

Diagnóstico e análise de riscos de queda de árvores

Sergio Brazolin

Palestra on-line Universidade Federal de São Paulo – Curso de Pós-Graduação - Lato-Sensu em Arborização Urbana, 21 janeiro 2021.

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.



INSTITUTO DE
PESQUISAS
TECNOLÓGICAS



Diagnóstico e análise de risco de queda de árvores

Conceitos



Biólogo Sérgio Brazolin

O problema...





Qual o conhecimento/perfil
necessário para a avaliação de
risco de árvores?

Sensatez!!!



Avaliação de risco

Áreas do conhecimento

BOTÂNICA

- Taxonomia
- Morfologia externa
- Anatomia
- Fisiologia vegetal
 - Nutrição
 - Crescimento
- Plantas superiores
 - Epífitas
 - Semiparasitas
 - Parasitas

FITOSSANIDADE/FITOPATOLOGIA

- Entomologia (insetos)
- Micologia (Fungos)
- Virologia
- Bacteriologia
- Nematologia

ARQUITETURA

- Planejamento urbano

ENGENHARIA

- Biomecânica
- Propriedades básicas (madeira)
- Tecnologia



Quais os principais fatores associados à queda de uma árvore?

Reflexão do grupo

texto

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)



FATORES EXTRÍNSECOS (ANTRÓPICOS)

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



Biodeterioração de árvores



cupins

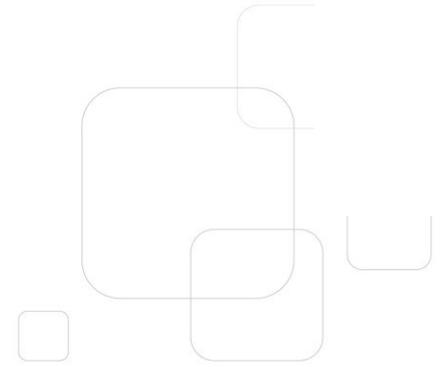


Fungos apodrecedores



Coleobrocas

Fungos Apodrecedores



Ganoderma sp.

Praça, John Lennon, SP

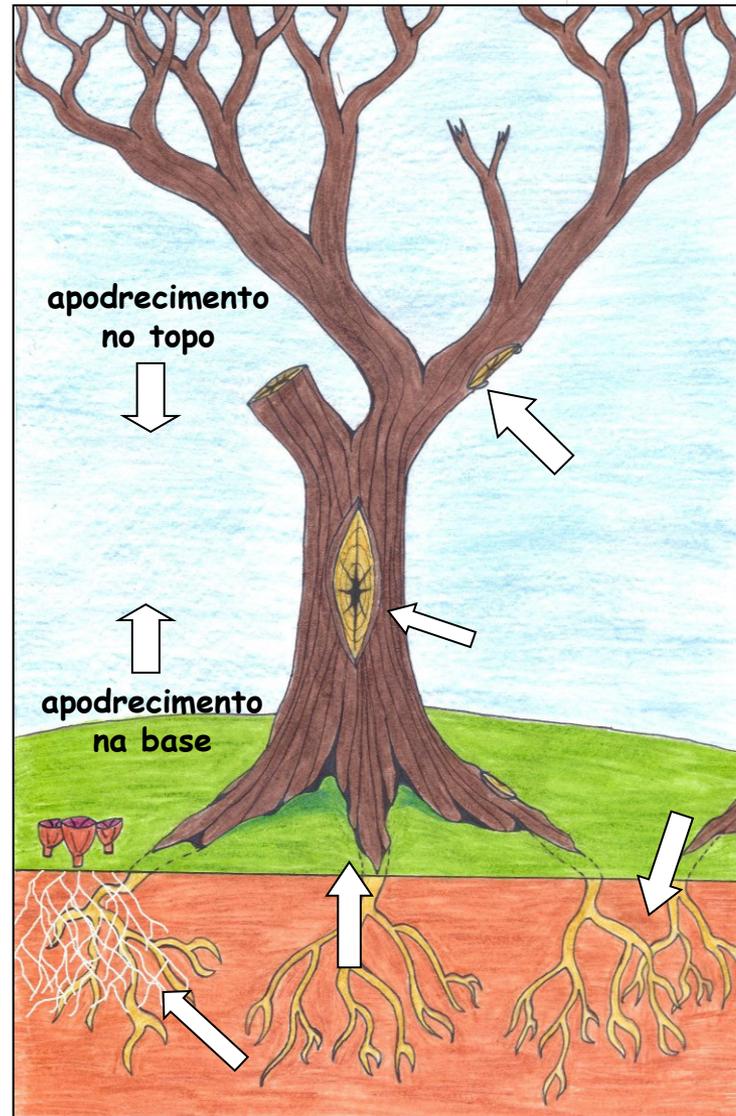


Rua Bela Cintra, SP

Rotas de infecção

Injúrias

Organismos oportunistas



Estratégias de Apodrecimento

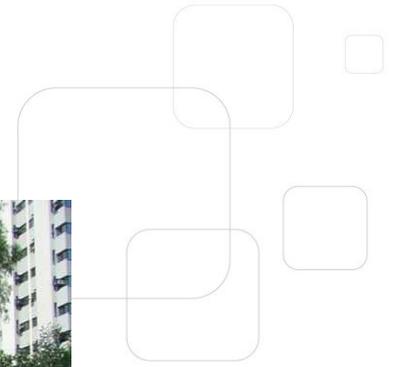


Apodrecimento do cerne
("heart rot")



Apodrecimento do alburno – injúria
("sap rot")

Apodrecimento do colo



Apodrecimento no sistema radicular



Cupim Subterrâneo



Coptotermes gestroi
(antigo *havilandi*)



Heterotermes spp.

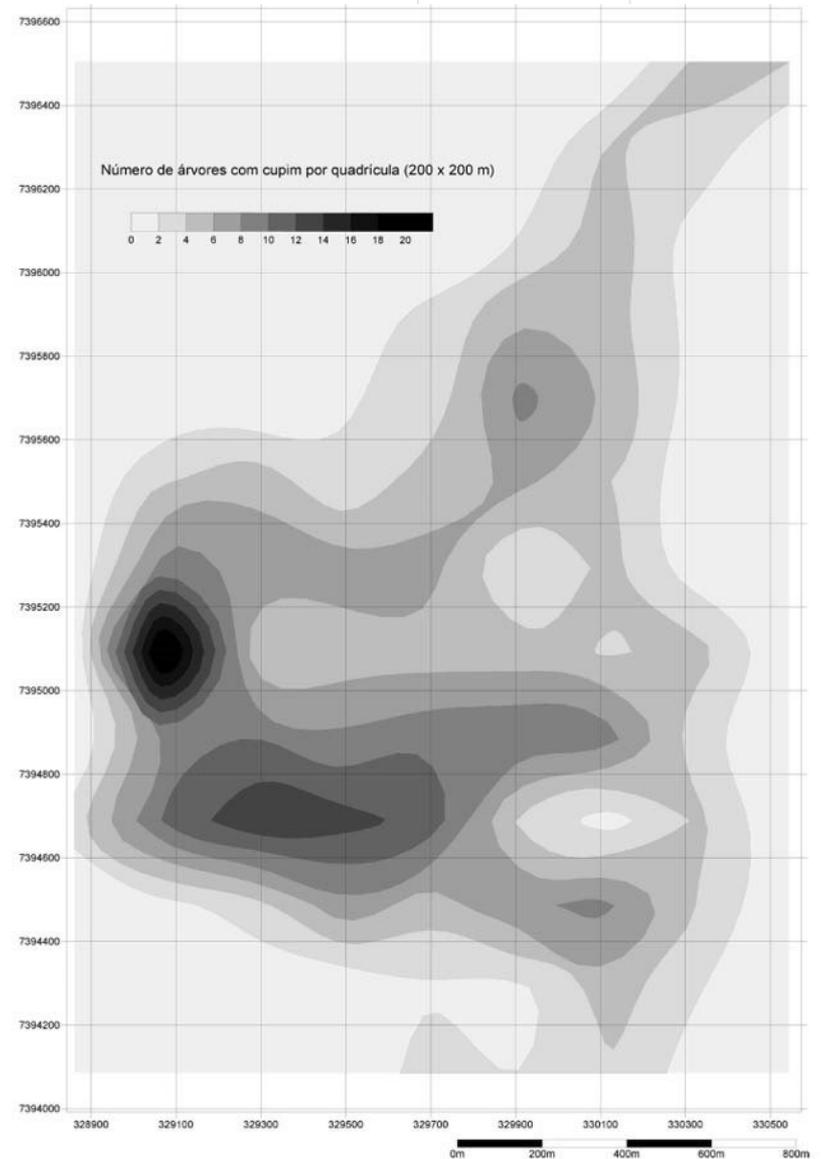


Jacarandá-mimoso

Cupins Subterrâneos

(ROMAGNANO, 2007)

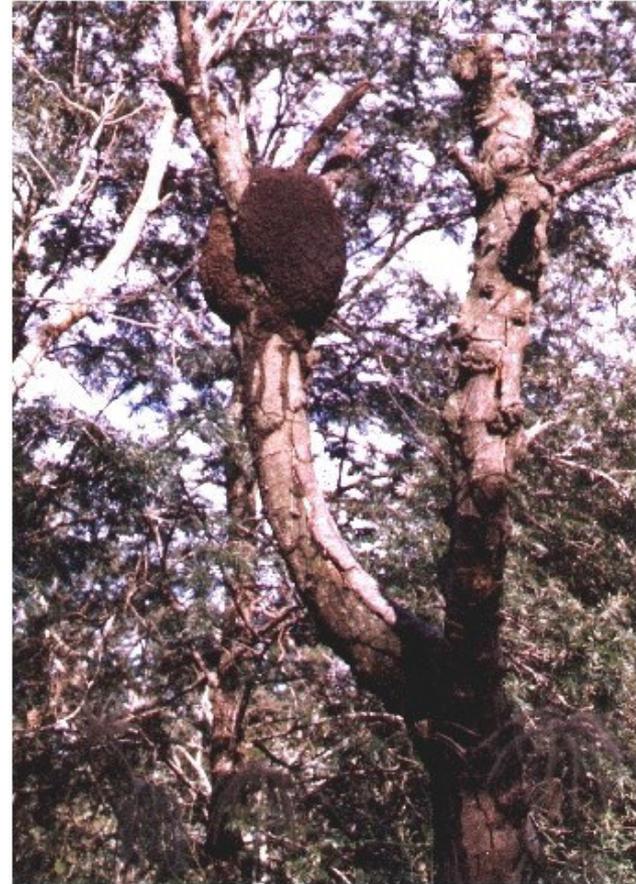
- **Gestão ambiental**
 - Mapa de tendências (árvores e edificações)



Cupim Arborícola



Nasutitermes sp.



Cupins não xilófagos

- **Espécies**

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



Cornitermes sp. - sibipiruna

Associação Fungos e Cupins Subterrâneos

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



Coleobrocas

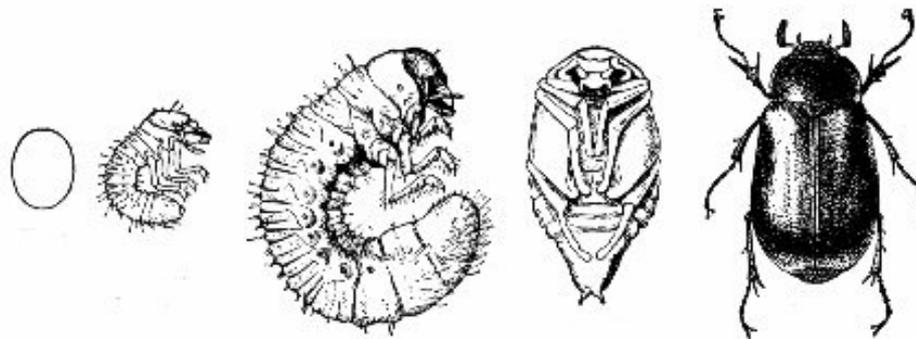
“Coleobroca não é
causa, e sim,
consequência...”

(Prof. Evôneo Berti-ESALQ/USP)



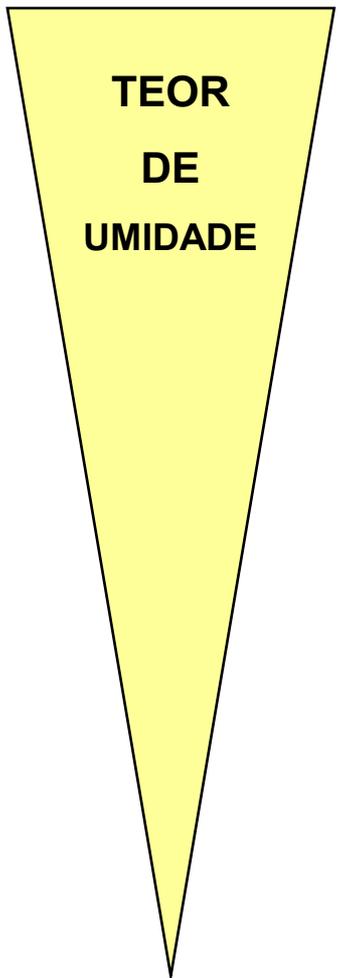
Coleóbrocas

- Ordem Coleóptera
- 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



ÁRVORE VIVA



FERIDAS



LENHO EM PROCESSO DE SECAGEM

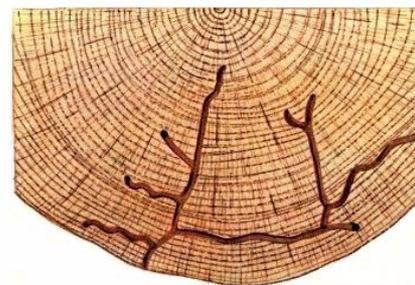
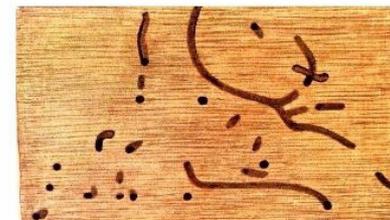
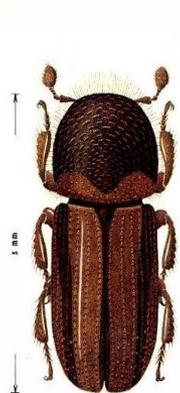


MADEIRA SECA



Famílias Scolytidae e Platipodydae

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



Ordem Coleoptera - Platipodídeos



Pau-brasil (Girardi et al., 2006)



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

Escolitídeos e/ou platipodídeos



Coleobrocas



munguba-*Pachira aquatica*

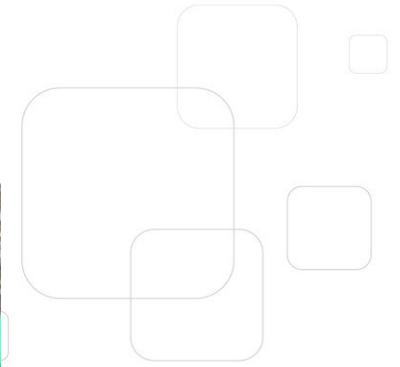


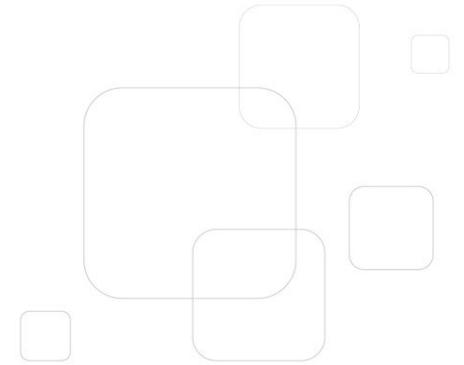
Euchroma gigantea



Larva de *E. gigantea*

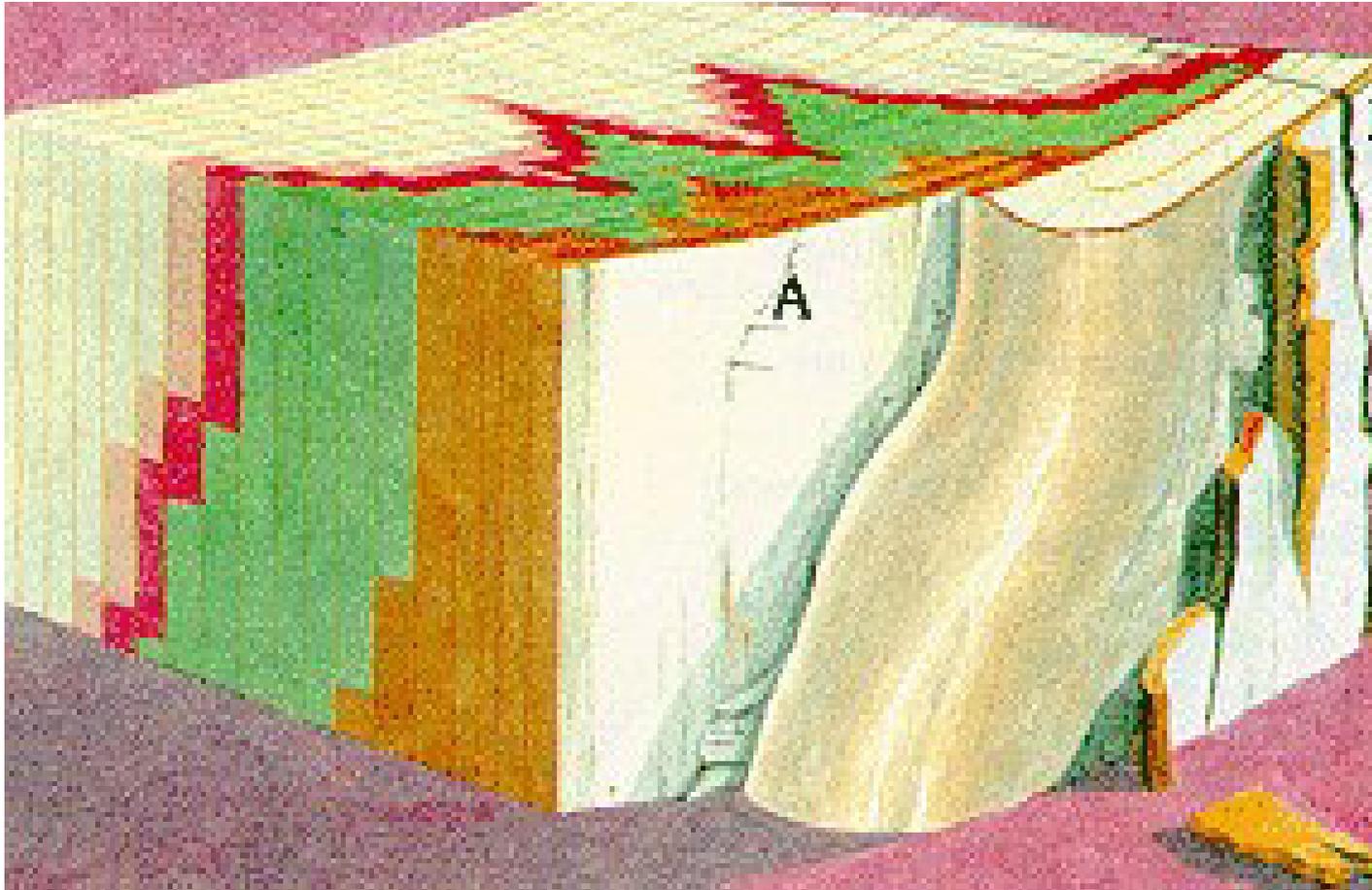
Processo de biodeterioração



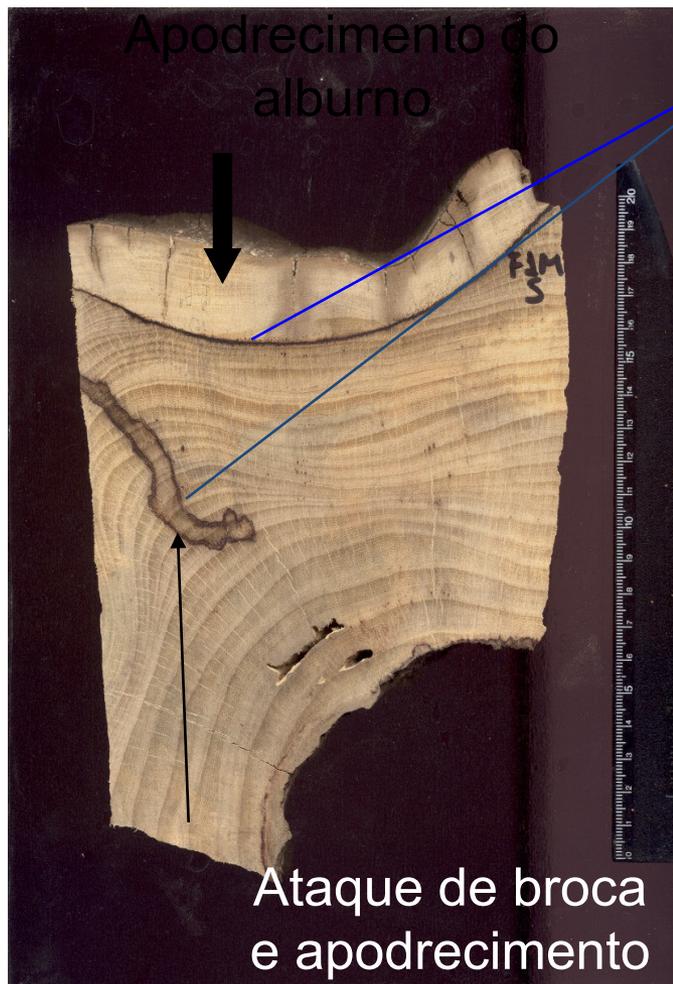


Mecanismos de resistência à biodeterioração

Barreiras

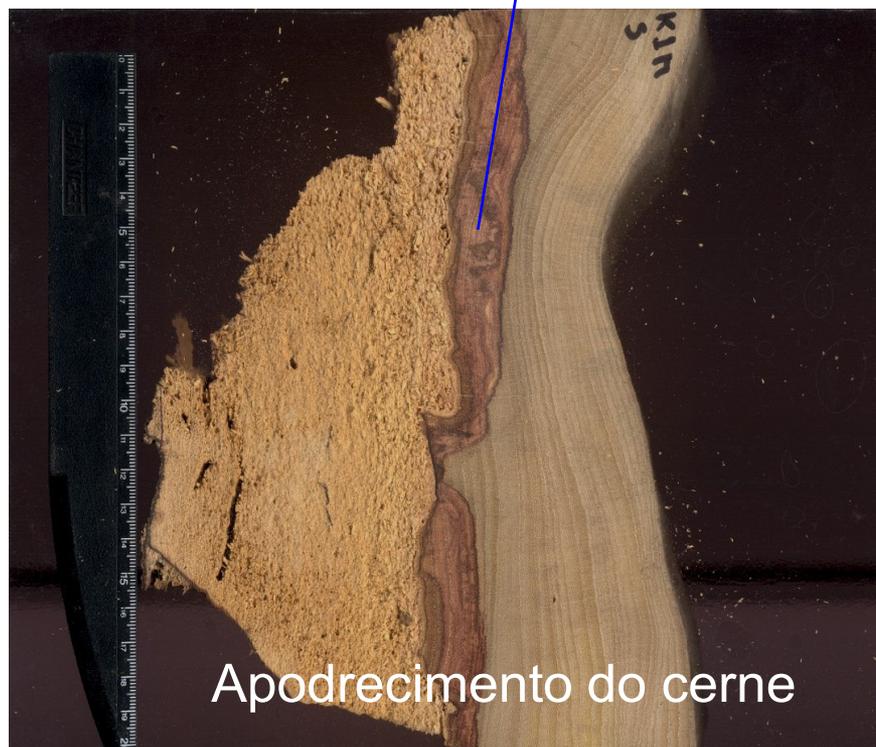


Mecanismo de resistência - tipuana

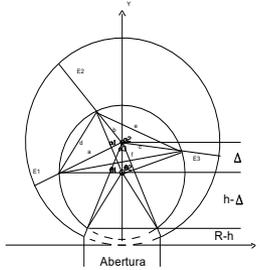


Linha de
compartimentalização

Zona de reação

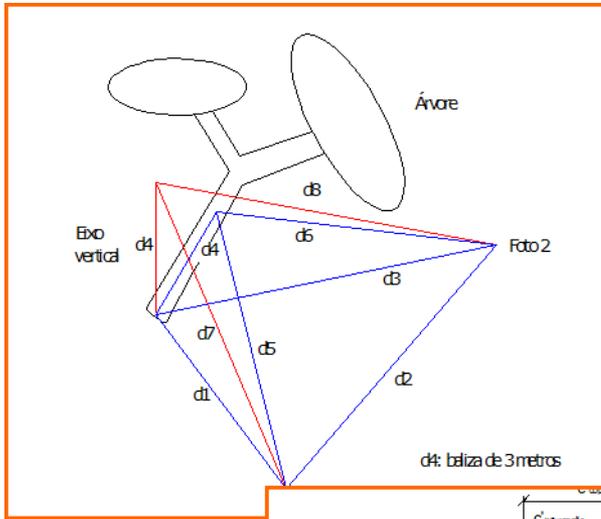


Biomecânica



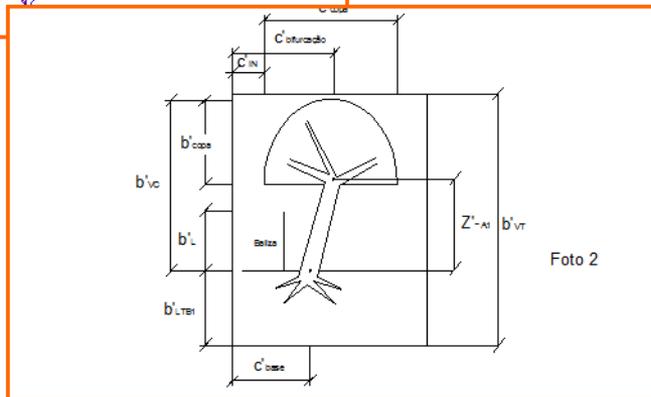
$$\int \frac{ds}{e} = 2 \int_{\alpha=0}^{\alpha=\pi} \frac{\left(r + \frac{c-r}{2}\right)}{(c-r)} * \left[\frac{(R * \cos \alpha - \Delta) * R * \cos \alpha + R^2 * \sin^2 \alpha}{(R * \cos \alpha - \Delta)^2 + R^2 \sin^2 \alpha} \right] d\alpha$$

$$J_i = \frac{4A_m^2}{\int \frac{ds}{e}} \quad W_x = \text{mínimo} \left(\frac{I_x}{y_G}; \frac{I_x}{(2R - y_G)} \right)$$



$$CG_1 = y_{G1} - y_G \quad f_{c,0,k} = 0,7 * f_{c0} \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,x,d}}{f_{m,x,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} \leq 1$$

$$J_t = \frac{2}{3} \int_{\alpha_0}^{\alpha_N} (c-r)^3 \left(r + \frac{c-r}{2} \right) * \left[\frac{(R * \cos \alpha - \Delta) * R * \cos \alpha + R^2 * \sin^2 \alpha}{(R * \cos \alpha - \Delta)^2 + R^2 \sin^2 \alpha} \right] d\alpha$$



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

$$J_t = \frac{4A_m^2}{\int \frac{ds}{e}} \quad CG_{12} = y_{G12} - y_G$$

Biomecânica de Árvores

C. Mattheck

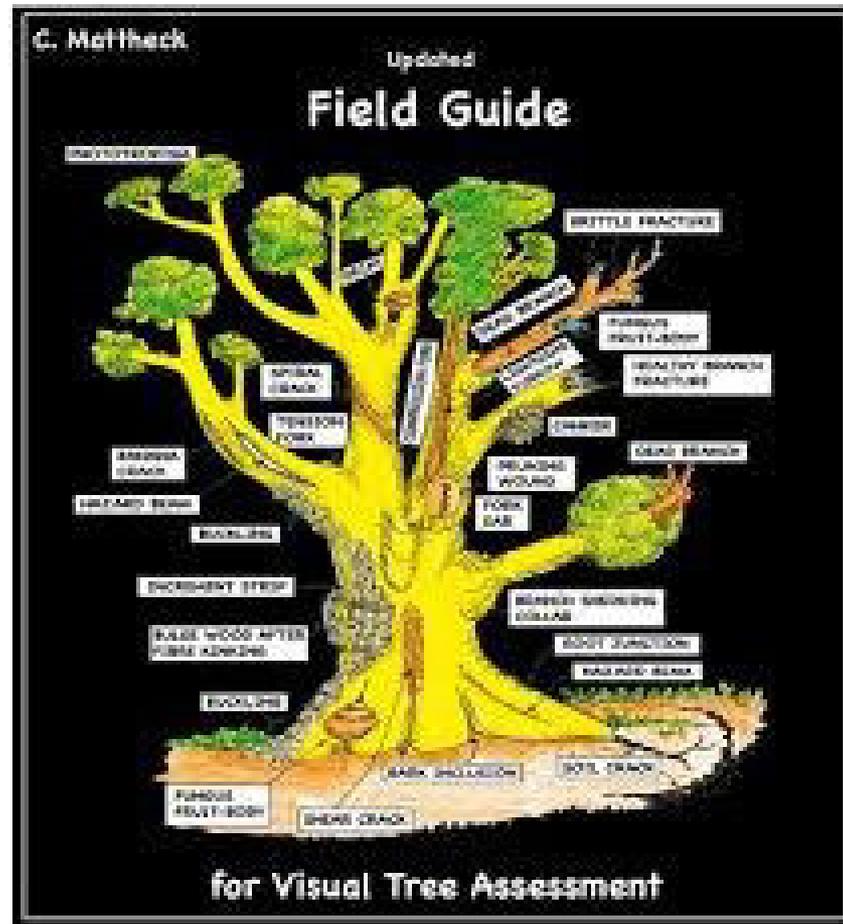
K. Bethge K. Weber

The Body Language of Trees

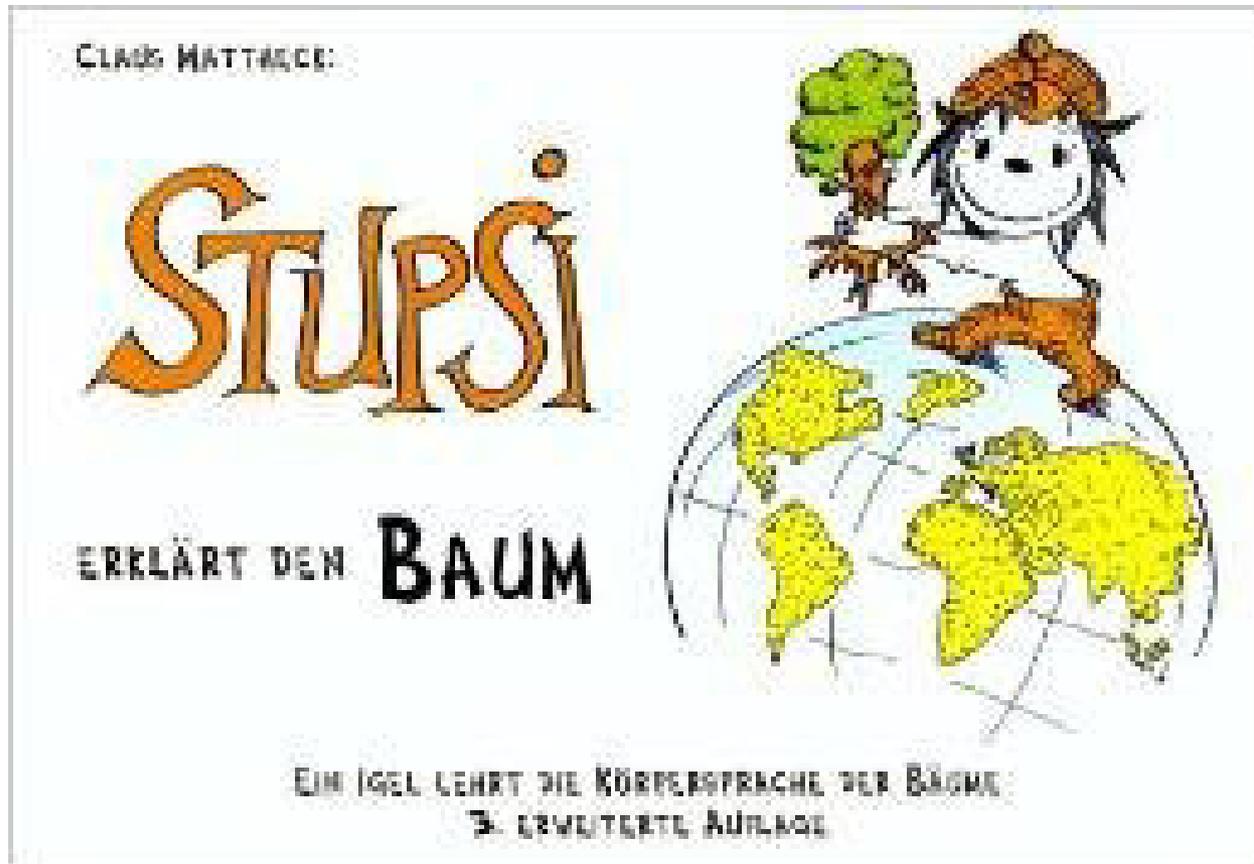


Encyclopedia of Visual Tree Assessment

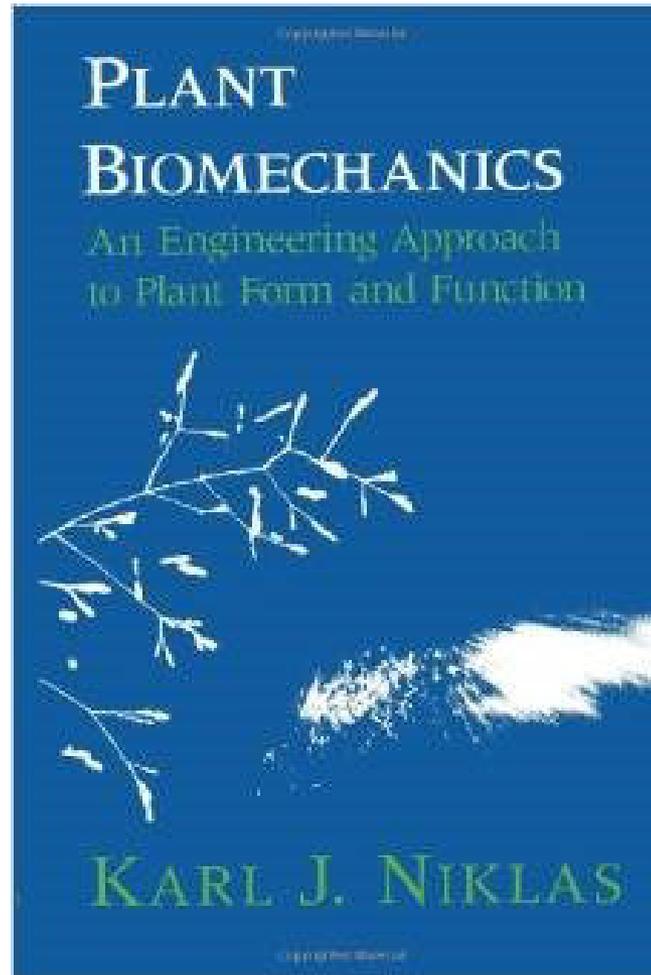
Biomecânica de Árvores

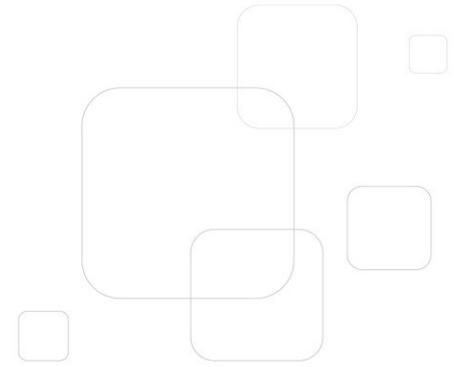


Biomecânica de Árvores



Biomecânica de Árvores



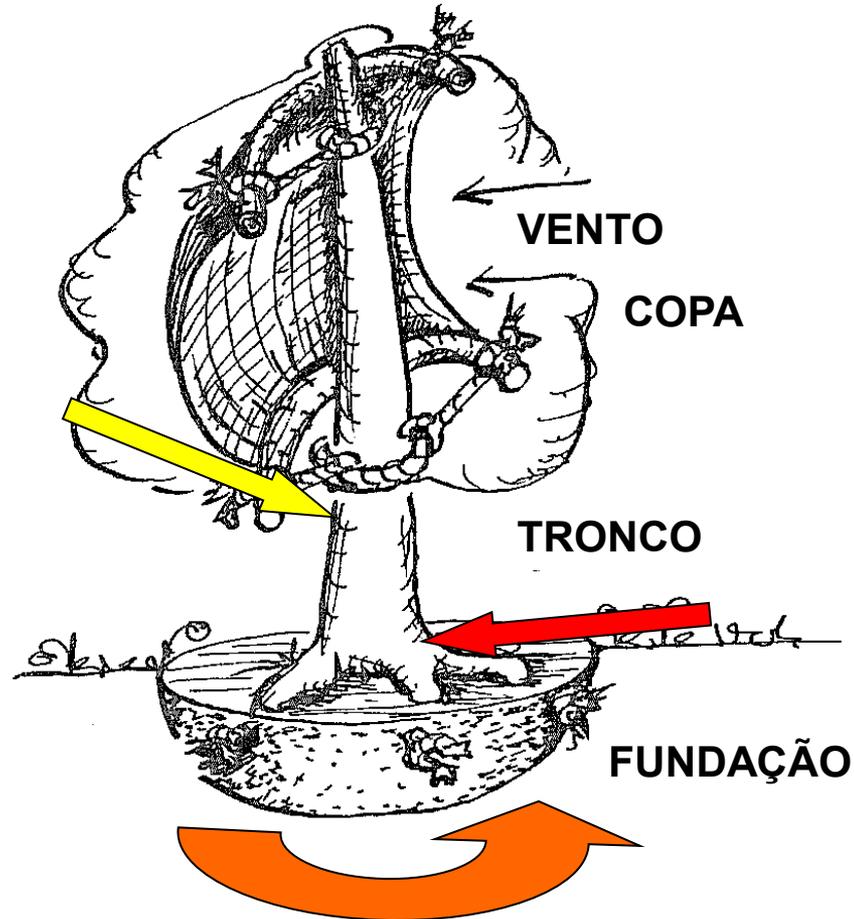


Biomecânica de árvores

Esforços externos e tensões

A árvore como uma estrutura...

RUPTURA – QUEDA DA ÁRVORE



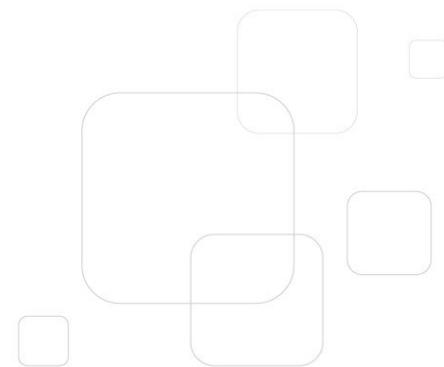
Mattheck (1987)

Esforço solicitante ou carga - 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

Ressonância

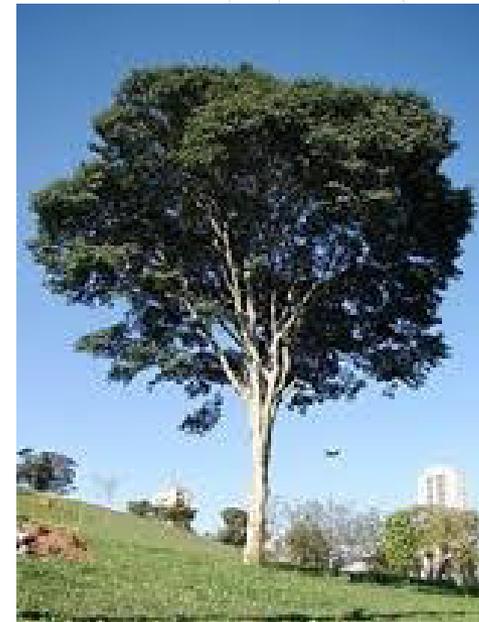


Efeito Dinâmico

Rigidez ao vento



Guapuruvu



Pau-ferro

Ação do vento

Esforço solicitante ou carga



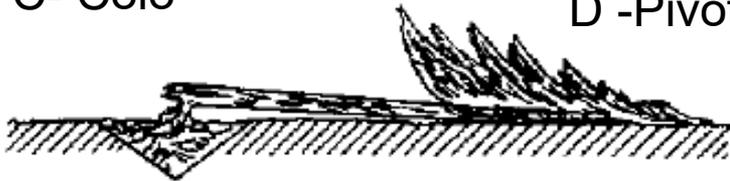
A - Ruptura tronco



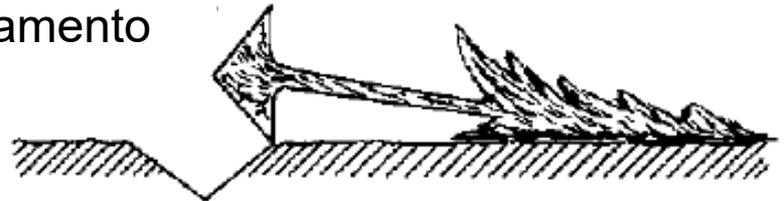
B - Ruptura raiz



C- Colo

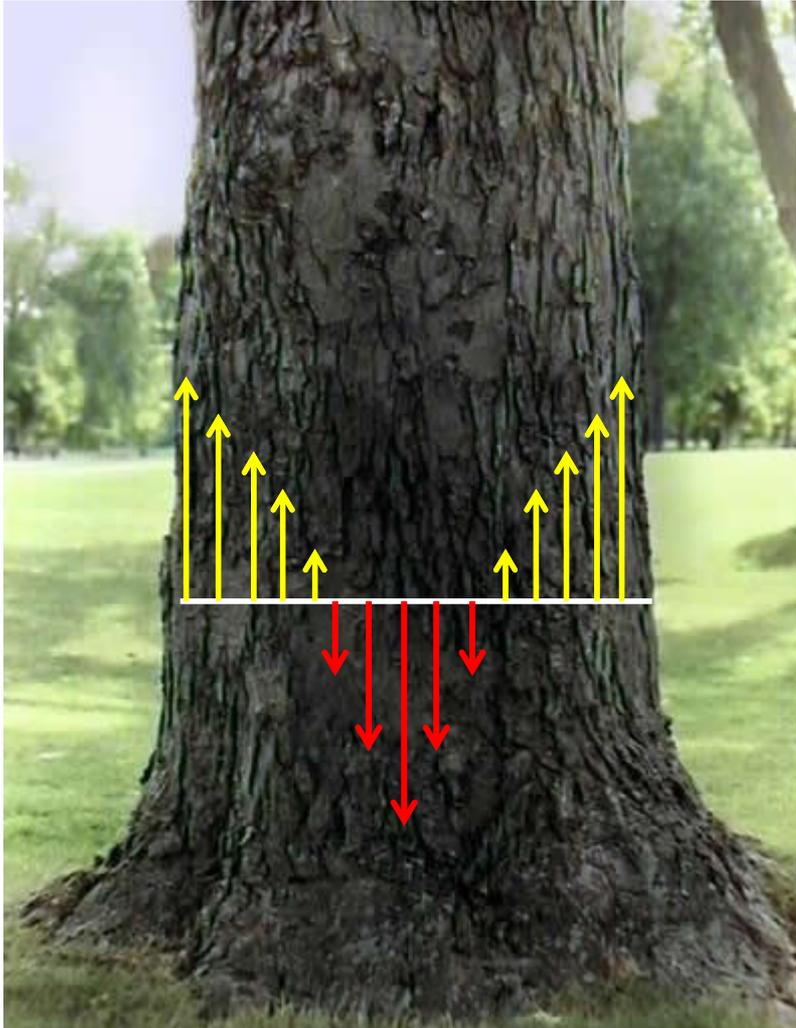


D -Pivotamento



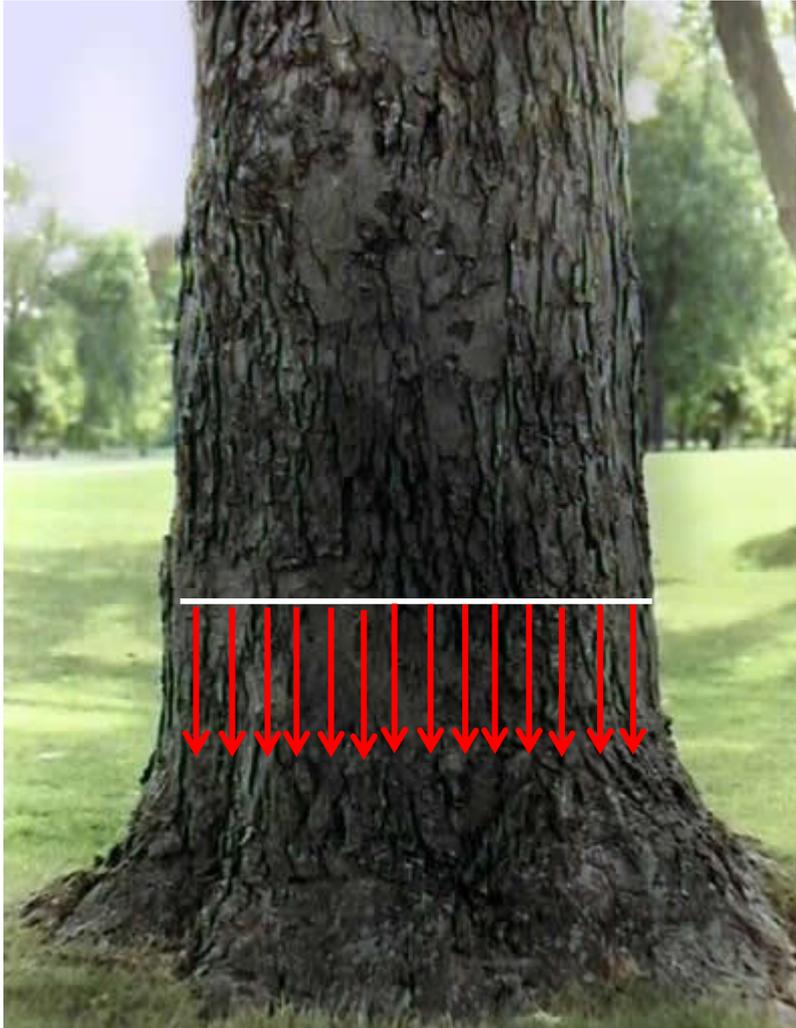
- A e C – rajadas muito forte de poucos segundos (solo seco)
- D e B – Oscilação/rajadas (relação com solo)

Tensões de Crescimento



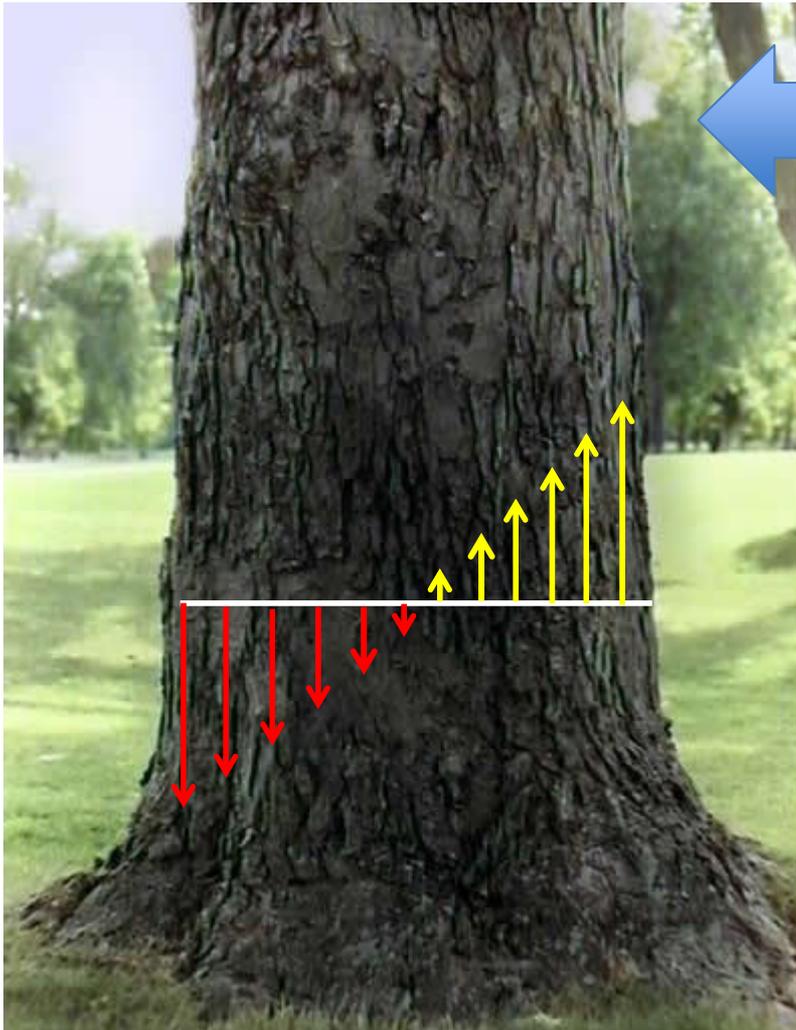
Compressão

(Peso próprio)



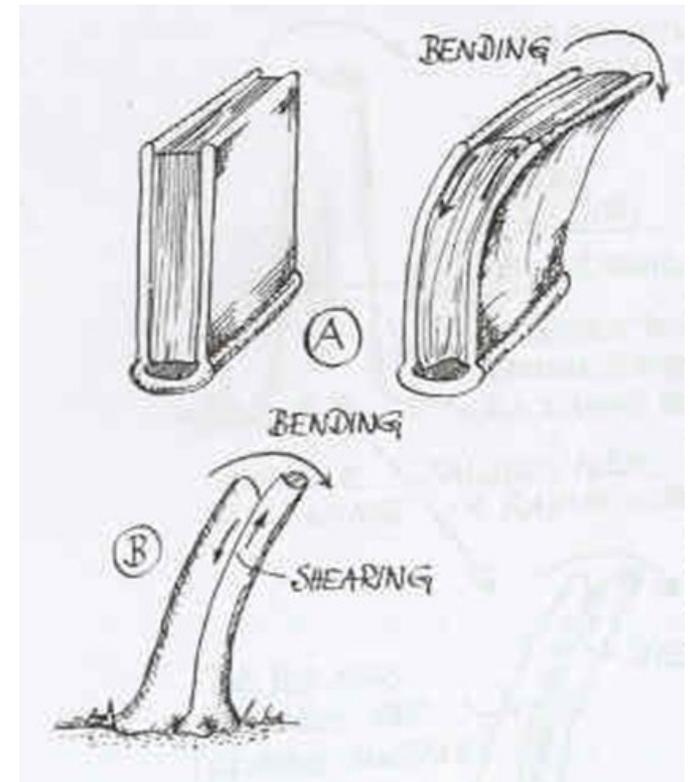
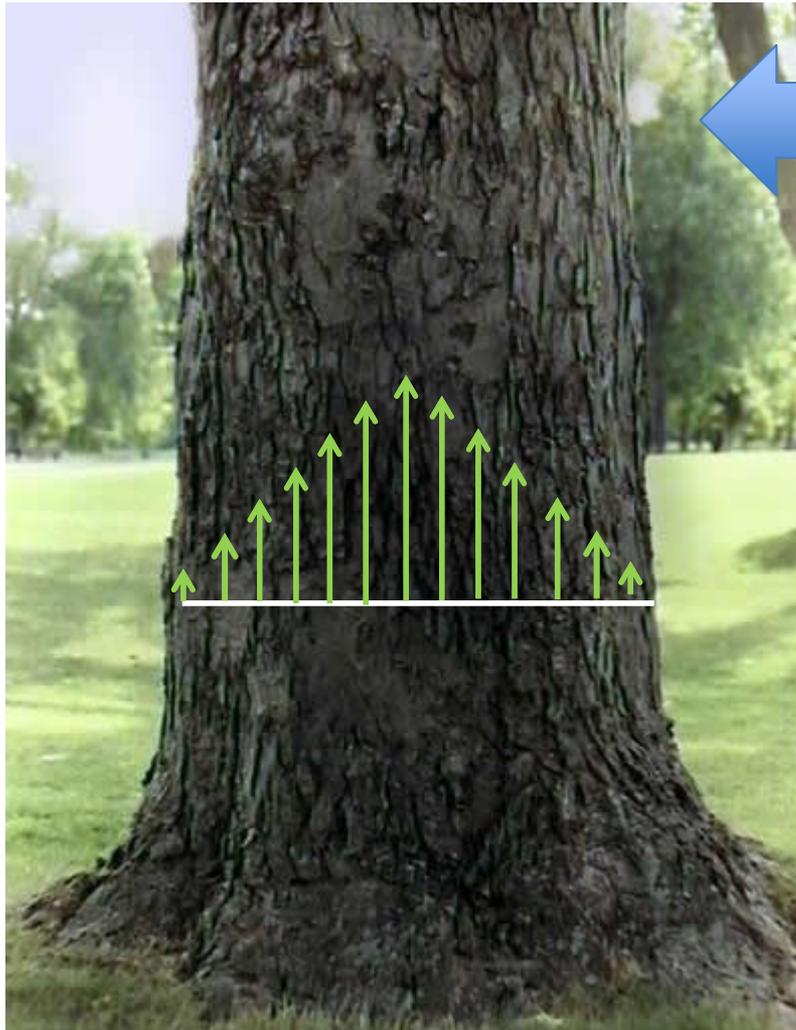
Flexão

Ação do vento ou Árvores inclinadas

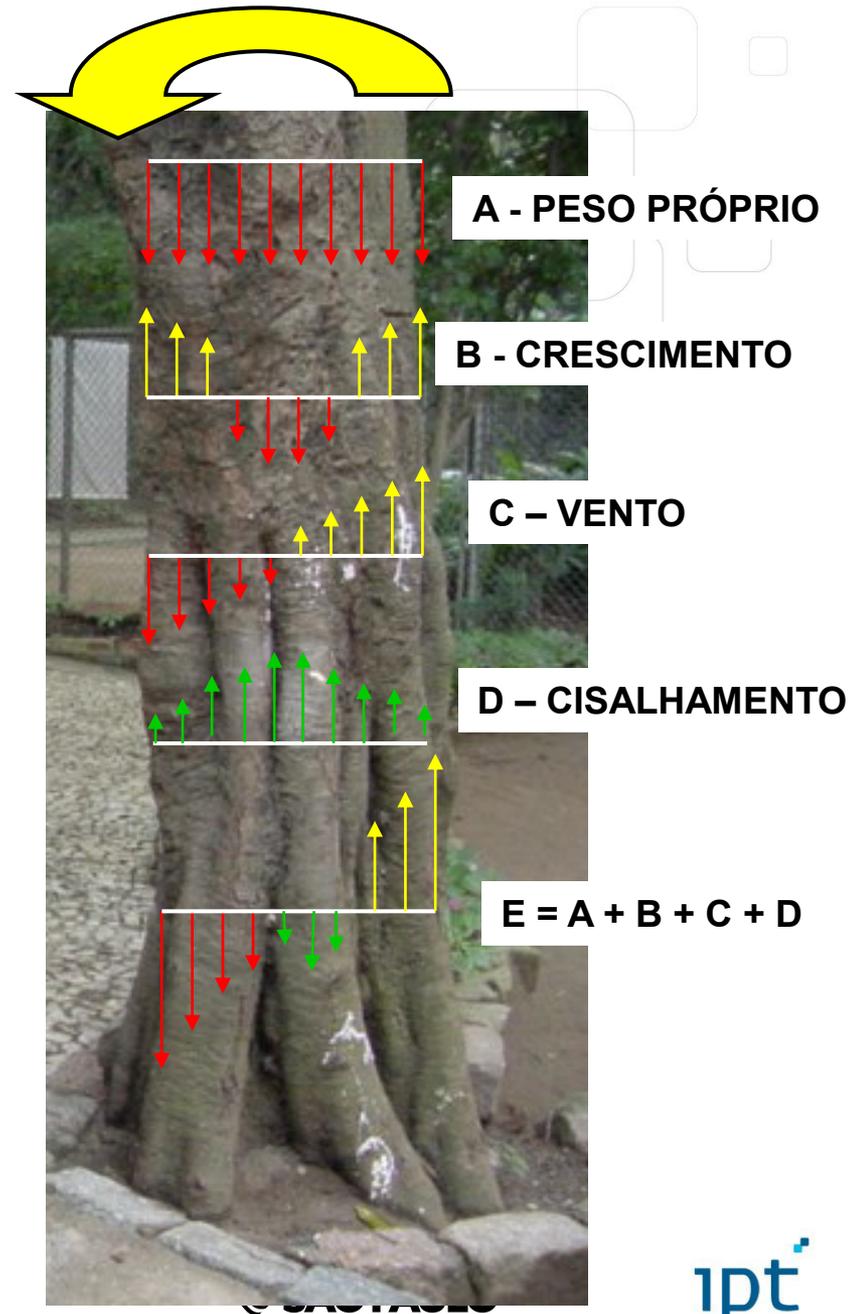


Cisalhamento

Ação do vento



Axioma da tensão uniforme



Axioma da Tensão Uniforme

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



DEFEITO

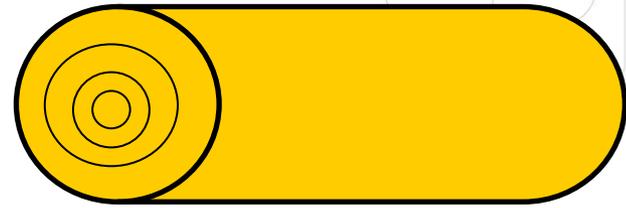
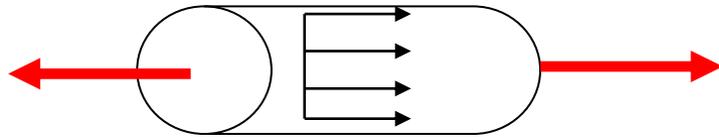
Forma ou composição química



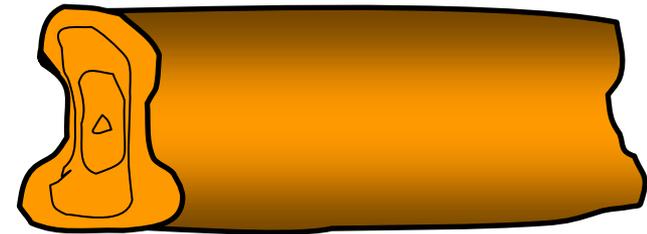
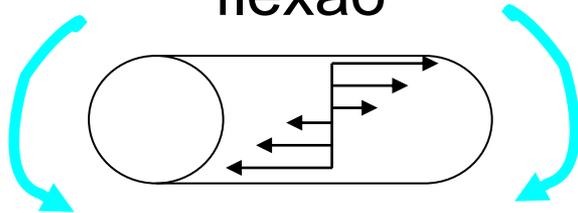
Crescimento Adaptado

Sistema radicular

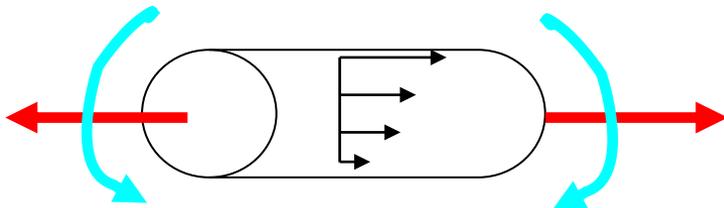
tração



flexão

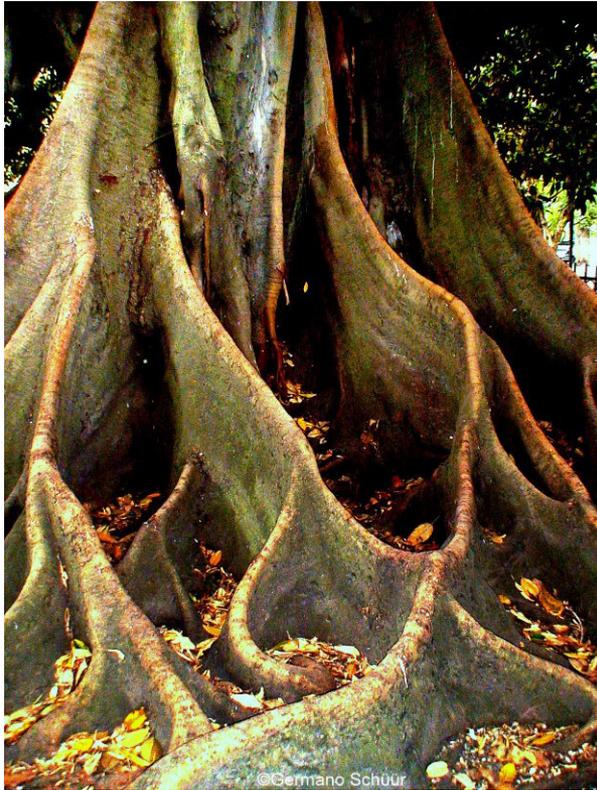


Flexão + tração



Biomecânica

Crescimento adaptado



Mattheck (2007)

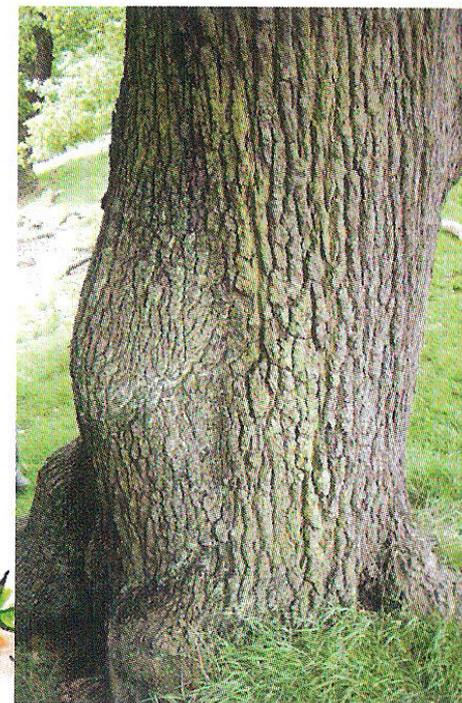
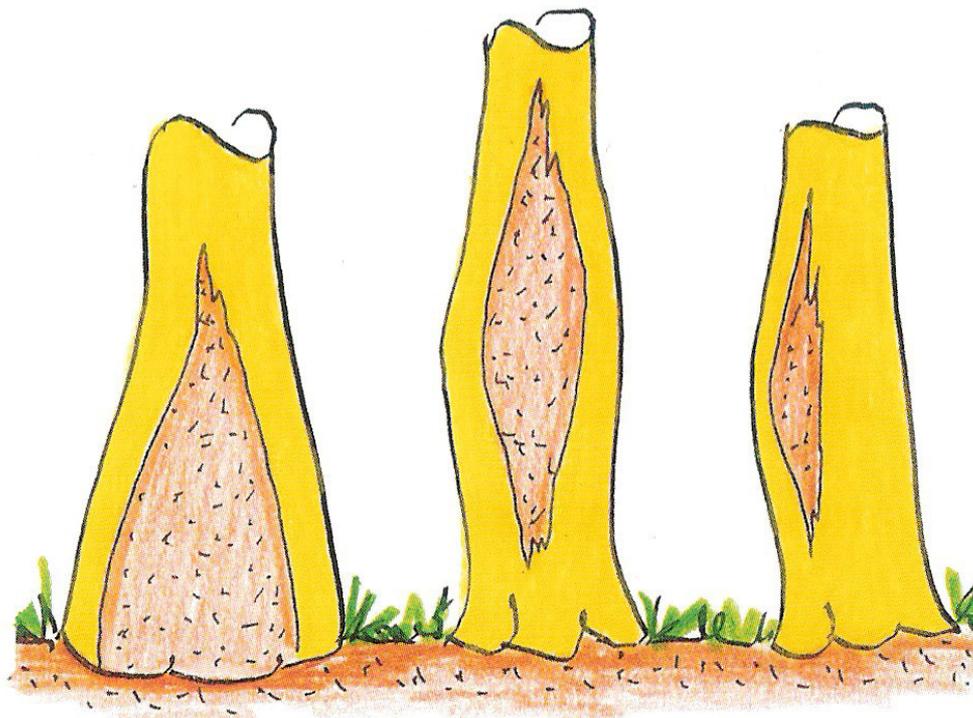
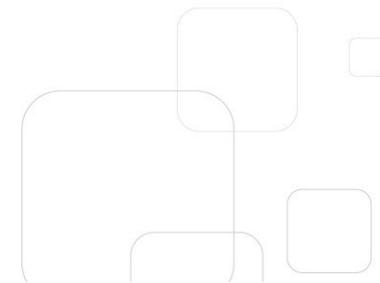
Axioma da Tensão Uniforme

Crescimento Adaptado x Biodeterioração



Axioma da Tensão Uniforme

Crescimento Adaptado x Biodeterioração

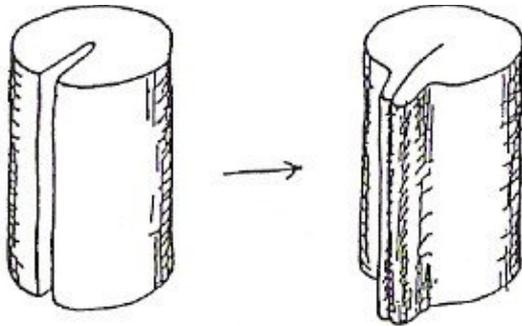


Fonte: Mattheck (2007)

Axioma da Tensão Uniforme

Crescimento Adaptado x Rachaduras/Casca inclusa

Rachaduras radiais



Fonte: Mattheck e Breloer (1997)

Princípio do mínimo braço de alavanca

Geotropismo negativo



Princípio do mínimo braço de alavanca

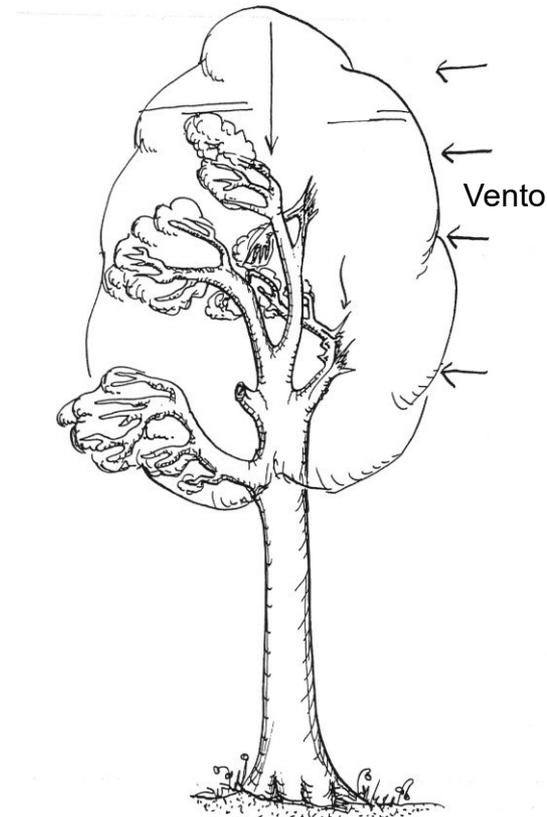
Estratégia de Flexibilidade

Fator de Segurança (FS)

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

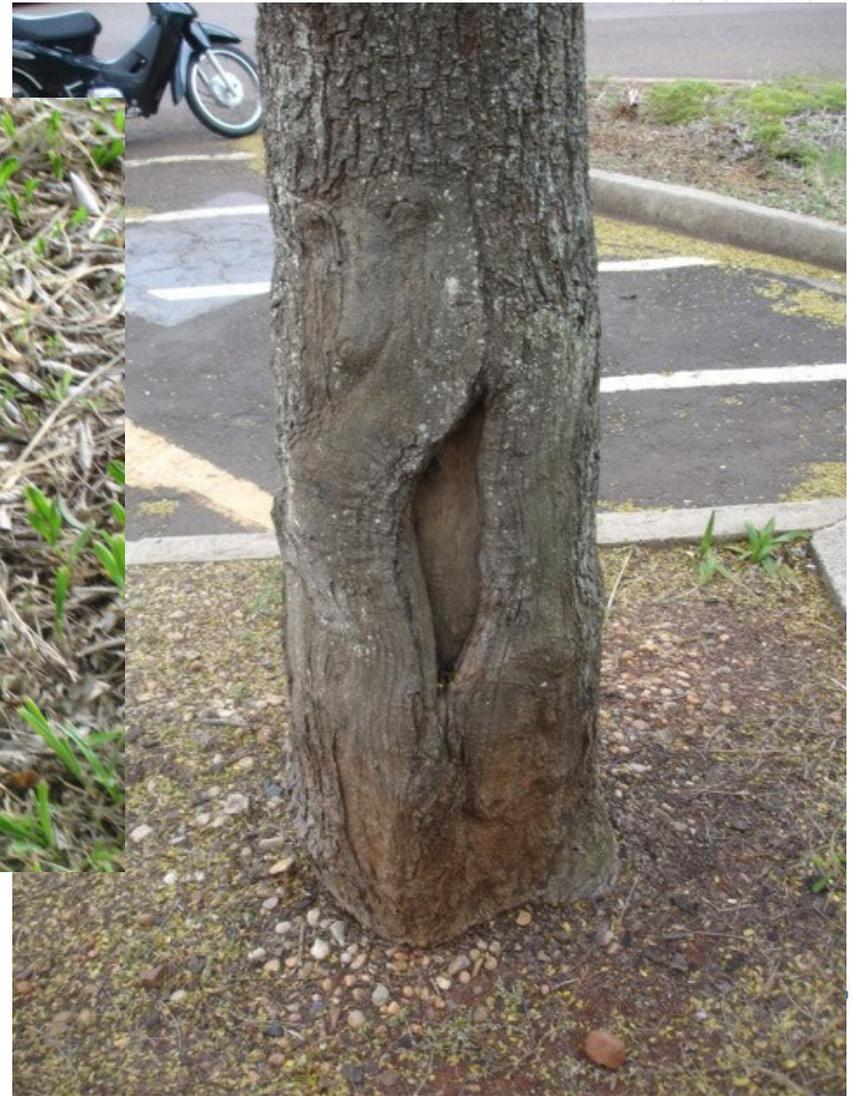
$$FS_{\text{TRONCO}} \geq 4,5$$

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



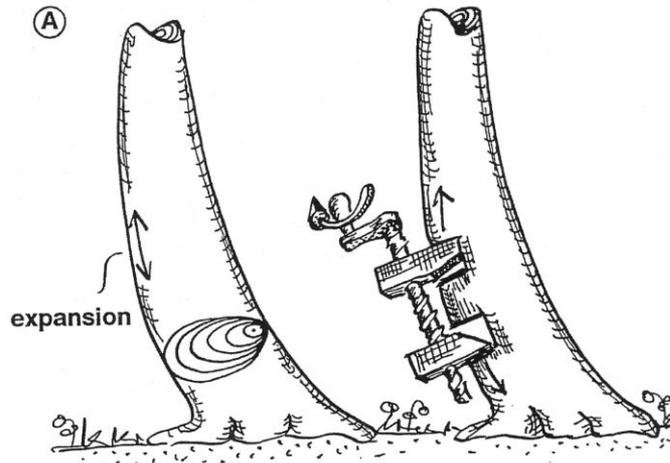
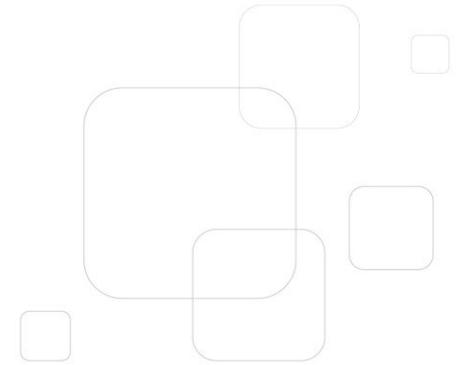
Paralelismo das fibras e distribuição de tensões

Cicatrização – forma de agulha

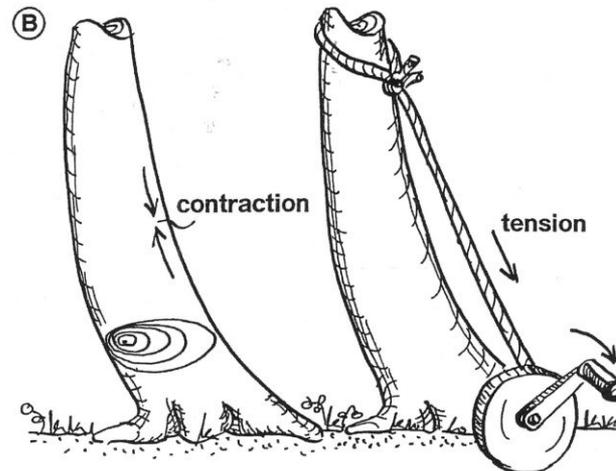


Tensões de Crescimento

Lenho de Reação



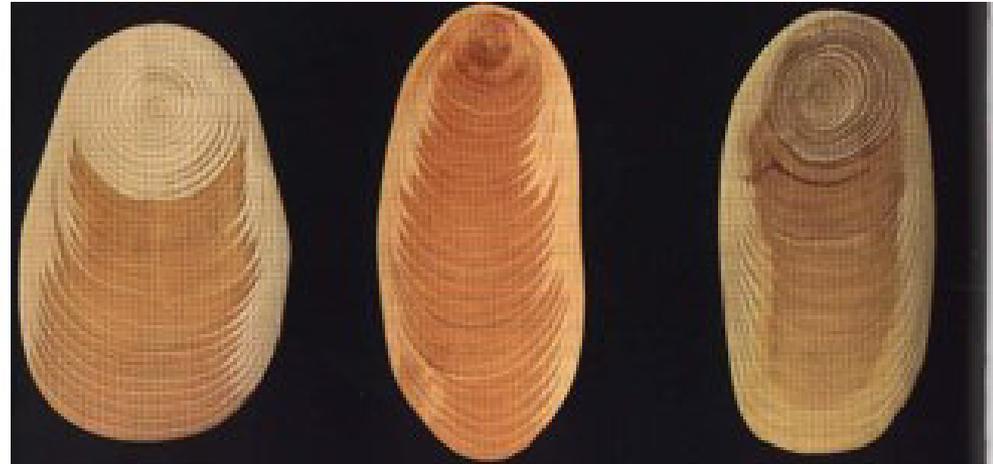
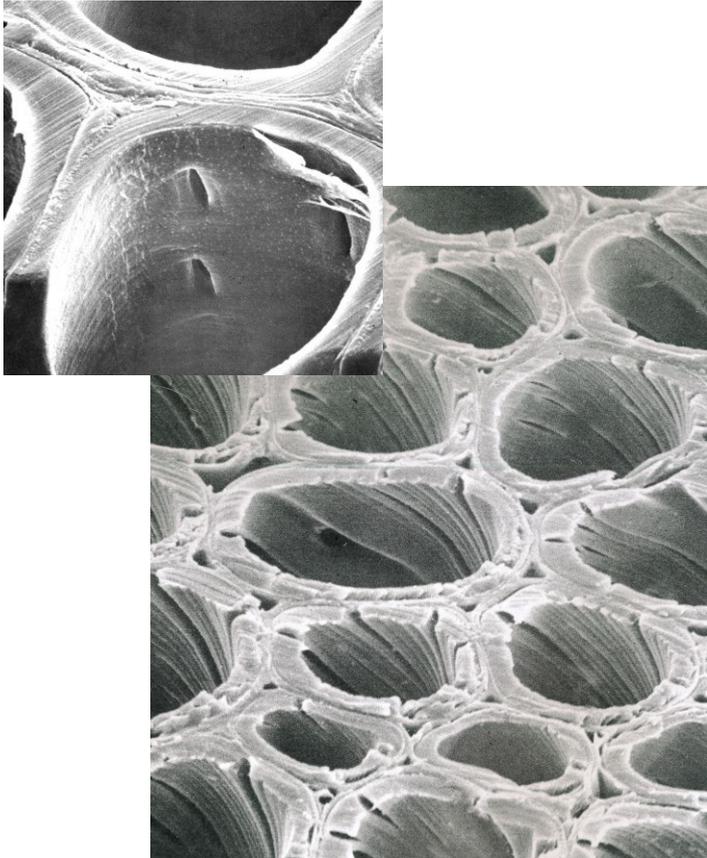
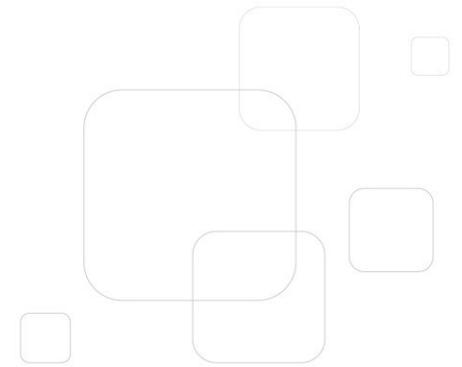
coníferas



folhosas

Tensões de Crescimento

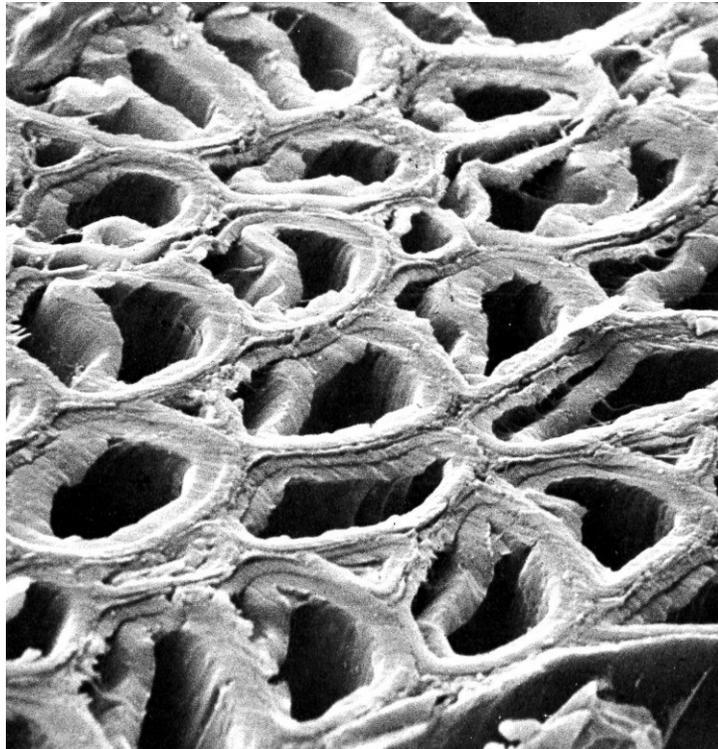
Lenho de reação - Coníferas



Traqueídes com paredes espessas e ricas em lignina

Tensões de Crescimento

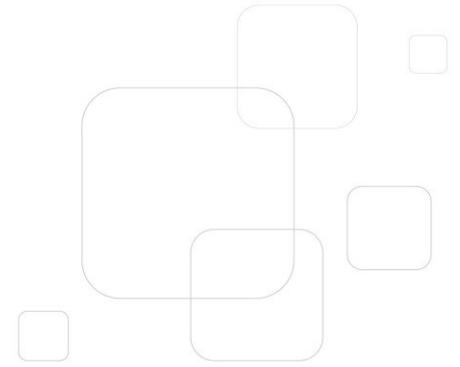
Lenho de Tração - Folhosas



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

Tensões de Crescimento

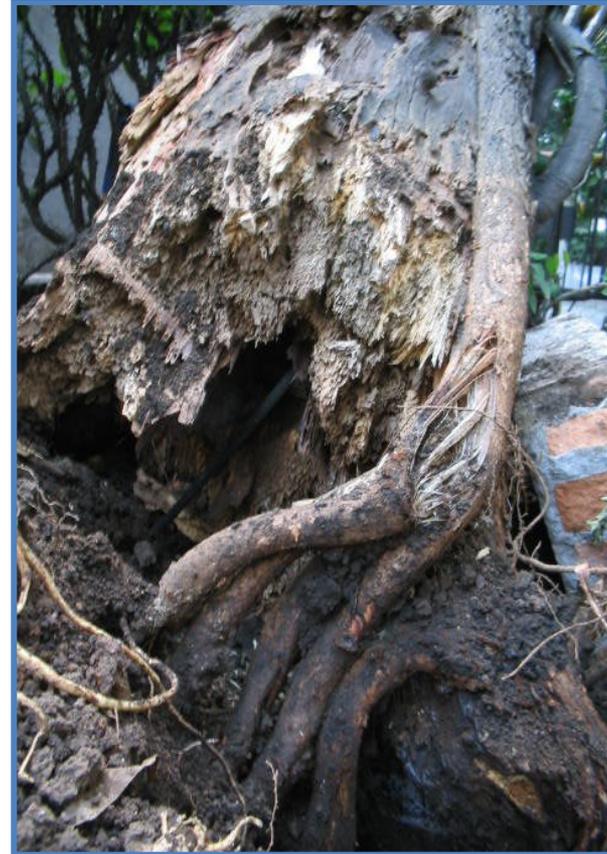
Lenho de Tração - Folhosas



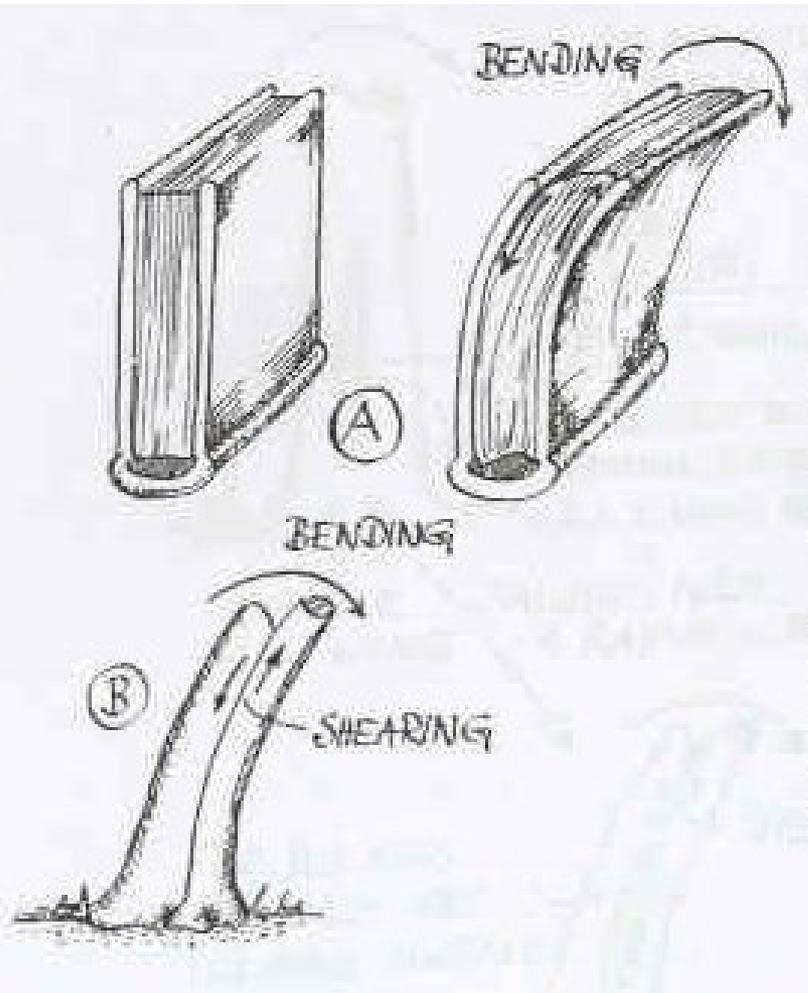


Manifestações de Fraturas em Árvores (Tronco)

Ruptura por flexão



Ruptura por Cisalhamento



Fonte: Mattheck e Breloer (1997)

Ruptura por cisalhamento



DAP ~ 0,70 m

~ 54% deterioração interna

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



Cisalhamento / falha

Ruptura por Tensão Transversais



figueira

Sistema Radicular

Deslizamento da Fundação (Torrão)



tipuana

ANÁLISE DE RISCO DE QUEDA DE ÁRVORES



Avaliação de Risco

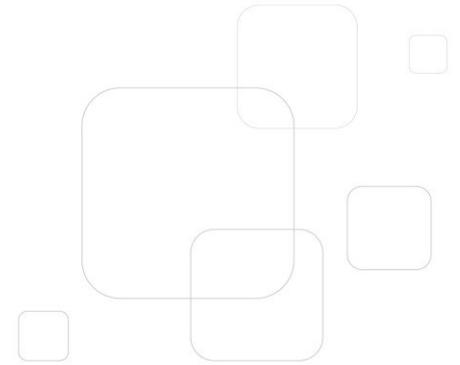
Tipos de falhas



Pivotamento do sistema radicular



Árvores fragilizadas por biodeterioração



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

Nível de inspeção

Nível 1 – Análise Visual de árvore ou grupamento

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

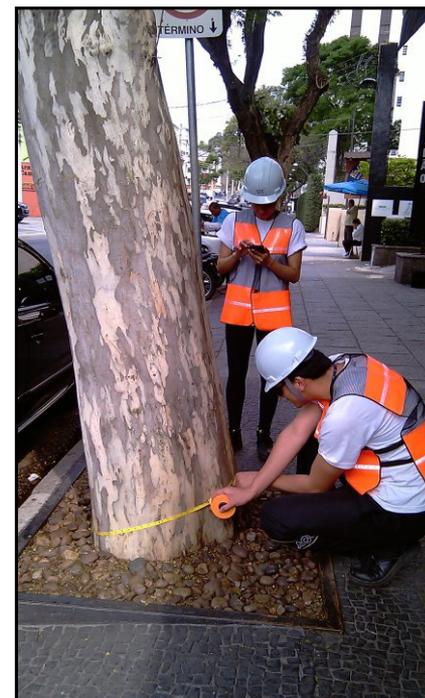


Avaliação de Risco

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...

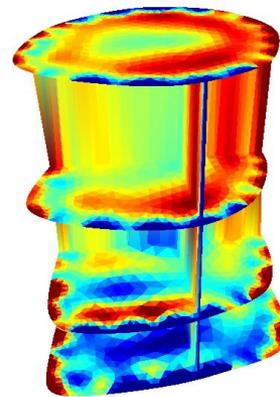


Avaliação de Risco

Nível de inspeção

Nível 3

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

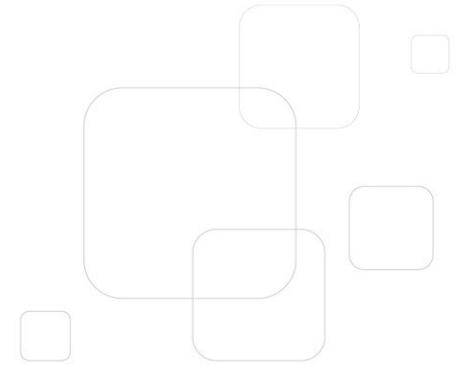


Análise Visual Externa

- **segurança de pessoas e danos à propriedade**
- problemas no sistema radicular
- forquilhas
- inclinação de tronco
- Rachadura
- arquitetura desfavorável (poda inadequada)
- **deterioração interna (fungos apodrecedores e insetos)**



Sistema Radicular



Sistema Radicular

Poda de raiz



Sistema Radicular



Rachaduras



Forquilhas

Casca inclusa



Com apodrecimento

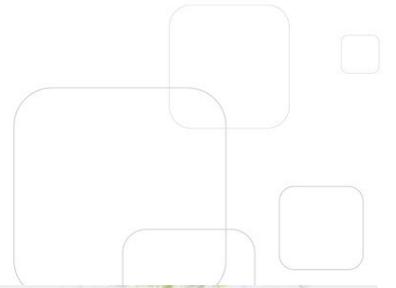


Inclinação do Tronco

- 40 graus
- apodrecimento colo



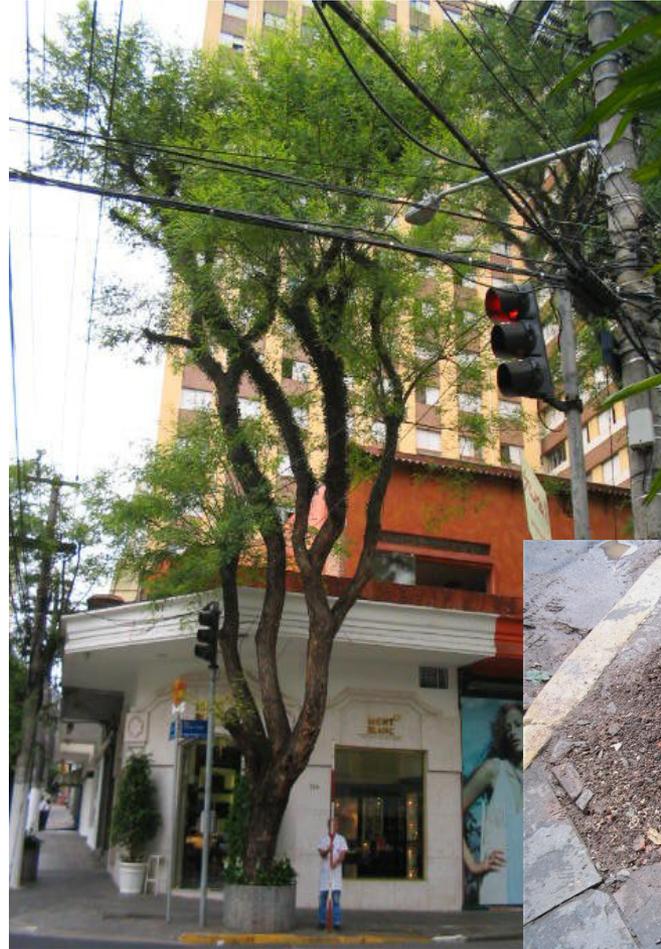
Poda Inadequada



Outras Situações

- “Dendrocirurgia”

Colo soterrado

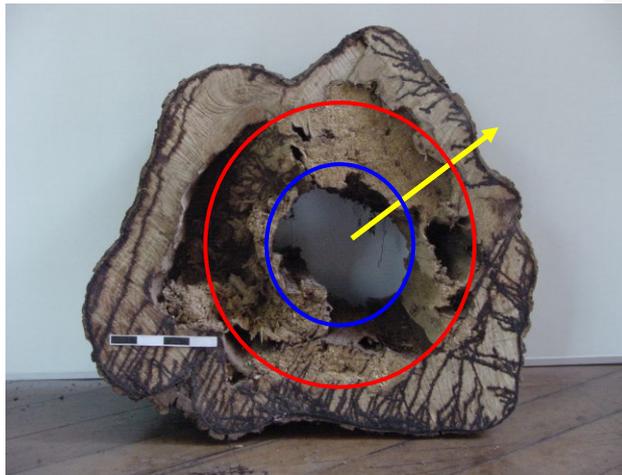


Intensidade da Biodeterioração

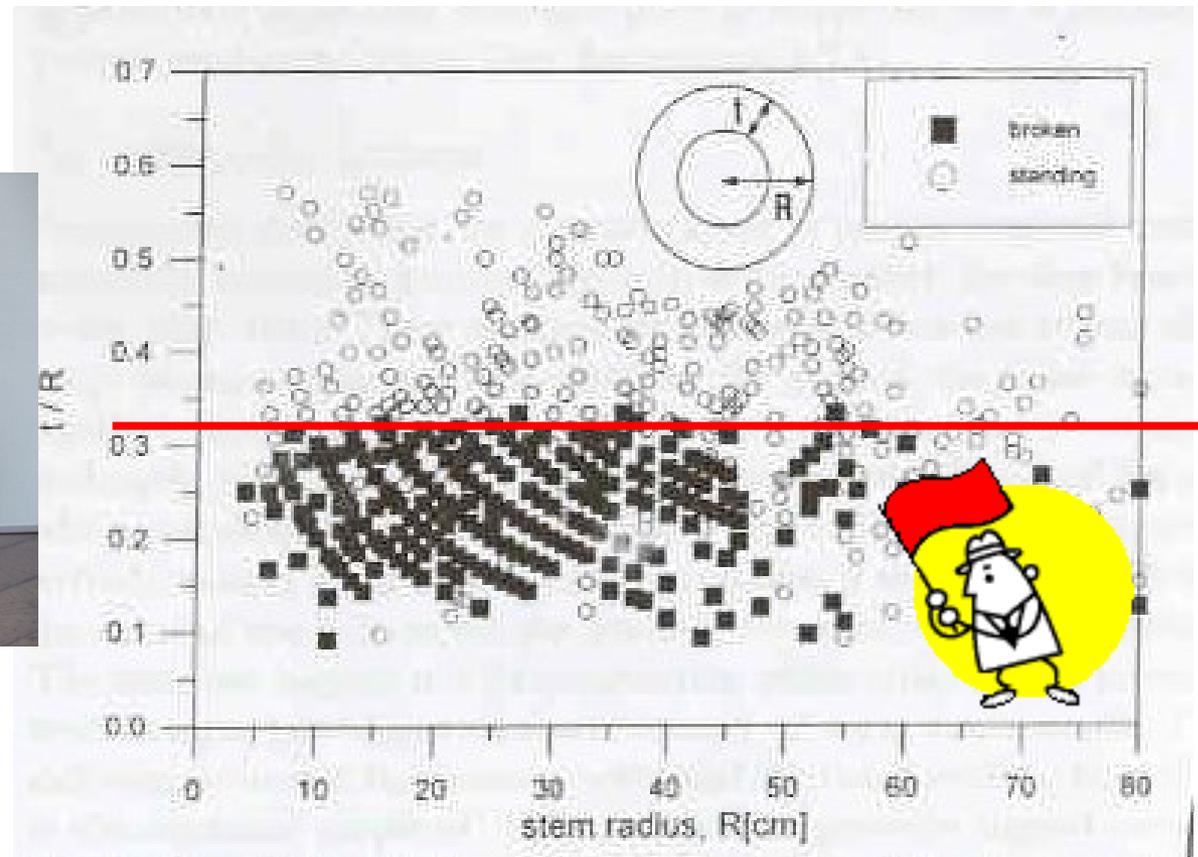
Análise estrutural

Ruptura por Flexão

Relação raio do tronco e parede sadia remanescente



Regra do 1/3



Fonte: Mattheck e Breloer (1997)

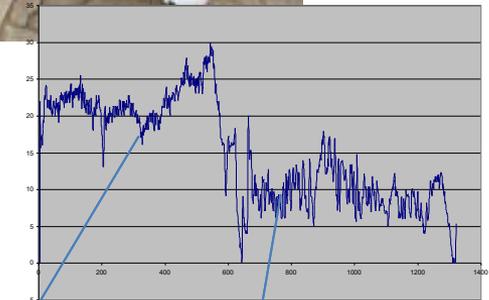
Não há como escapar...



Tecnologias Não Destrutivas

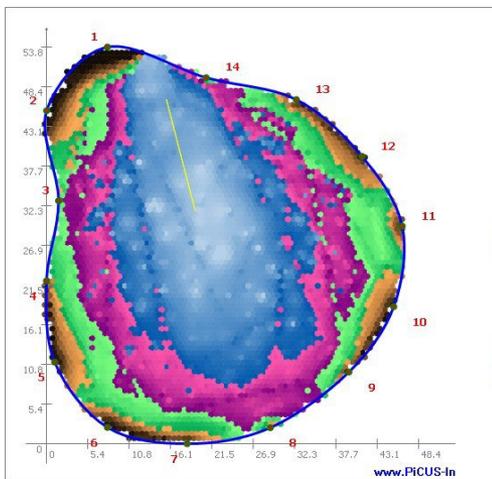


Penetrógrafo

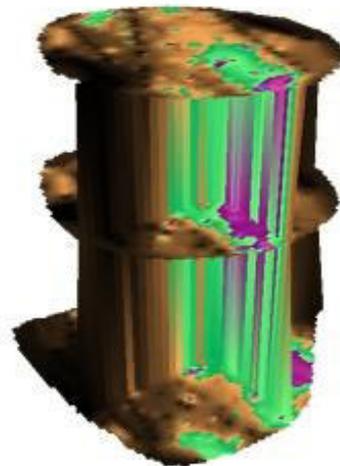


Lenh
o
sadio

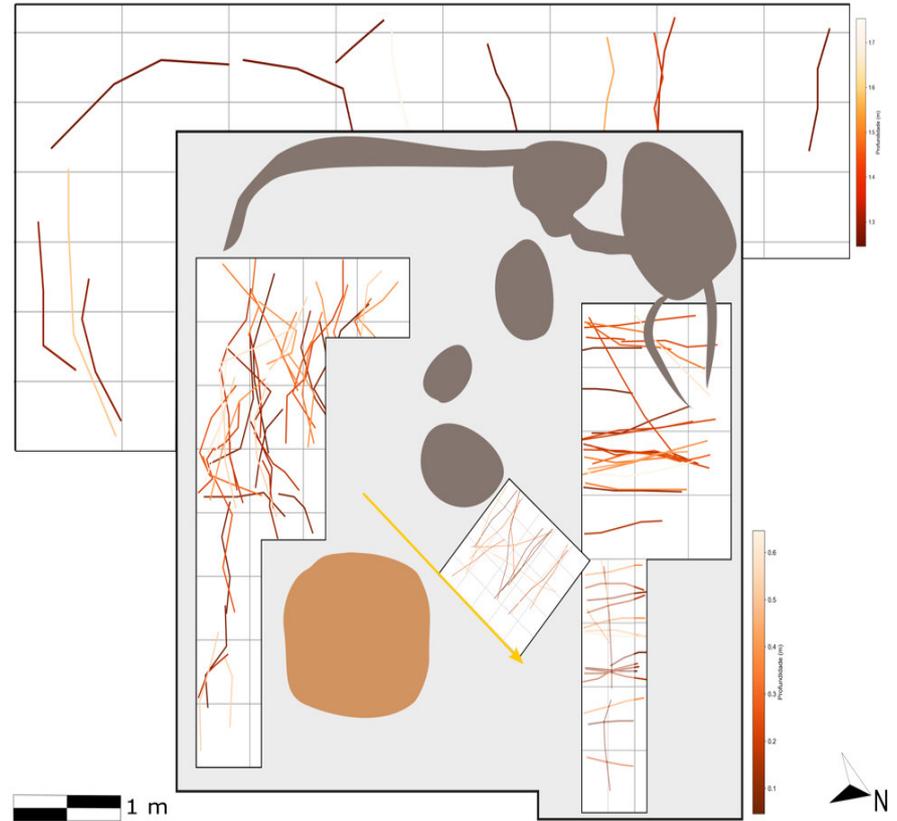
Lenho
deteriorado



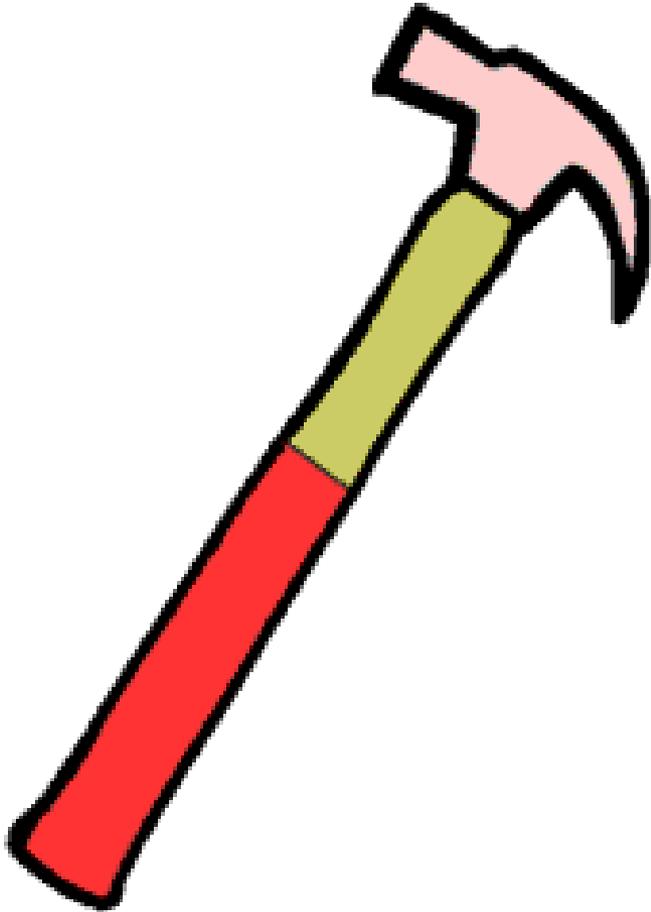
Tomografia



Radar



Tecnologia não destrutiva



Responsabilidades

- 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
- Inglaterra
 - Exige inspeções periódicas
 - responsabilidade do poder público e **proprietário!!**
- Brasil ?!!



Av. Pompéia, SP

Negócio

“Tomografia avaliará situação dos eucaliptos do Taquaral

Após queda, Prefeitura fará pente-fino em árvores da área de lazer”

(Correio Popular, 02/03/2015, Campinas, SP)



Solicitações ao IPT
(janeiro e fevereiro/2015):

18 prefeituras

68 particulares





Sérgio Brazolin
0 xx 11 3767-4533
brazolin@ipt.br