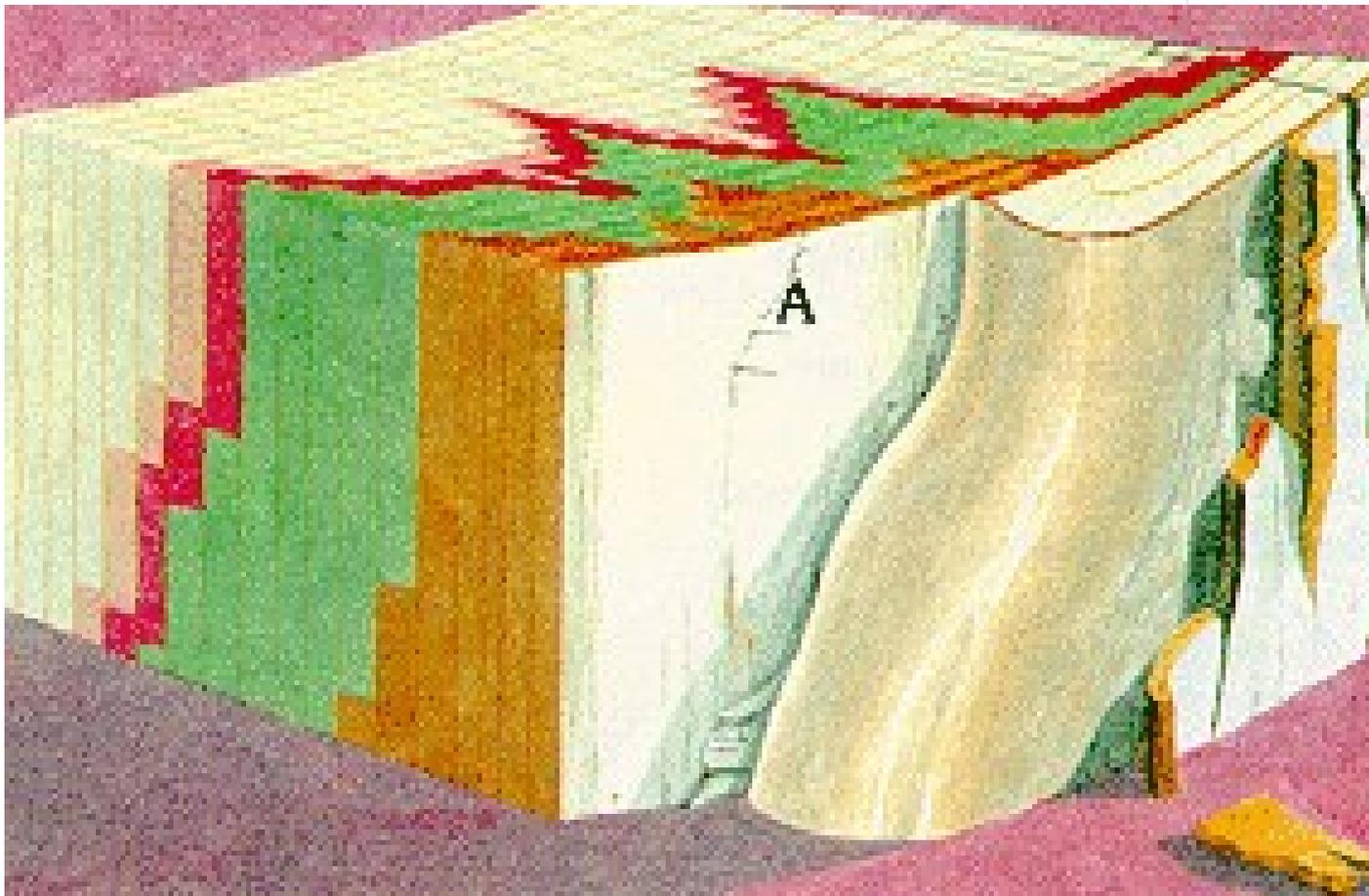


Árvores não
repõem/substituem
tecidos infectados

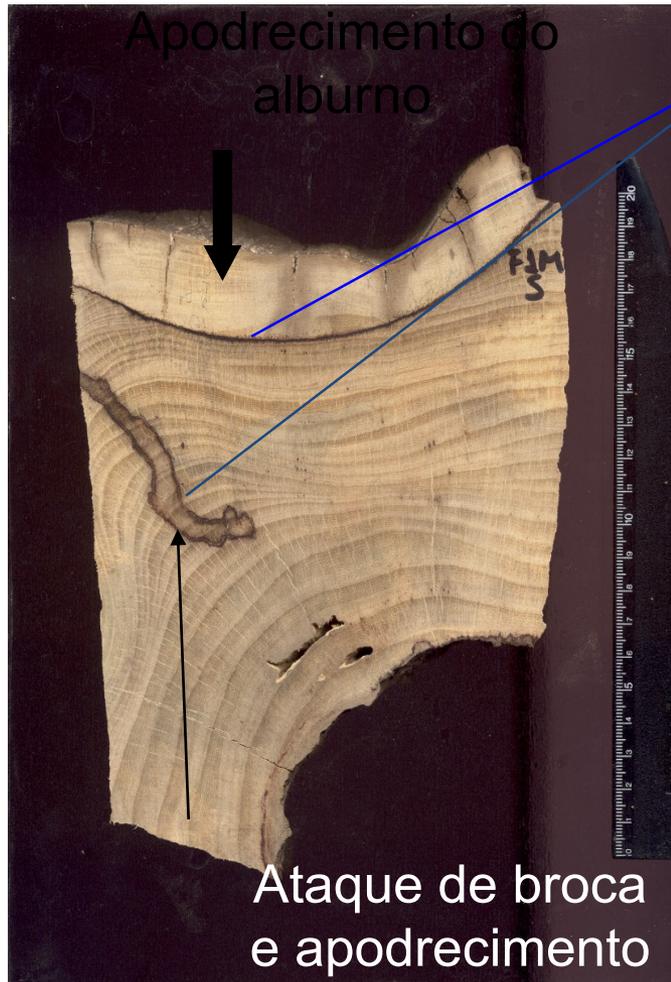
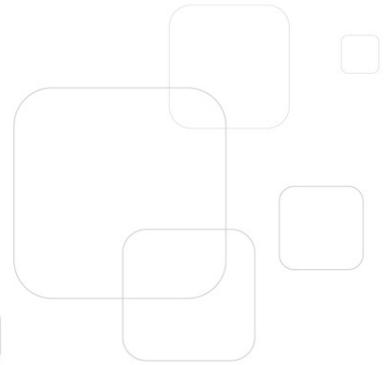


Compartimentalização

Barreiras

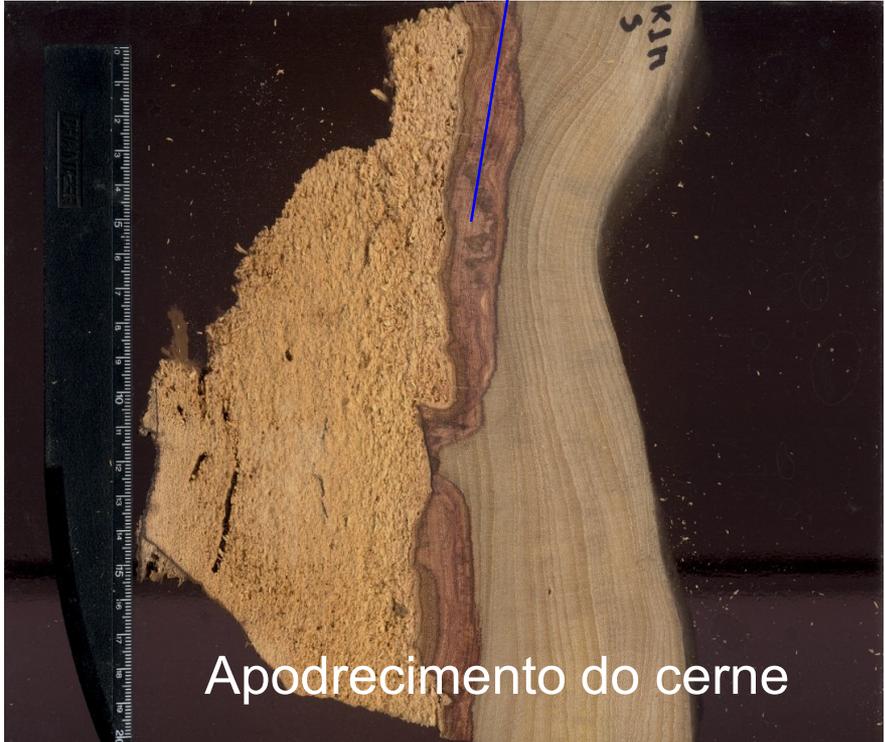


Mecanismo de resistência - tipuana

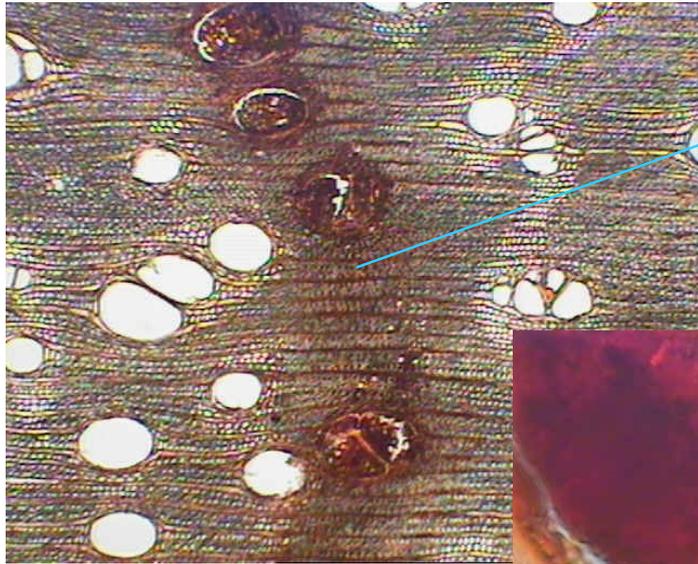


Linha de compartimentalização

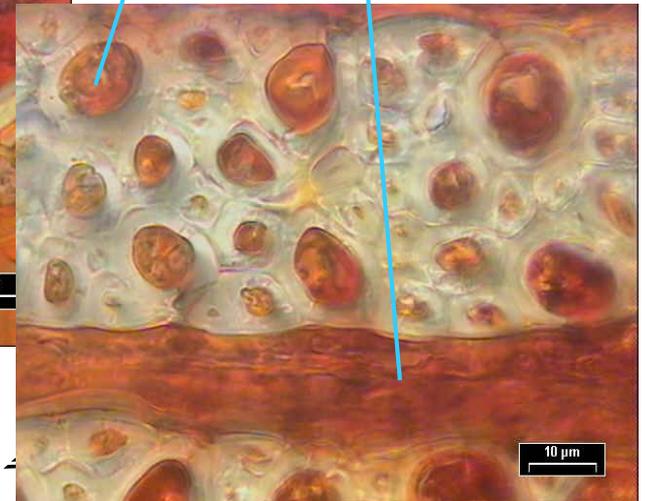
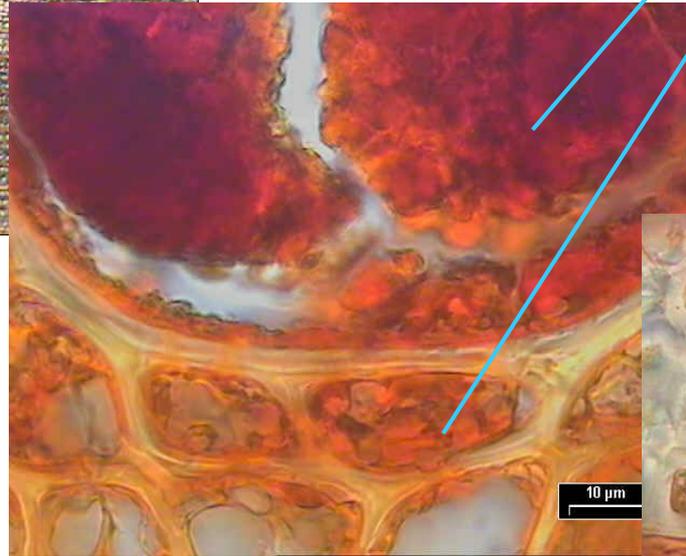
Zona de reação



Mecanismo de resistência - tipuana



Mecanismo de resistência bioquímico (extrativos)



Secções transversais

Conclusão

- Fungos apodrecedores, cupins e coleobrocas
 - Alteram o estado de sanidade biológica do lenho das árvores
 - Associação entre organismos xilófagos
- Interação árvore com organismos xilófago
 - Compartimentalização



Obrigado!



Avaliação de Árvores de Risco: Tecnologias Não Destrutivas



Avaliação de Risco

Tipos de falhas



Pivotamento do sistema radicular



Árvores fragilizadas por biodeterioração



Avaliação do tronco ou dos ramos de grande porte

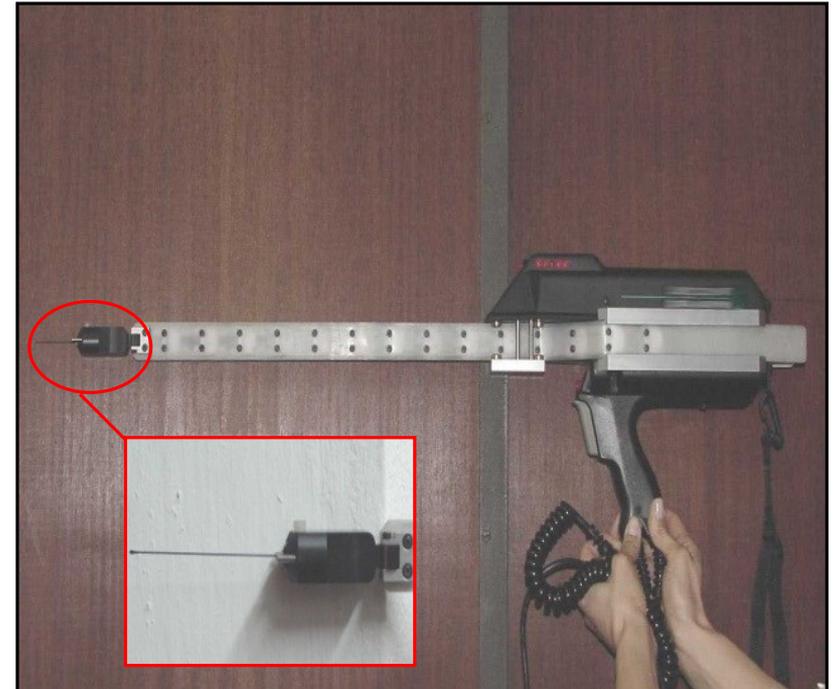
Avaliação externa e interna



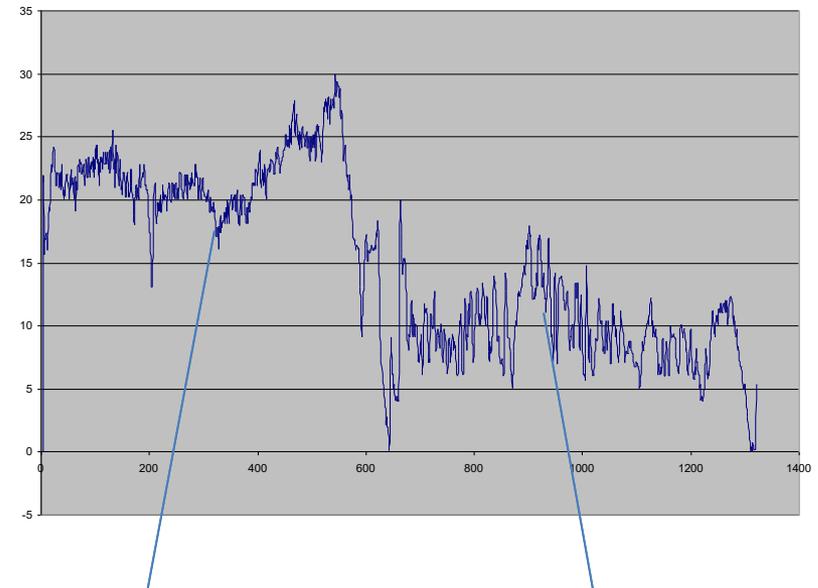
Rua Bela Cintra, SP



Penetrógrafo ou Resistógrafo



Penetrógrafo ou Resistógrafo



Lenho sadio

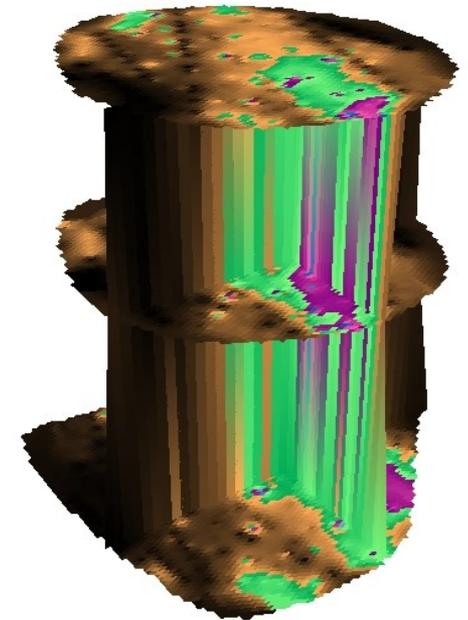
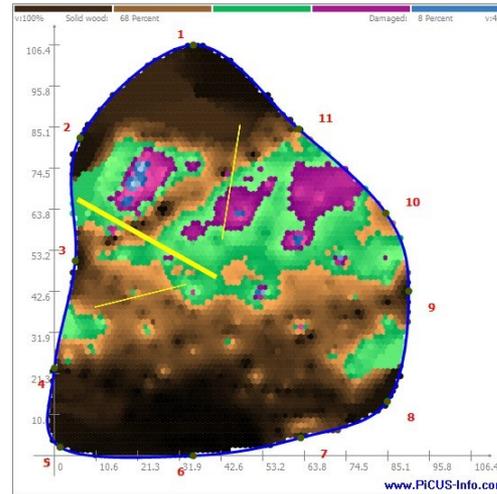
Lenho deteriorado

Penetrógrafo ou Resistógrafo

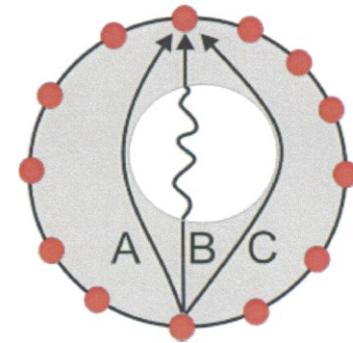
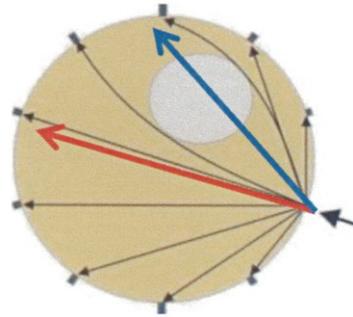
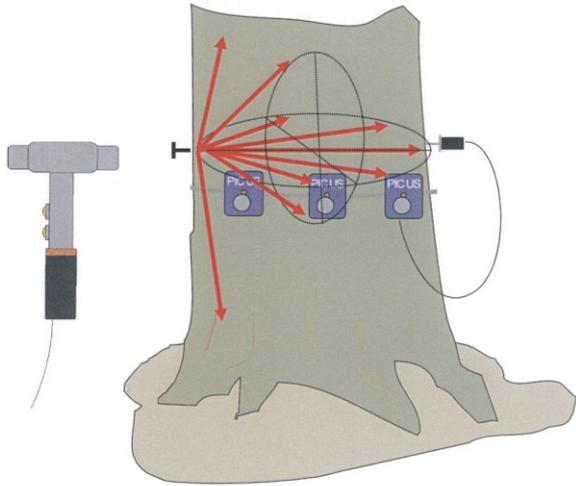


Ramos de grande porte

Tomografia de impulso mecânico



Tomografia de impulso mecânico



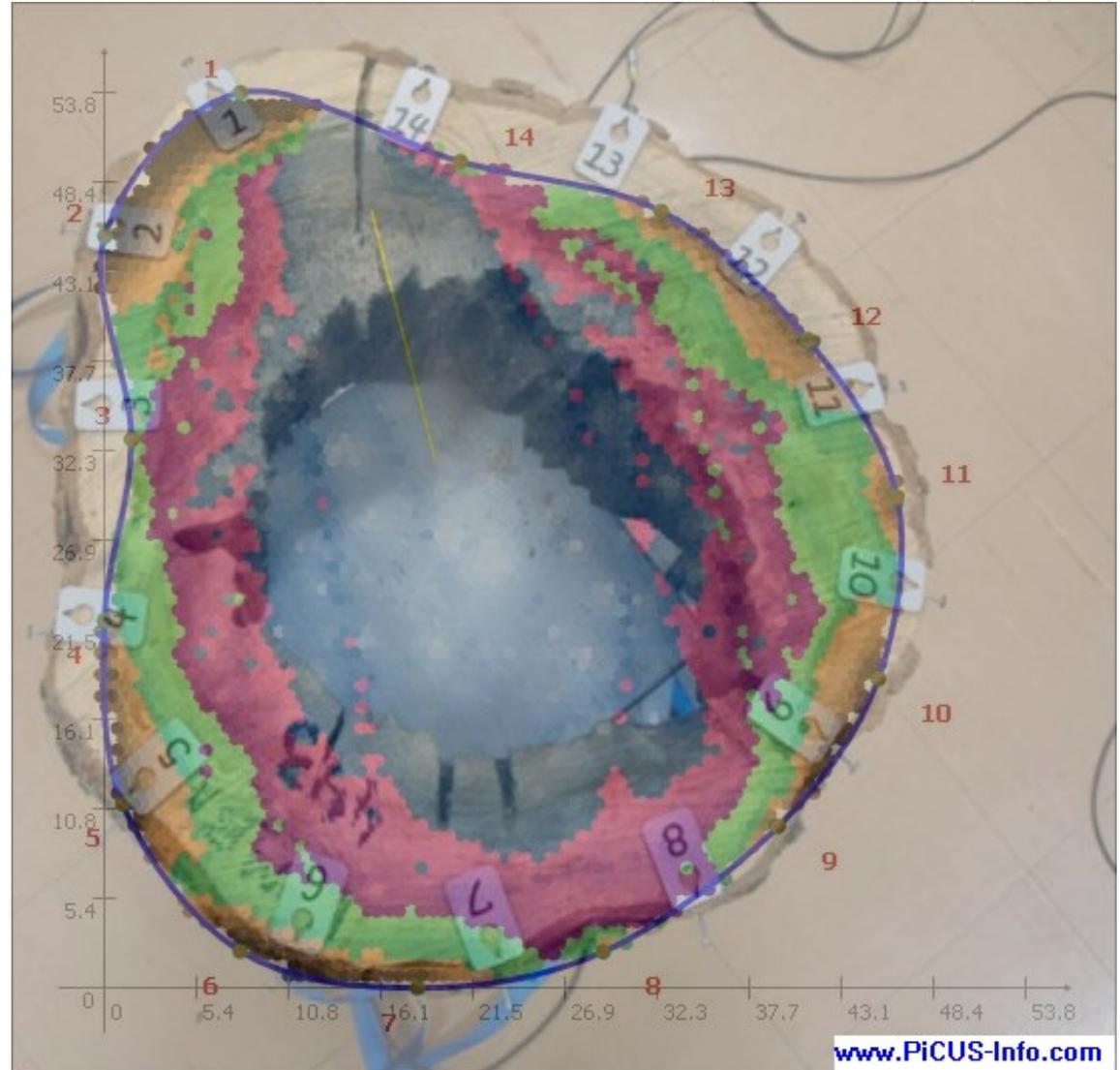
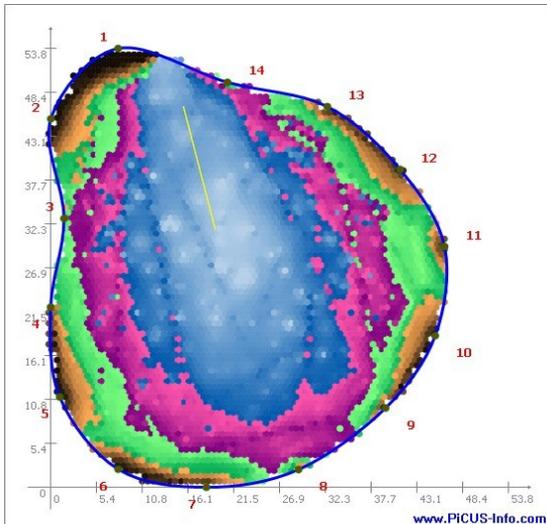
$$v = \sqrt{\frac{MOE}{Density}}$$

MOE – Módulo de elasticidade (MPa)

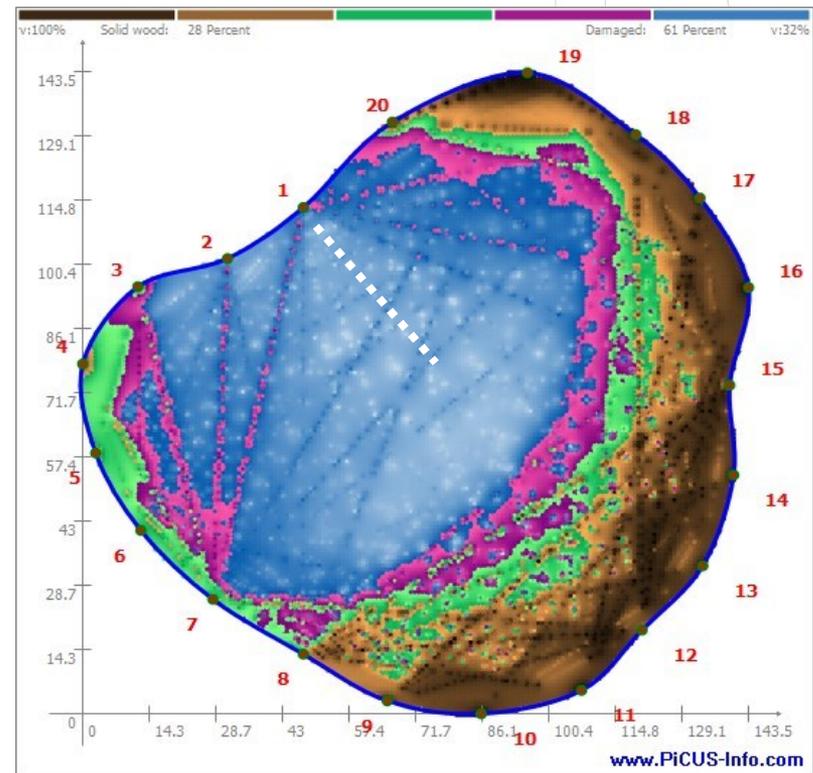
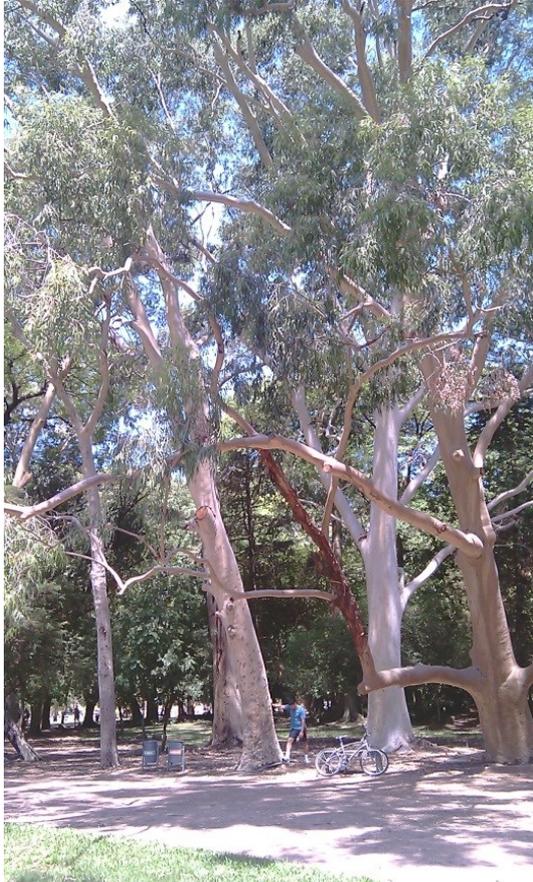
Densidade de massa – kg/m³

Picus Sonic Tomograph

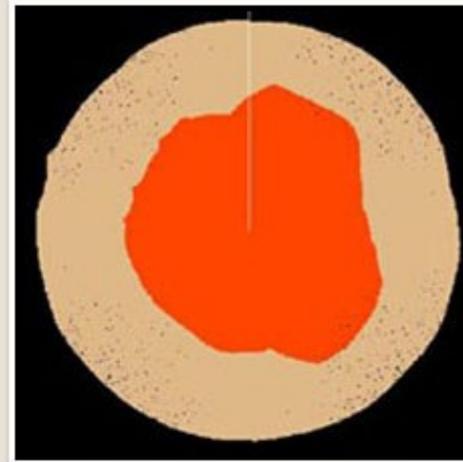
Tree species: *Tipuana tipu*
Location: IPT, Sao Paulo, Brazil
Test date: 12ed May 2011



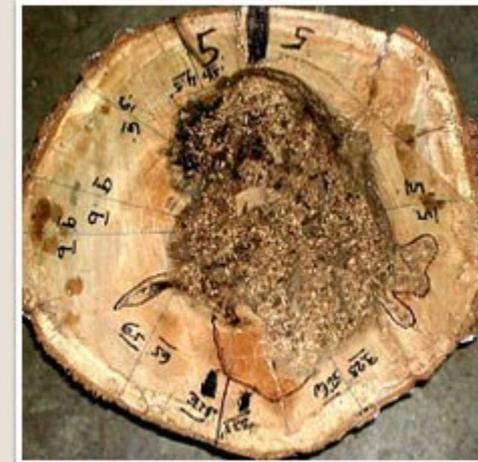
Tomografia de impulso mecânico



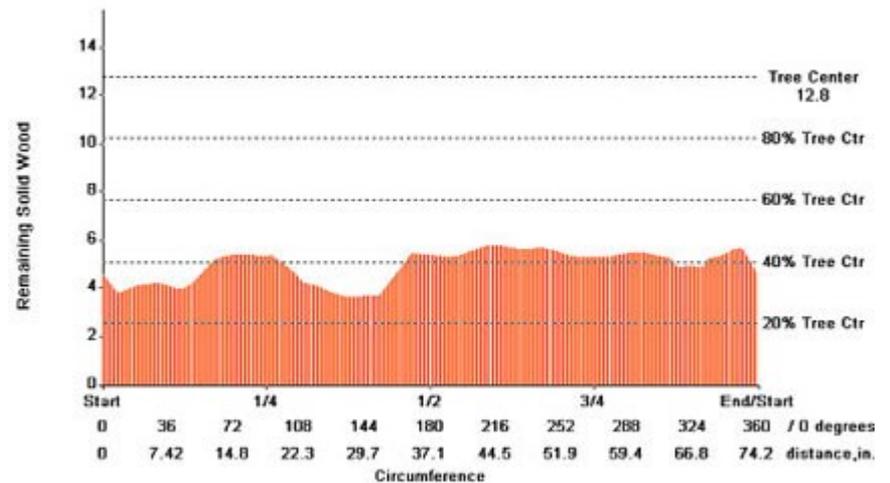
Radars (EUA)



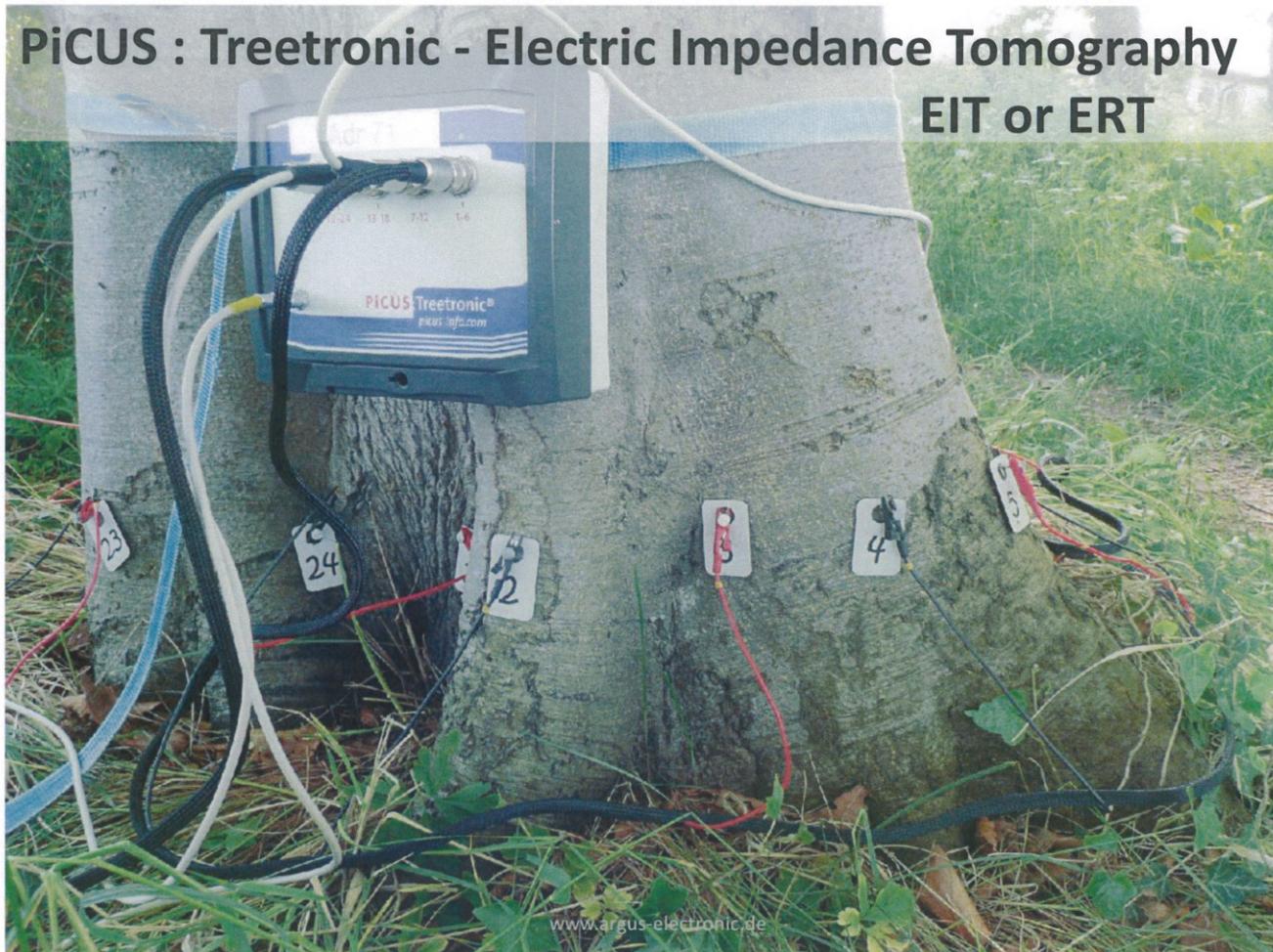
Predicted Trunk Cross-Section



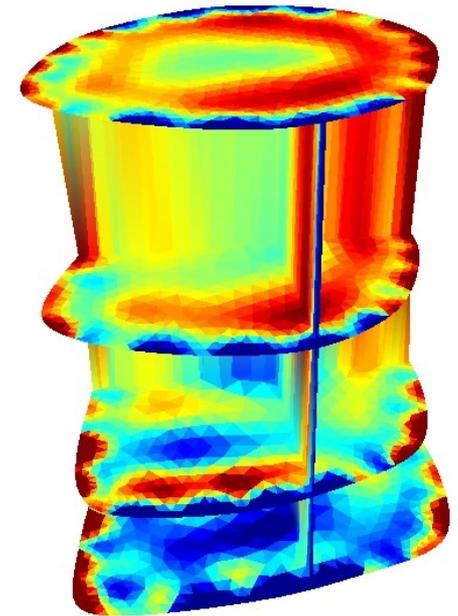
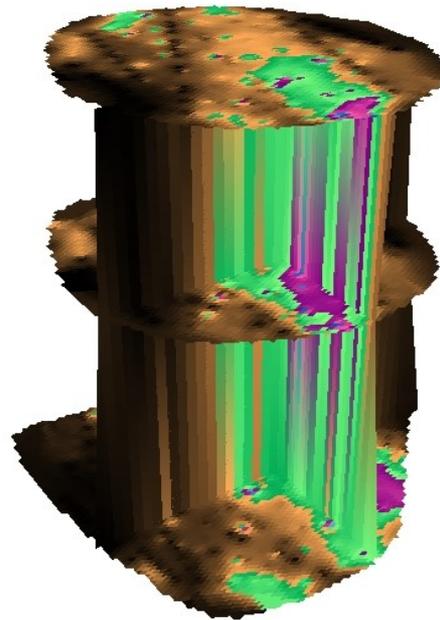
Actual Trunk Cross-Section



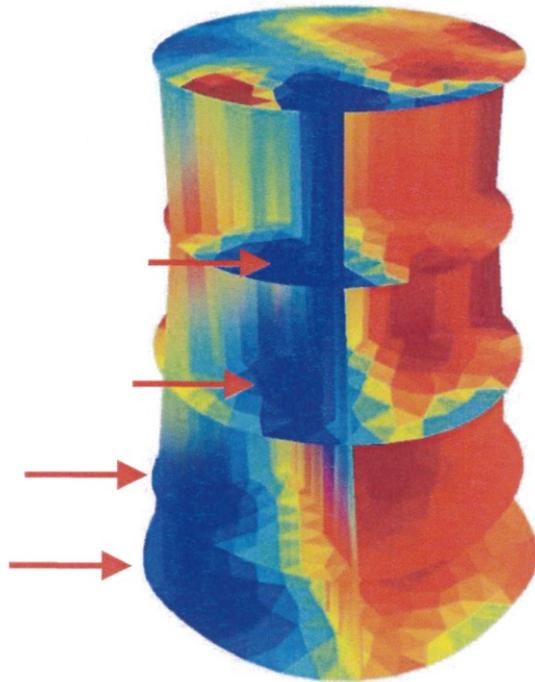
Tomografia de impedância elétrica



Tomografia de impulso mecânico



Tomografia de impedância elétrica





Avaliação do sistema radicular ou ancoragem da árvore

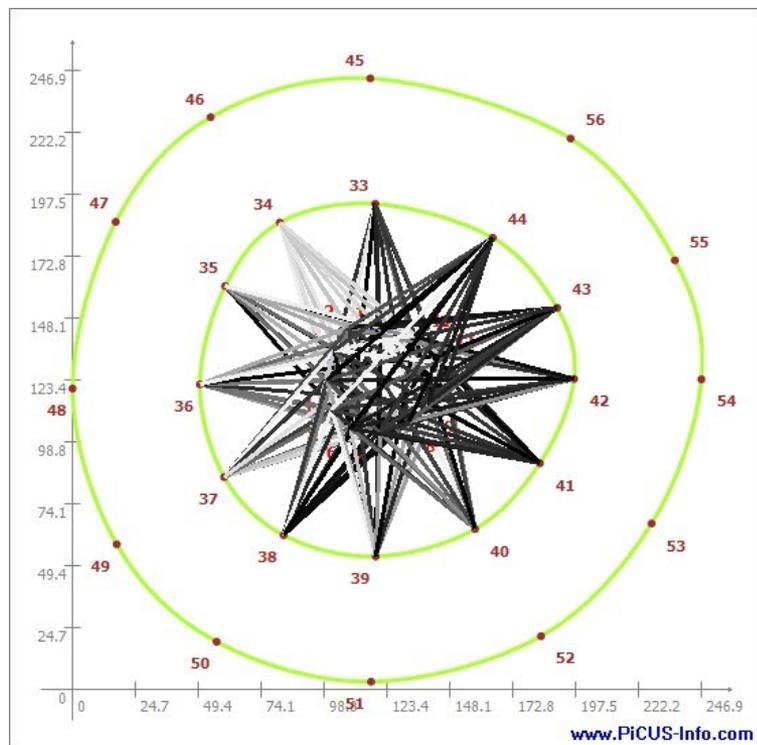
Tomografia de impulso mecânico

Detector de raízes

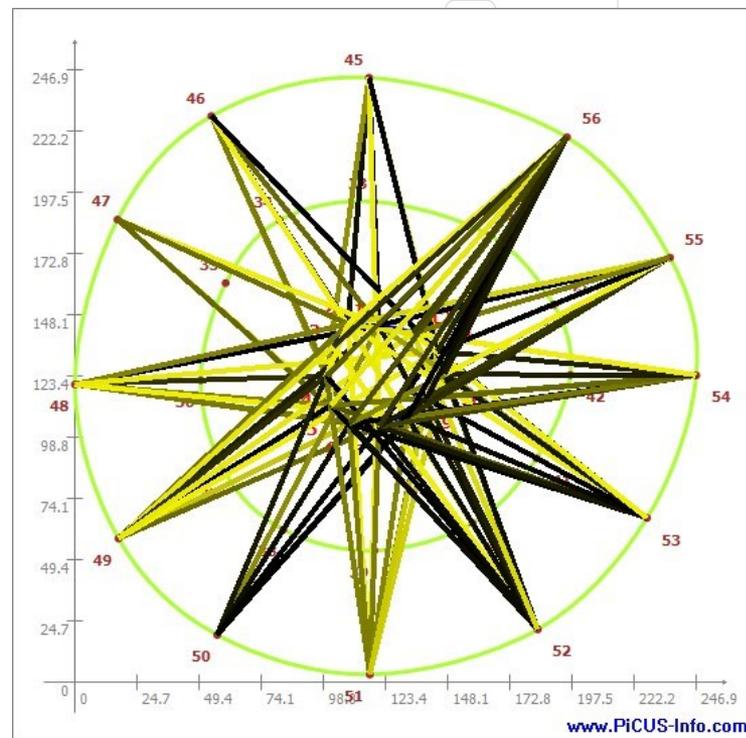


Tomografia de impulso mecânico

Detector de raízes



50 cm



100 cm

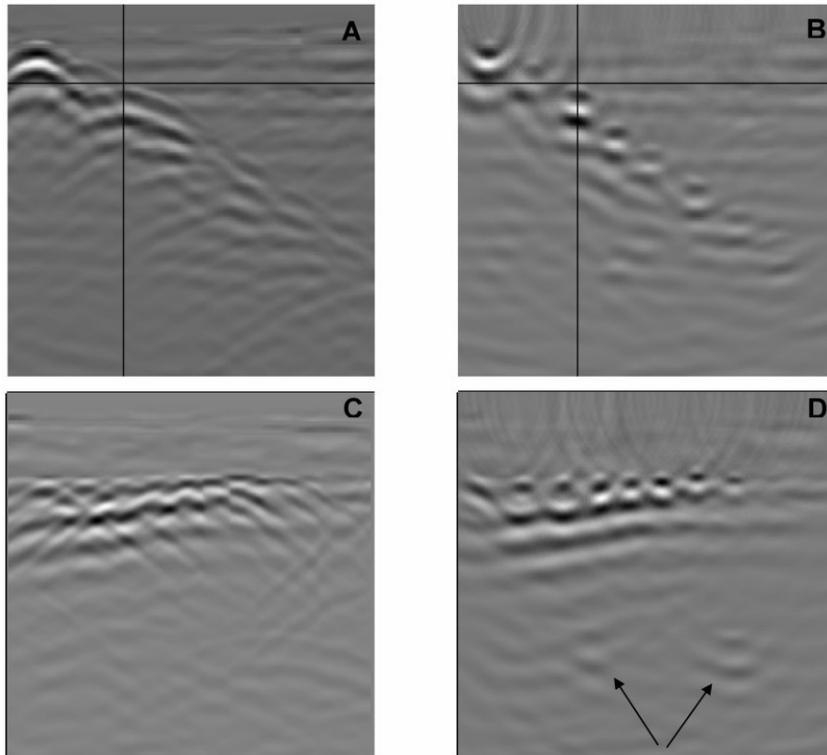
Radar



Necessita de P&D e validação

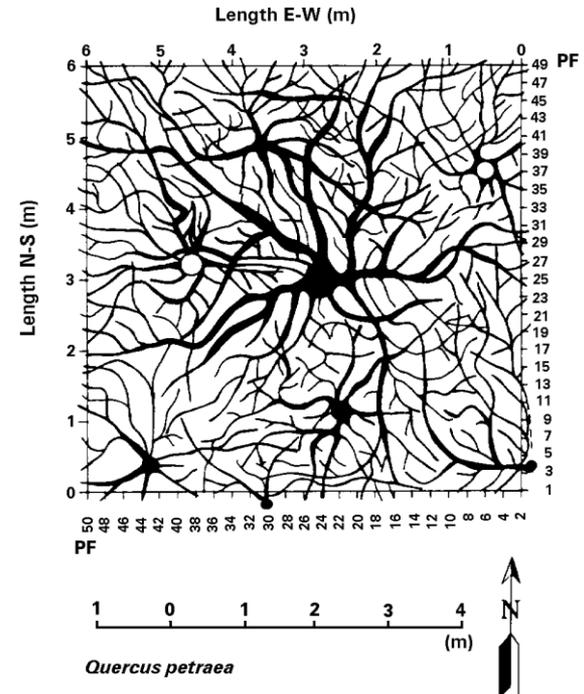
Radar

Barton e Montagu (2004)



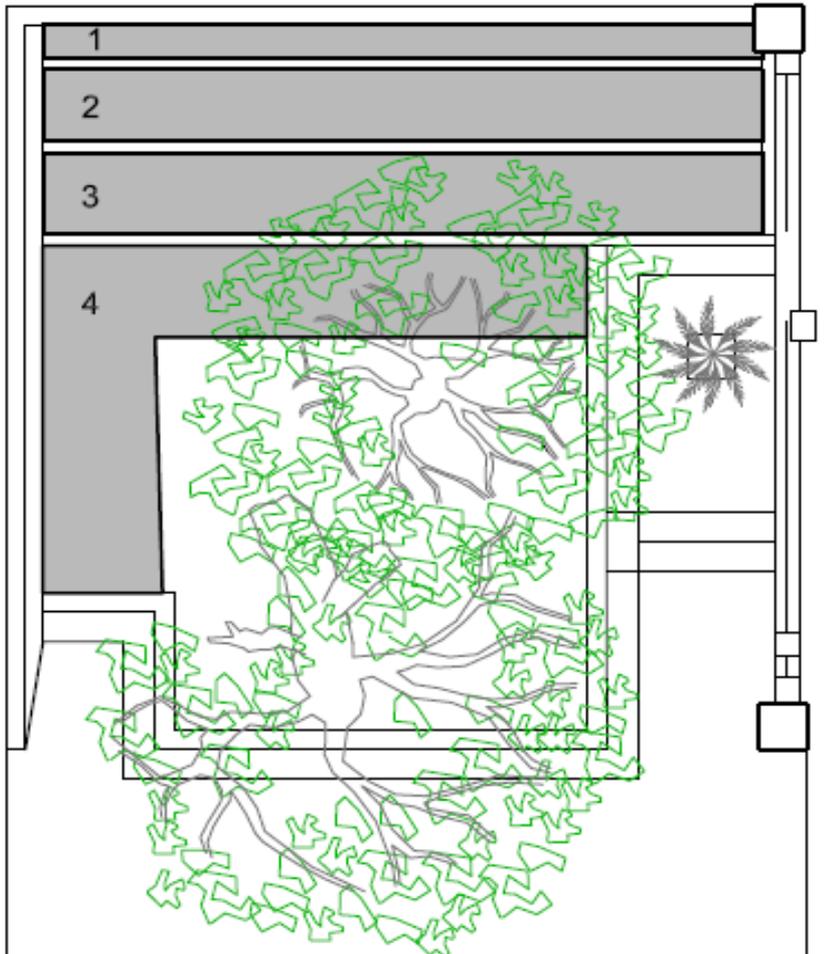
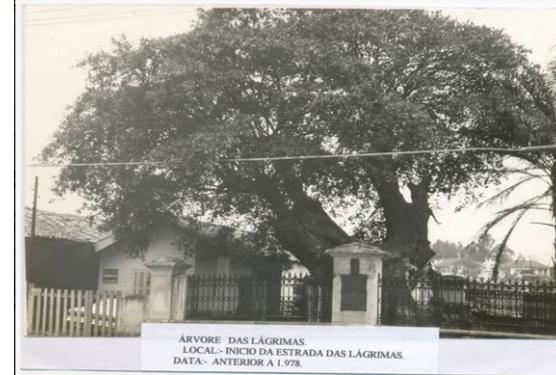
A e B – 8 raízes (5 cm de diâmetro) – profundidade 15 a 155 cm
C e D – 9 raízes (diferentes diâmetros) – 50 cm de profundidade
D - 2 raízes (seta) a 150 cm de profundidade

Hruska et al. (1997)



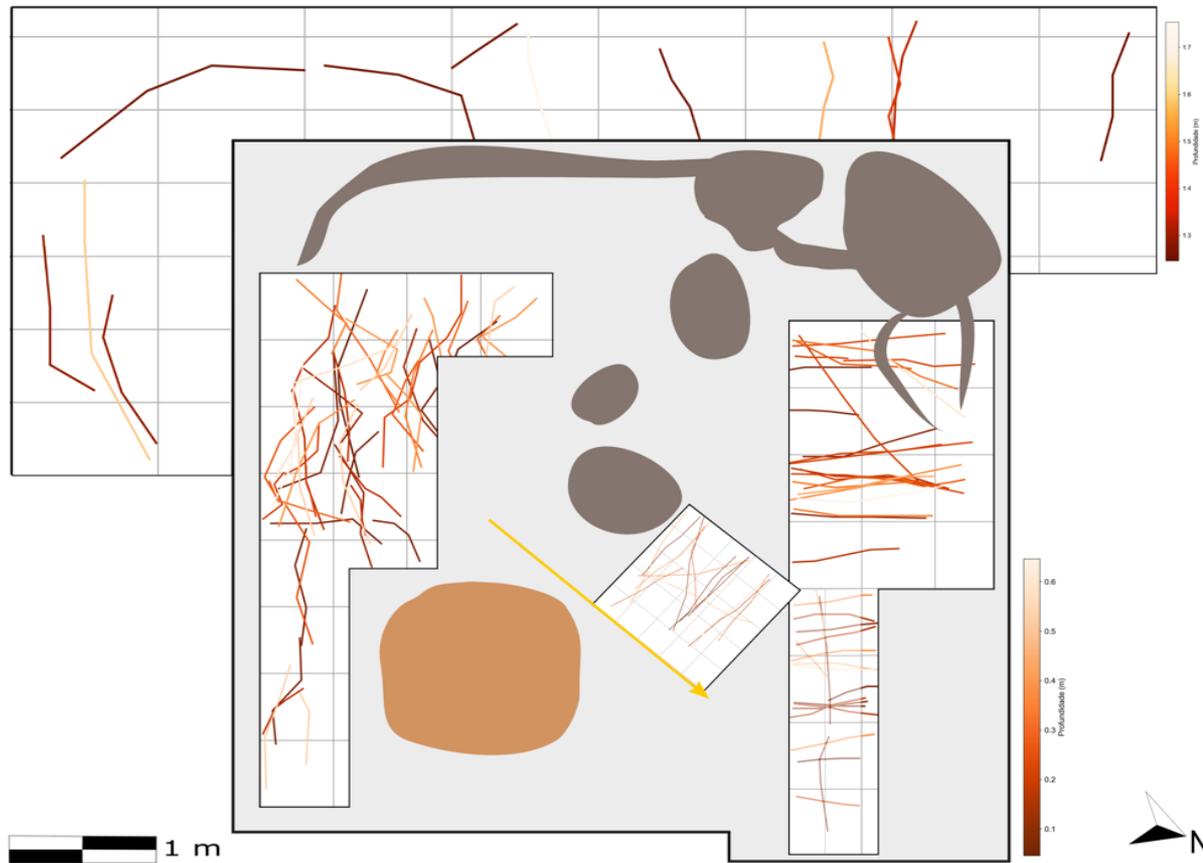
Radar

Figueira das Lágrimas, SP



Radar

Figueira das Lágrimas, SP

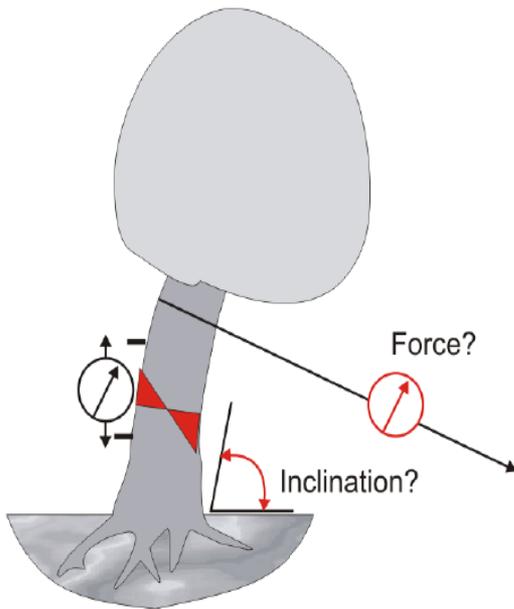


Sistemas de instrumentação

Pulling test

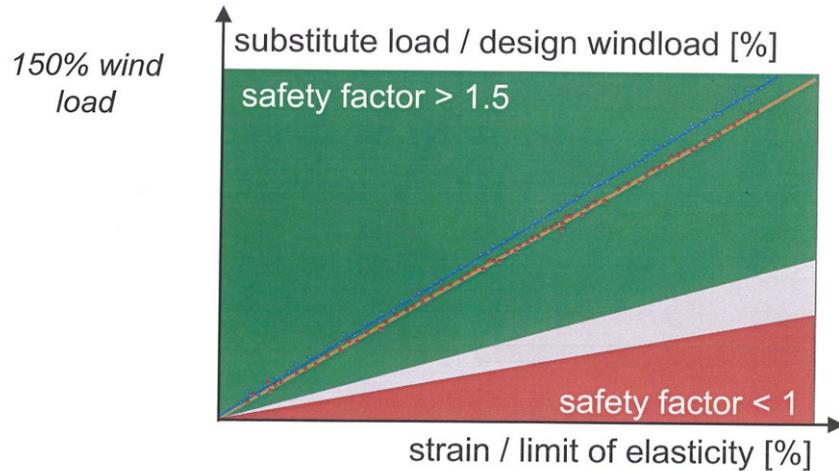
Elastômero

Inclinômetro

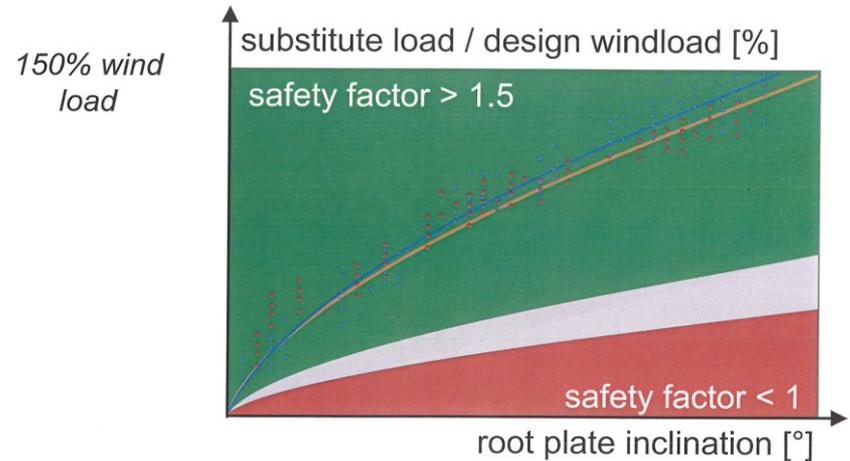


Sistemas de instrumentação

Pulling test



Ruptura no tronco

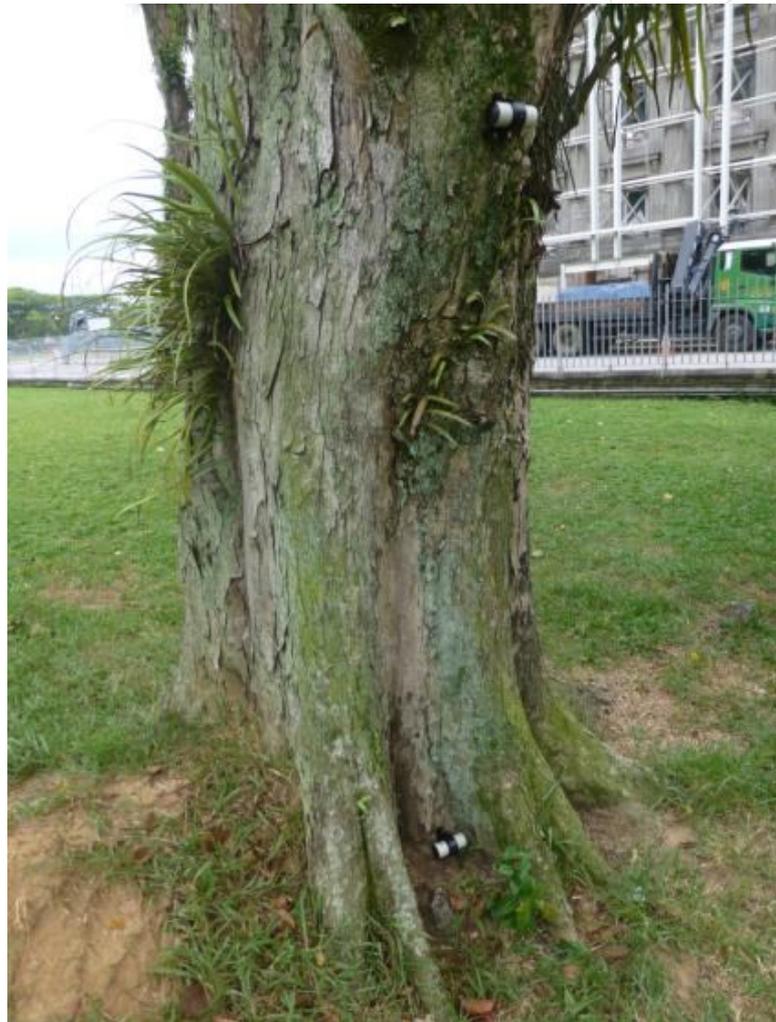
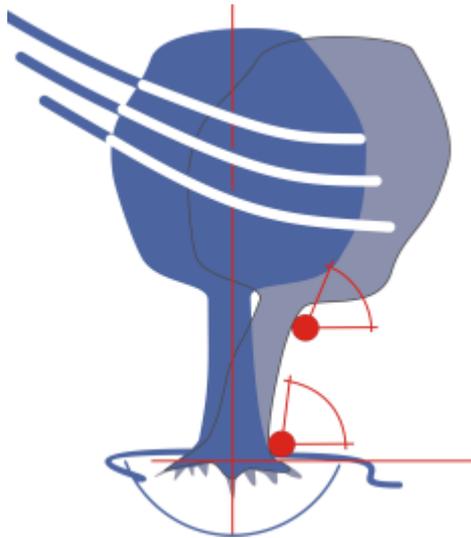


Pivotamento

Necessita de P&D e validação

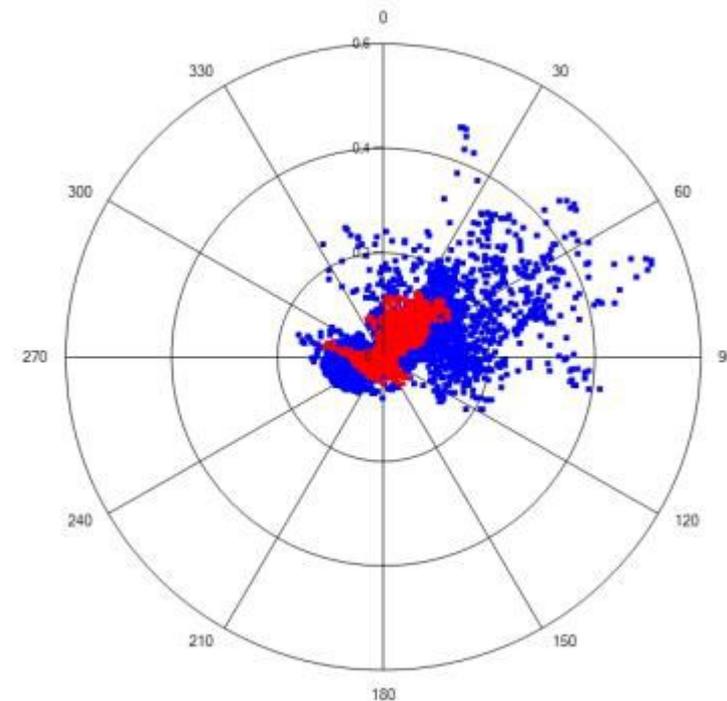
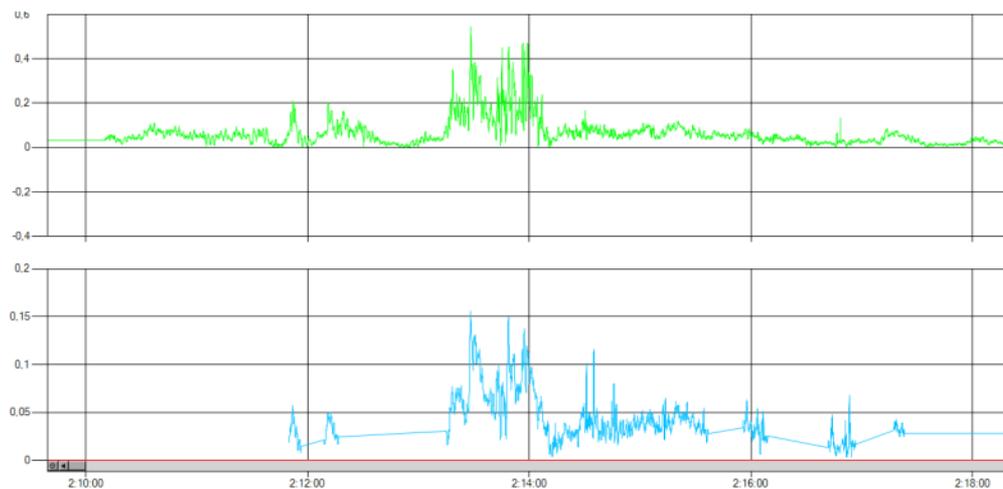
Sistemas de instrumentação

Sensores de movimento



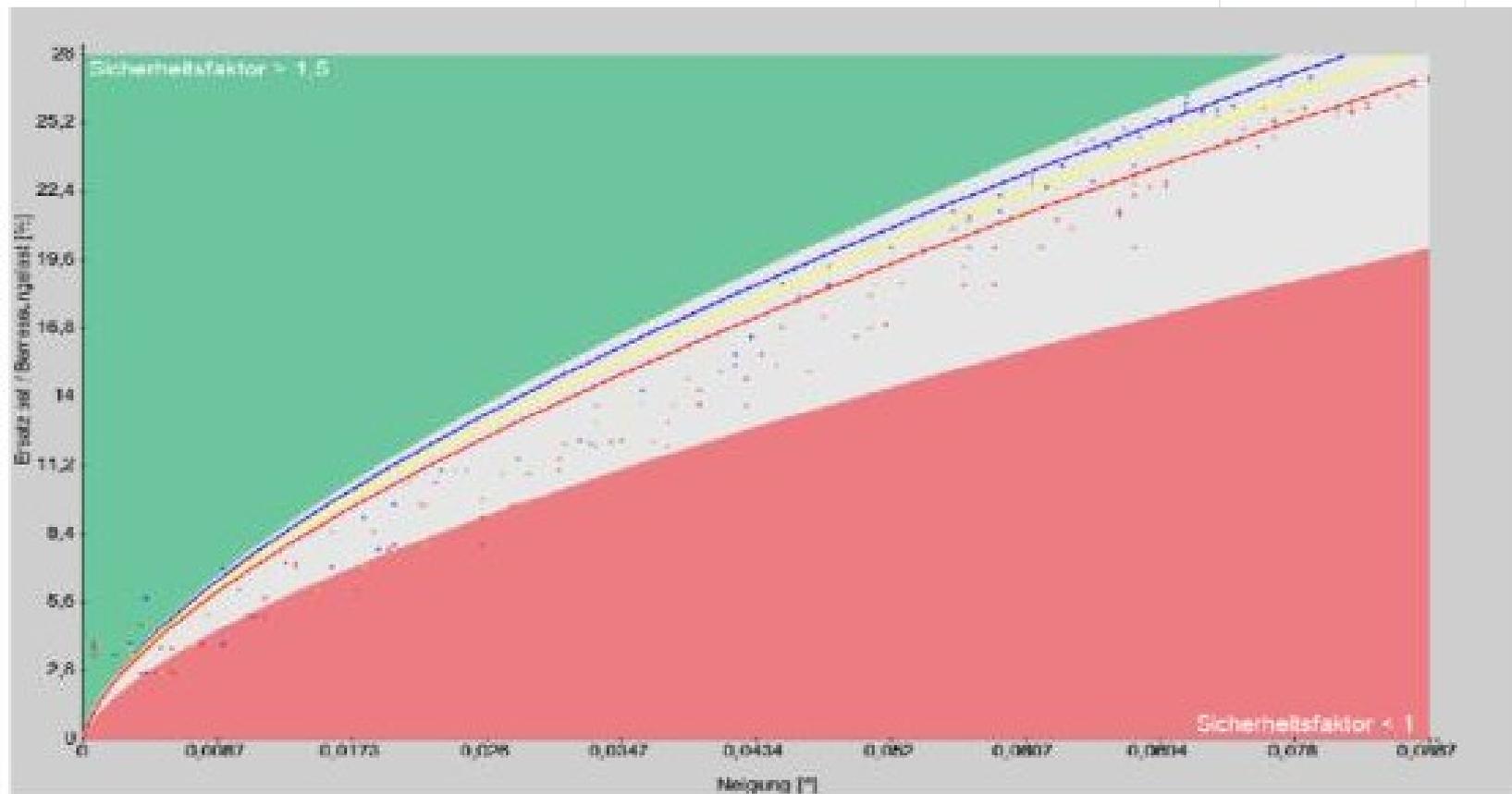
Sistemas de instrumentação

Sensores de movimento



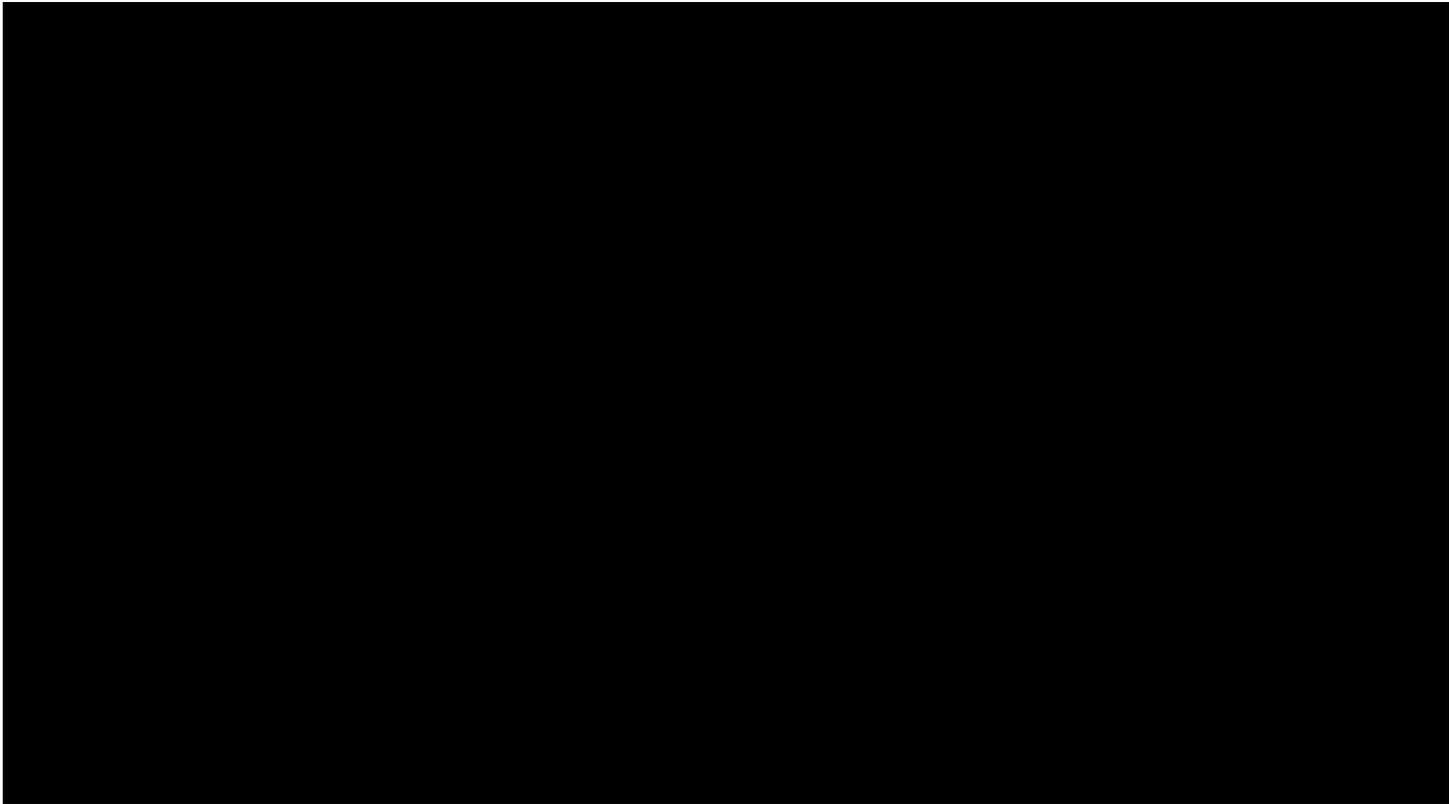
Sistemas de instrumentação

Sensores de movimento

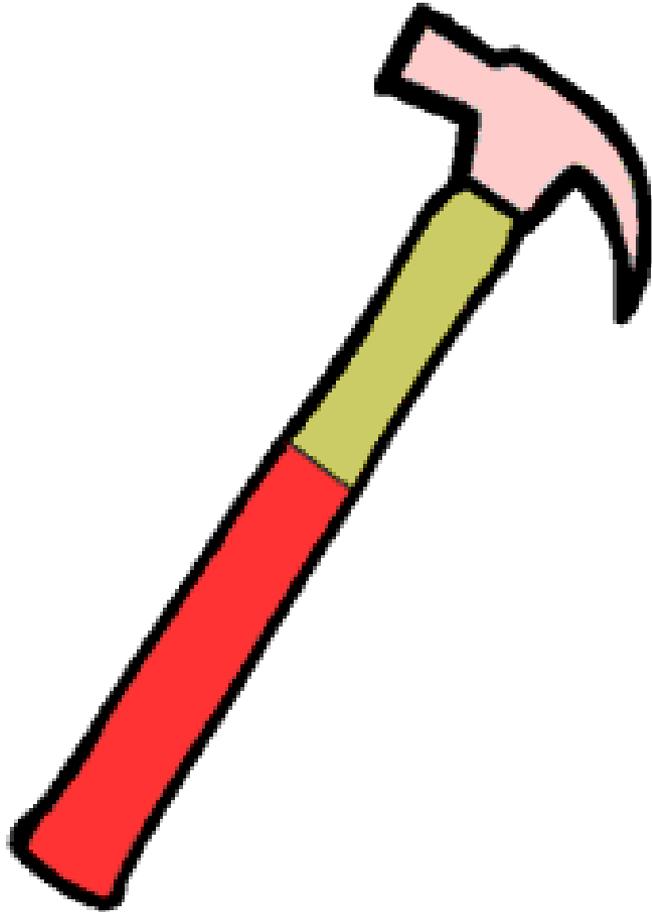


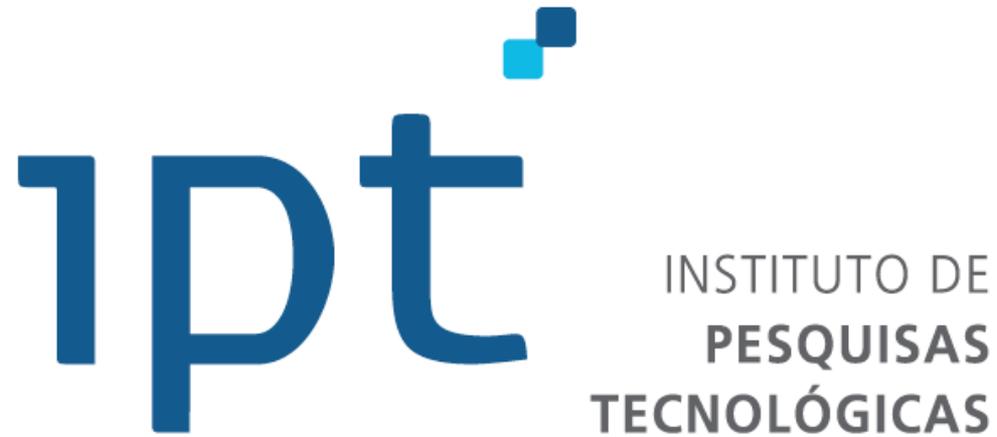
Necessita de P&D e validação

Drones



Tecnologia não destrutiva





Obrigado!