



Inventário Florestal

Variáveis do povoamento

Margarida Tomé
Instituto Superior de Agronomia
Universidade de Lisboa

■ Índice

- [Definição de povoamento e área de gestão](#)
- [Variáveis do povoamento e sua avaliação](#)
- [Parcelas de amostragem](#)
- [Delimitação de parcelas de amostragem no campo](#)
- [Alturas do povoamento](#)
- [Qualidade da estação](#)
- [Área basal e número de árvores por ha](#)
- [Lotação e densidade do povoamento](#)
- [Volume do povoamento](#)
- [Biomassa do povoamento](#)
- [Índice de área foliar](#)
- [Avaliação de variáveis do povoamento com outros tipos de parcelas](#)
- [Equações para as principais espécies florestais em Portugal](#)
- [Referências bibliográficas](#)

- **Definições de povoamento e área de gestão**

▪ Definição de povoamento/unidade de gestão

- ✓ *“a contiguous group of trees sufficiently uniform in age-class distribution, composition, and structure, and growing on a site of sufficiently uniform quality, to be a distinguishable unit”* (Helms 1998)
- ✓ Um grupo contíguo de árvores suficientemente uniforme em termos de distribuição das árvores por classes de idade, composição e estrutura, crescendo num local suficientemente homogéneo, e que possa ser reconhecido como uma unidade perfeitamente identificável
- ✓ Um povoamento misto pode ser uniforme (homogéneo), desde que a mistura seja semelhante em todo ele

▪ Definição de área de gestão

- ✓ É um conjunto de povoamentos, eventualmente com áreas não florestais, que está sujeito ao mesmo plano de gestão:
- ✓ Exemplos:
 - Uma Mata Nacional (e.g. Mata Nacional de Leiria)
 - Uma ZIF (Zona de Intervenção Florestal)
 - Uma herdade

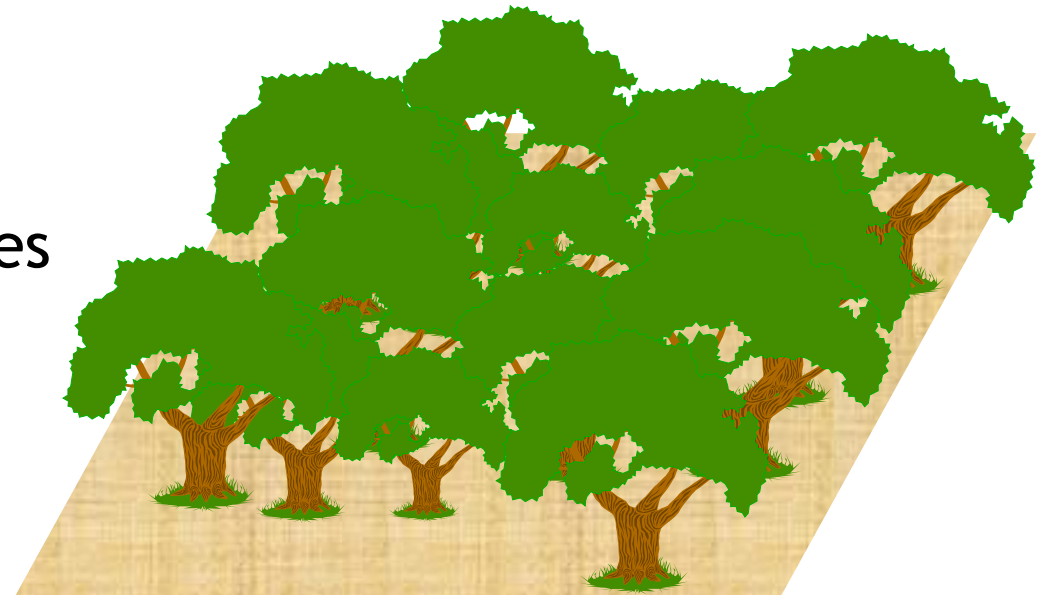
▪ Variáveis do povoamento e sua avaliação

O que são e como se avaliam

A necessidade de recorrer a amostragem

■ Variáveis dendrométricas do POVOAMENTO

- ✓ Variáveis avaliadas em parcelas de área conhecida expressas por ha
- ✓ São calculadas com base nas variáveis da árvore como:
 - Somas
 - Médias
 - Distribuições de frequência
 - Cálculos feitos com as variáveis anteriores



▪ Variáveis dendrométricas do POVOAMENTO - exemplos

- ✓ Altura dominante (h_{dom}) - média das árvores mais grossas (100 ha^{-1})
- ✓ Densidade (N) - número de árvores vivas por ha
- ✓ Área basal (G) - soma das áreas (g) de todas as árvores da parcela
- ✓ Volume total (V) - soma do volume (v) de todas as árvores da parcela
- ✓ Biomassa total (W) - soma da biomassa (w) de todas as árvores da parcel
- ✓ Distribuição de diâmetros - histograma dos diâmetros das árvores da parcela (classes de 5 cm)
- ✓ ...

▪ Variáveis dendrométricas do POVOAMENTO - determinação

- ✓ Medição (directa ou indirecta)
 - de todas as árvores da parcela (d , por vezes h)
 - de árvores amostra ou modelo (h)
- ✓ Estimação
 - nas árvores não modelo
- ✓ Estimação direta ao nível do povoamento

Ortofotomapa da herdade da Calha do Grou - limites

Herdade
Calha do Grou

Legenda

-  Sobro
-  Eucalipto
-  Pbravo



É possível medir as árvores todas?

Herdade
Calha do Grou

Legenda

-  Sobro
-  Eucalipto
-  Pbravo



É possível medir as árvores todas? Claro que não...

Herdade
Calha do Grou

Legenda

-  Sobro
-  Eucalipto
-  Pbravo



As medições são feitas por amostragem

Herdade
Calha do Grou

Legenda

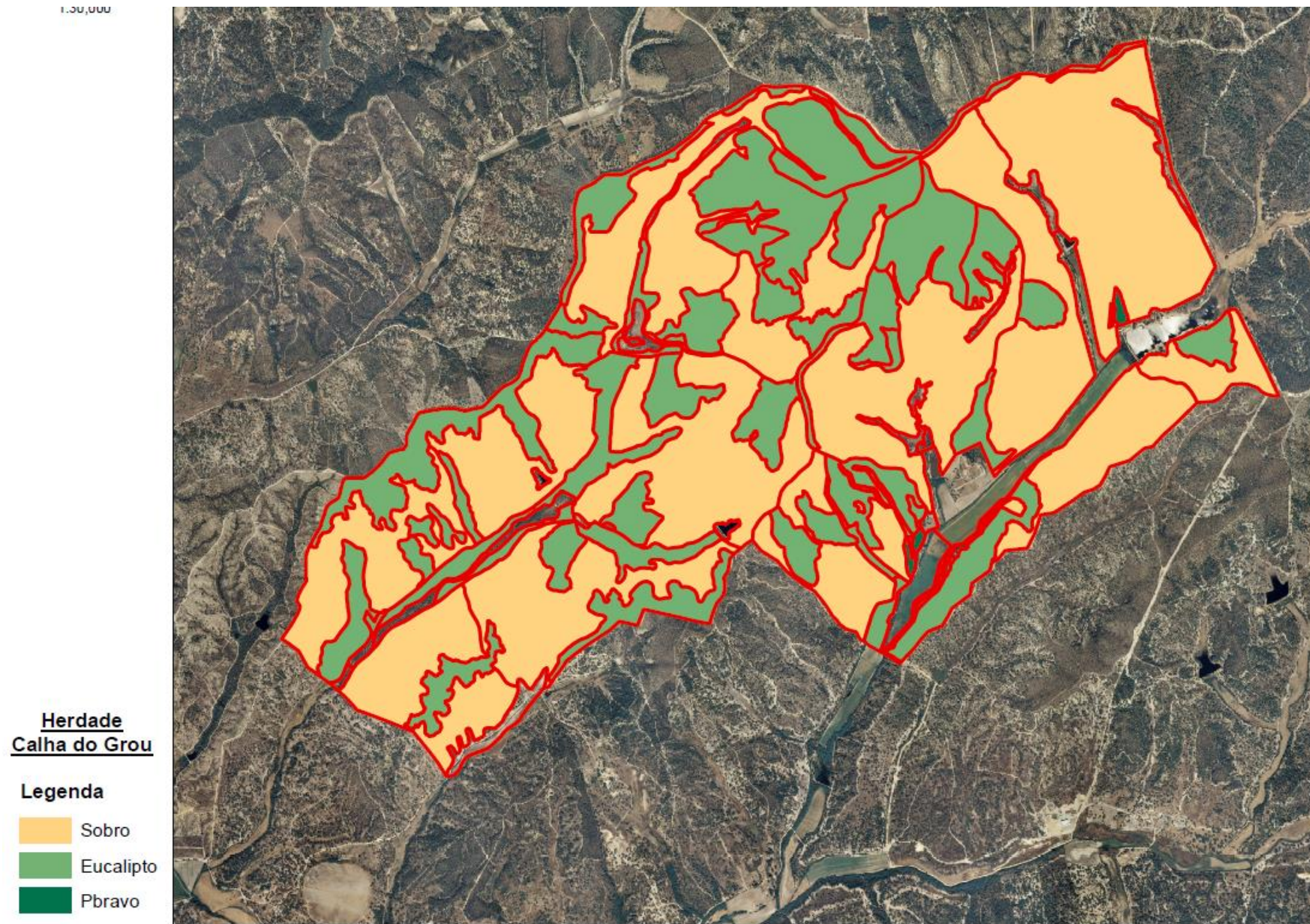
-  Sobro
-  Eucalipto
-  Pbravo



▪ Variáveis dendrométricas do POVOAMENTO - amostragem

- ✓ Para avaliar as variáveis do povoamento são medidas várias parcelas (**amostragem**), selecionadas de forma sistemática ou aleatória (ver o .ppt sobre amostragem)
- ✓ O **valor de cada variável** para o povoamento é avaliada com base na **média** do respetivo valor medido/avaliado em cada parcela
- ✓ A esta média está associado um intervalo de confiança e, portanto, um **erro de amostragem** (ver .ppt sobre amostragem)

Herdade da Calha do Grou - identificação de espécies



A unidade de amostragem é a parcela

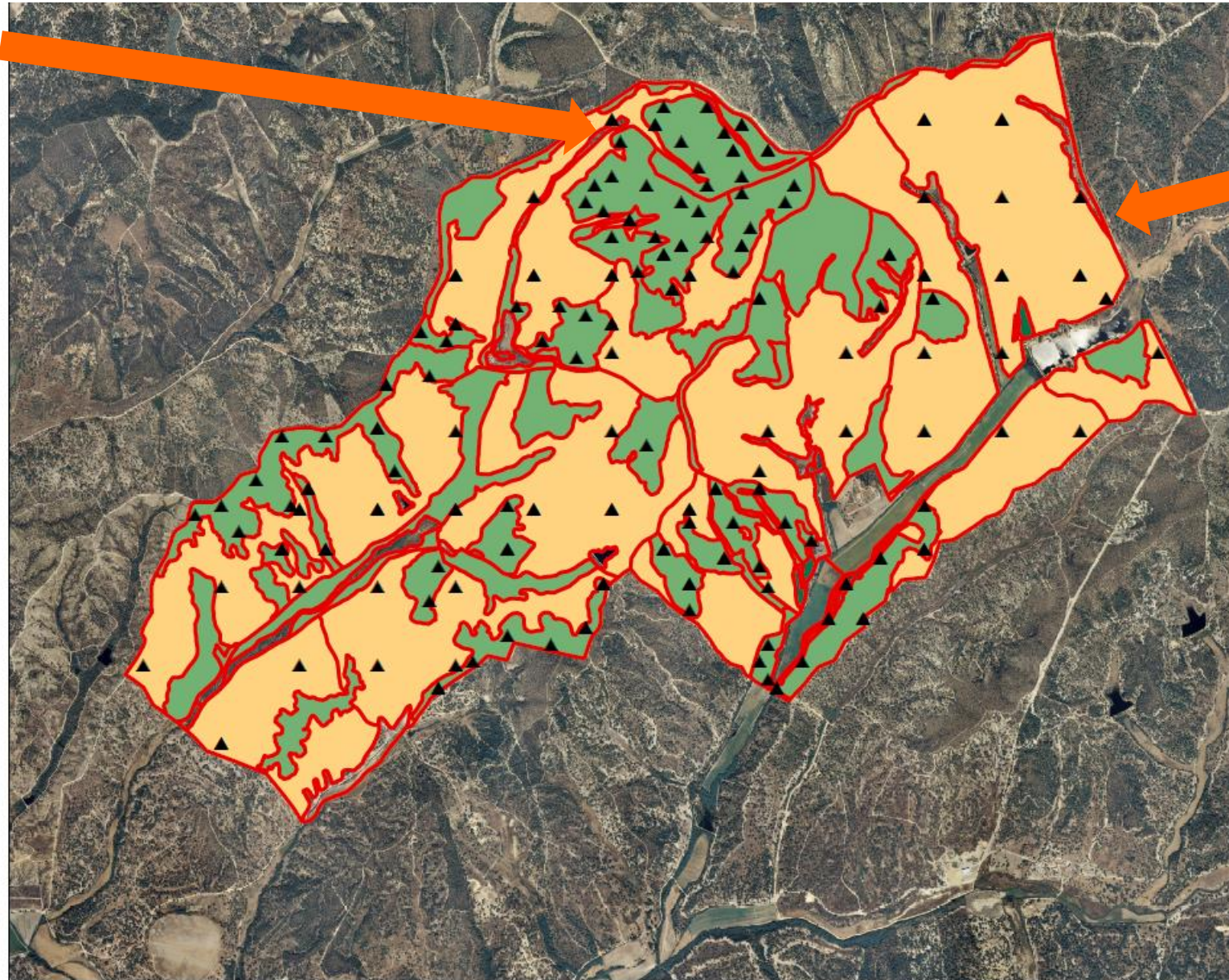
EUCALIPTO
amostragem
aleatória

SOBREIRO
amostragem
sistemática

Herdade
Calha do Grou

Legenda

- Sobro
- Eucalipto
- Pbravo

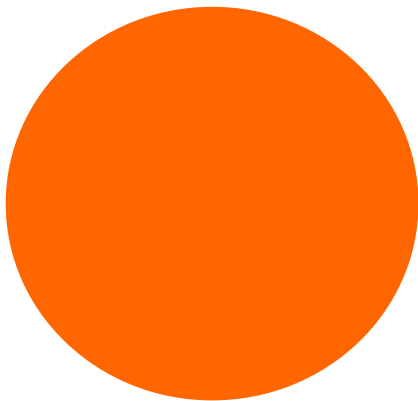


■ Parcelas de amostragem

Forma, tipo e dimensão de parcelas de amostragem

■ Formas das parcelas

- ✓ A melhor forma é aquela que minimiza a razão perímetro/area → o círculo
- ✓ Podem usar-se várias formas para além do círculo: quadrado, rectângulo, faixas



▪ Forma das parcelas

✓ Perímetros para diferentes figuras geométricas de igual área

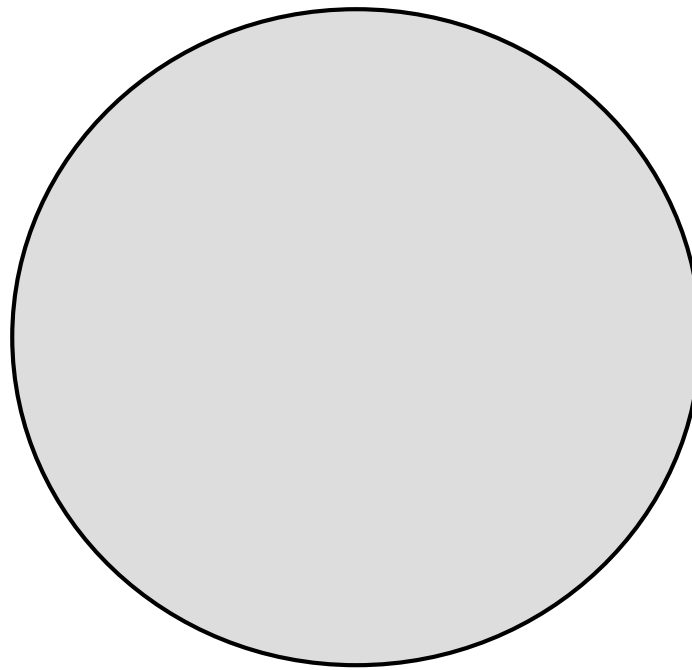
Forma das parcelas		Perímetro (m) para as seguintes áreas (m ²)				
		400	500	1000	1256.64	2827.43
Circular		70.90	79.27	112.10	125.66	188.50
Quadrada	l x l	80.00	89.44	126.49	141.80	212.69
Retangular	2l x l	84.85	94.87	134.16	150.40	225.60
	3l x l	92.38	103.28	146.06	163.73	245.60
	4l x l	100.00	111.80	158.11	177.25	265.87

■ Tipo de parcelas

- ✓ As parcelas de inventário - unidades de amostragem - podem ser de vários tipos
 - Parcelas de raio fixo
 - Parcelas com um número de árvores fixo
 - Parcelas concêntricas
 - Parcelas satélite
 - Pontos de amostragem de Bitterlich

▪ O que é uma parcela de raio fixo?

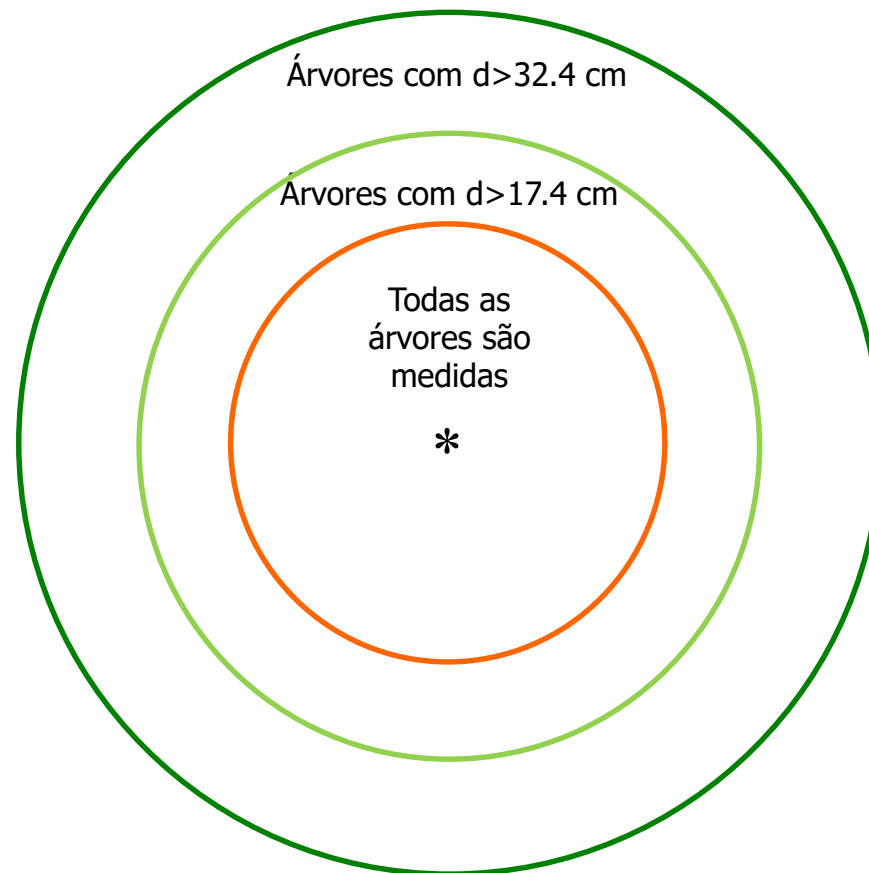
- ✓ É uma área dentro do povoamento - geralmente circular - utilizada para medir/avaliar variáveis da árvore e do povoamento



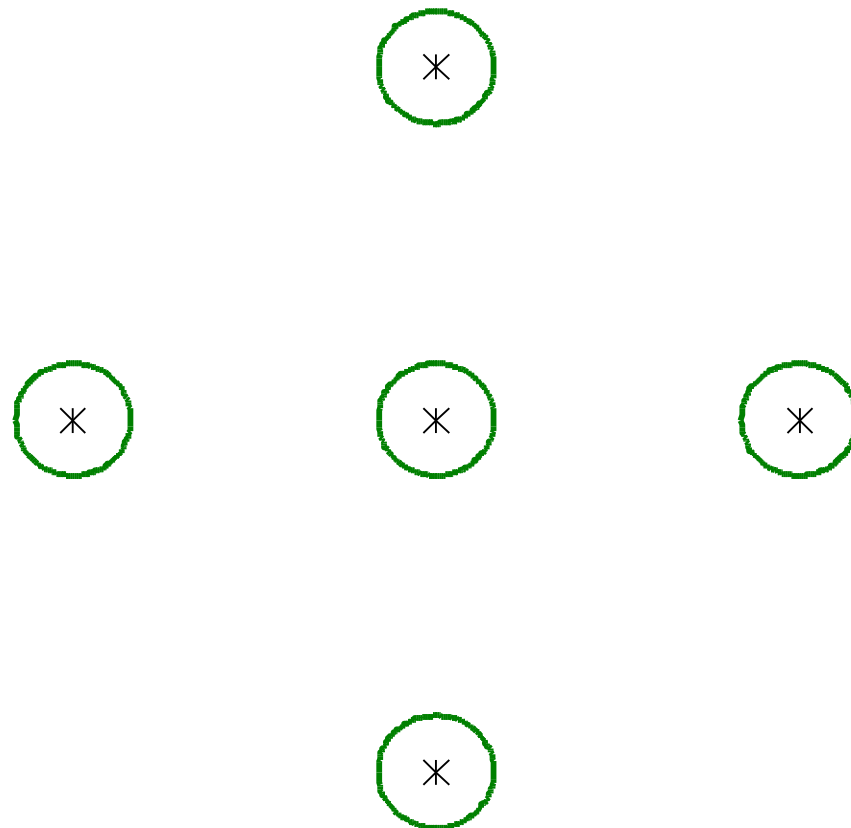
▪ O que é uma parcela de número de árvores fixo?

- ✓ É uma parcela circular, utilizada para medir/avaliar variáveis da árvore e do povoamento, cujo raio é definido de acordo com o número de árvores pretendido
- ✓ Medem-se as k árvores mais próximas do centro da parcela

■ Parcelas mais complexas - combinadas/concêntricas



■ Parcelas mais complexas - grupos de parcelas (clusters)



▪ O que é uma parcela de Bitterlich?

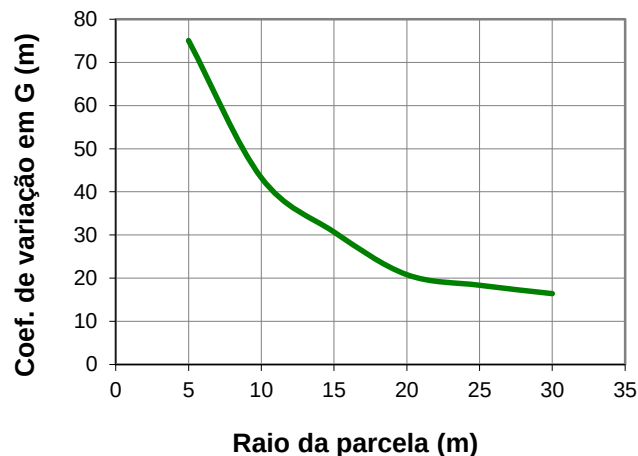
- ✓ É uma generalização do conceito de parcelas concêntricas em que se faz corresponder uma parcela a cada árvore, sendo o raio dessa parcela proporcional à dimensão da árvore
- ✓ Quanto maior a árvore, maior é o raio da parcela
- ✓ Dada a importância deste método, base do inventário florestal de alguns países da Europa Central e do Norte, é-lhe dedicada uma secção específica

▪ Quando se devem utilizar os vários tipos de parcelas?

Tipo de parcela	Quando se deve utilizar
Circular de raio fixo	Povoamentos homogéneos
Circular com número fixo de árvores	Povoamentos espacialmente heterogéneos (e.g. Sb e Az), onde o raio fixo levaria a parcelas sem árvores (ou com poucas) e outras com muitas árvores)
Circular concêntrica	Povoamentos irregulares (doutro a parcela ou não é representativa das árvores grandes ou tem demasiadas árvores pequenas)
Parcela satélite	Povoamentos espacialmente heterogéneos e/ou povoamentos em que a deslocação entre parcelas seja difícil (uma vez chagado a um local medem-se várias parcelas)
Parcela de Bitterlich	É a generalização do conceito de parcela concêntrica, cada árvore é medida numa parcela com área determinada pela sua dimensão

▪ Dimensão das parcelas

- ✓ O problema da seleção da dimensão das parcelas está relacionado com o facto de que o coeficiente de variação, e portanto o erro de amostragem, decrescer com o aumento da dimensão das parcelas
- ✓ Este decréscimo é geralmente pouco acentuado para parcelas de áreas pequenas e estabiliza a partir de uma determinada dimensão



Dimensão das parcelas

- Áreas mais comuns em parcelas de inventário e respectivos raios

Espécie	Área (m ²)	Raio (m)
Pinheiro bravo jovem, eucalipto	400 - 500	11.28 – 12.64
Pinheiro bravo adulto	1000	17.84
Pinheiro manso ou sobreiro jovens	1000	20
Pinheir manso ou sobreiro adultos	2000	30

■ Delimitação de parcelas no campo

Delimitação de parcelas circulares e quadradas

Árvores de bordadura e árvores limite

Parcelas na bordadura dos povoamentos

▪ Delimitação de parcelas no terreno

- ✓ No campo, a primeira operação a realizar é determinar os limites da parcela com todo o rigor possível, o que naturalmente é importantíssimo para que a determinação dos valores por ha seja correta
- ✓ Por exemplo, a identificação de uma árvore erradamente numa parcela de 500 m² corresponde a um erro de 20 árvores por ha
- ✓ Os métodos de demarcação vão depender, naturalmente, da forma da parcela

▪ Delimitação de parcelas no terreno - circulares

✓ Parcelas circulares – com o Vertex

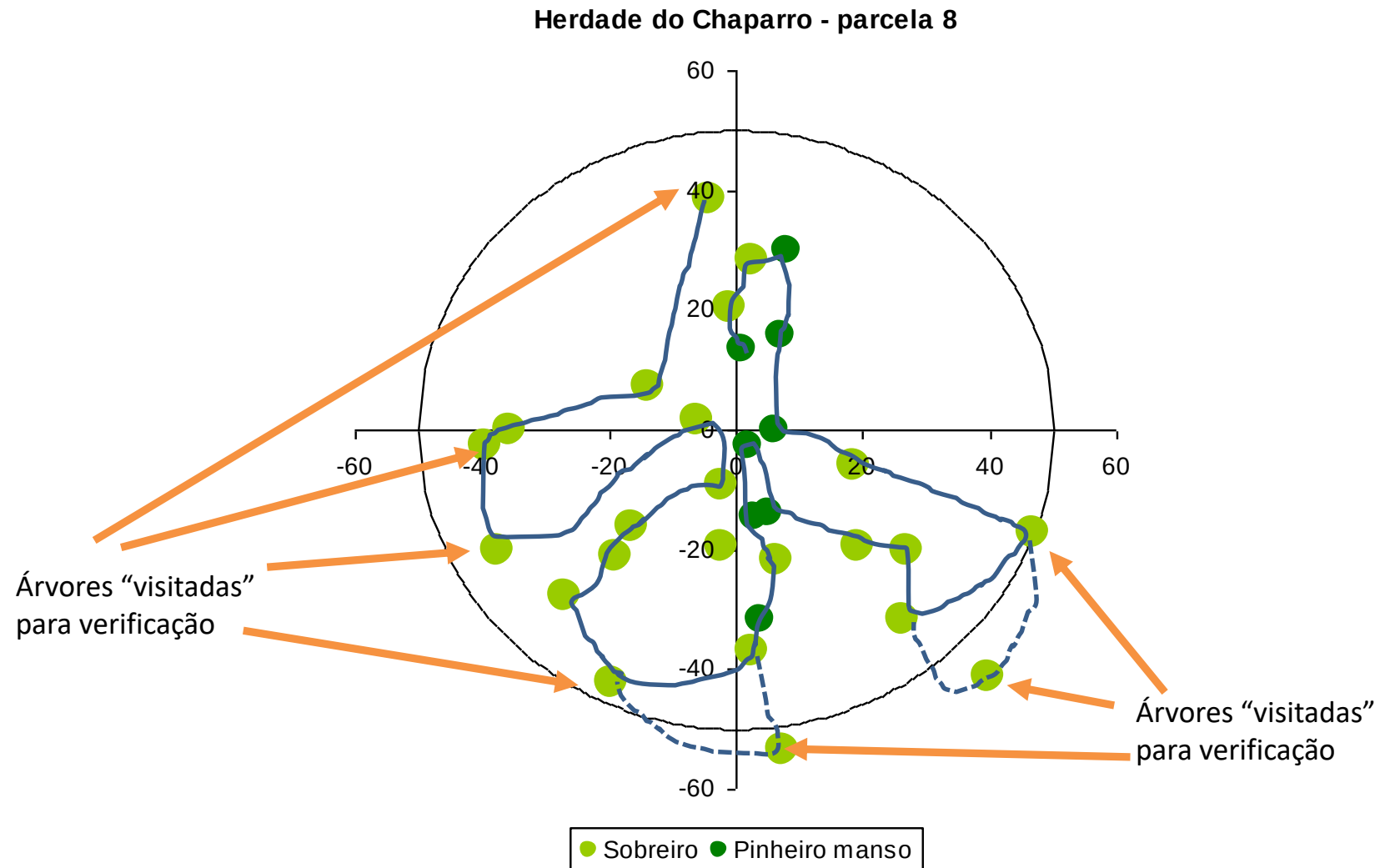
- Coloca-se uma mira do Vertex (transponder) no centro da parcela
- O operador coloca-se a uma distância do centro da parcela aproximadamente igual ao raio da parcela que se pretende delimitar
- Para cada árvore que esteja próxima do limite da parcela verifica-se, por medição da distância horizontal, se a árvore fica dentro ou fora da parcela
- As árvores limite de bordadura são marcadas do lado virado para o centro, de modo a que um operador no interior da parcela veja claramente quais as árvores que fazem parte da parcela

▪ Delimitação de parcelas no terreno - circulares

✓ Parcelas circulares – com o Vertex

- A delimitação da parcela pode ser feita em simultâneo com a medição das árvores, especialmente se a densidade do povoamento não for muito elevada
- Inicia-se a medição pelo N da parcela e vai-se caminhando em zig-zag desde o centro até à periferia da parcela verificando-se, quando perto do limite, se as árvores estão dentro ou fora da parcela

▪ Delimitação de parcelas no terreno - circulares



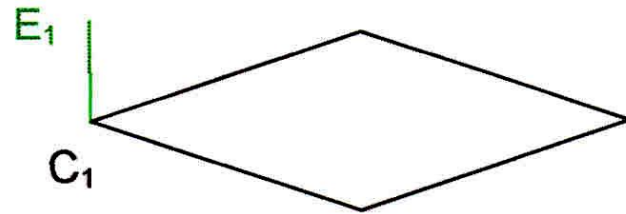
▪ Delimitação de parcelas no terreno - circulares

- ✓ Parcelas circulares – com o Blum-Leiss (a cair em desuso)
 - Coloca-se uma mira do Blum-Leiss no centro da parcela
 - O operador coloca-se a uma distância do centro da parcela aproximadamente igual ao raio da parcela que se pretende delimitar
 - Para cada árvore que esteja próxima do limite da parcela verifica-se, por medição da distância não horizontal com o Blum-Leiss, se a árvore fica numa faixa de bordadura (geralmente 3 m)
 - **Mede-se o declive** na direção que une o centro com cada árvore de bordadura e determina-se a distância não horizontal correspondente ao raio. Verifica-se, com fita métrica, se a árvore está dentro ou fora da parcela
 - As árvores de bordadura são marcadas na direção do centro

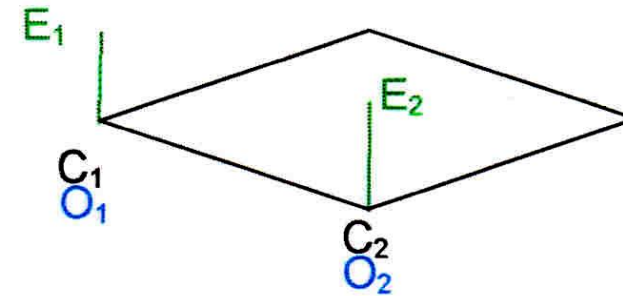
▪ Delimitação de parcelas no terreno - quadradas

✓ Parcelas quadradas e rectangulares

1.



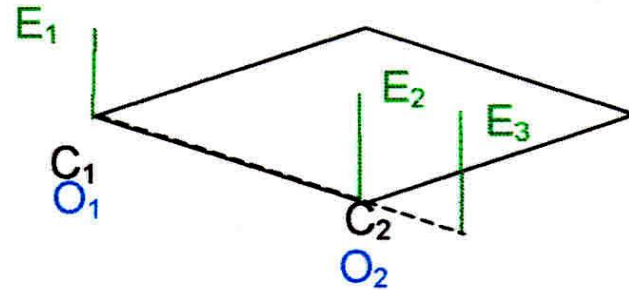
2.



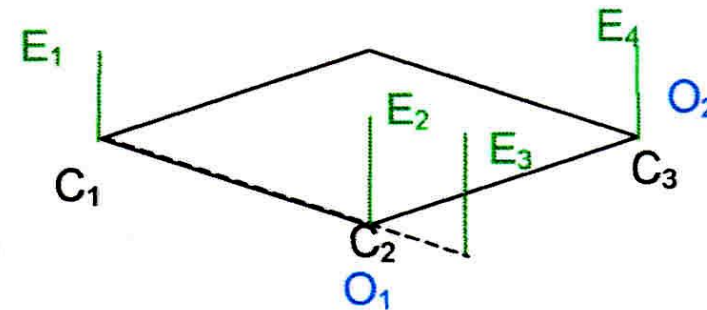
▪ Delimitação de parcelas no terreno - quadradas

✓ Parcelas quadradas e rectangulares

3.



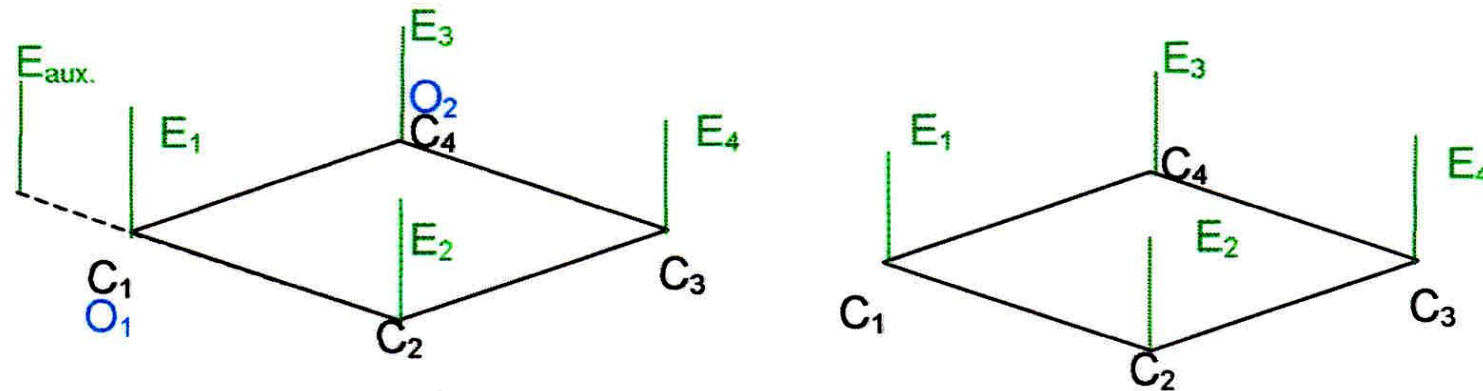
4.



▪ Delimitação de parcelas no terreno - quadradas

✓ Parcelas quadradas e rectangulares

5.



▪ Delimitação de parcelas no terreno

✓ Árvores de bordadura e árvores limite

- As árvores de bordadura são árvores que se situam bastante próximo da linha limite da parcela. Há que ter cuidados especiais com as árvores de bordadura, de modo a verificar, do modo mais correcto possível, se elas estão ou não dentro da parcela
- As árvores limite são árvores que se situam exactamente na linha limite da parcela. Em relação a estas árvores há que fixar uma regra (no protocolo de campo) para decidir se devem ser incluídas ou não na parcela. Por exemplo:
 - A árvore faz parte da parcela se o eixo da árvore a 1.30 m está dentro da parcela
 - A árvore faz parte da parcela se o eixo da árvore na base está dentro da parcela

▪ Parcelas na bordadura do povoamento

- ✓ A bordadura do povoamento é uma faixa limite do povoamento, de largura variável, na qual as condições de crescimento (iluminação, ventos...) são um pouco diferentes das verificadas no interior do povoamento
- ✓ Como consequência, a estrutura e existências na bordadura do povoamento e no seu interior são também diferentes.
- ✓ No inventário florestal, a bordadura do povoamento deve ter uma representação adequada na amostra, ou seja, a proporção de parcelas medidas na bordadura deve ser semelhante à proporção que a zona de bordadura representa no povoamento

■ Parcelas na bordadura do povoamento

- ✓ Pode pensar-se que a bordadura do povoamento é pouco importante em termos de área, uma vez que é apenas uma estreita faixa à volta do povoamento
- ✓ Pelo contrário, e precisamente devido ao facto da bordadura “rodear” todo o povoamento, ela representa uma área bastante elevada em termos percentuais
- ✓ A título de exemplo, suponha-se um povoamento circular com 300 metros de raio. Se se considerar uma bordadura com 10 metros de largura, tem-se uma % de área de bordadura de 6.5%
- ✓ Nos povoamentos reais, de contornos irregulares, a proporção da área de bordadura é bastante superior

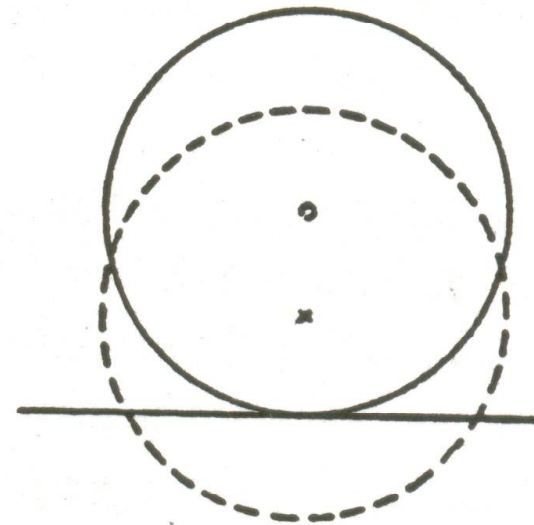
▪ Parcelas na bordadura do povoamento

- ✓ Um problema frequente é o facto de grande número das parcelas da bordadura serem cortadas pela linha limite do povoamento
- ✓ Têm sido desenvolvidos diversos métodos para, nestes casos, determinar o valor das variáveis relacionadas com a área
- ✓ Qualquer dos métodos considera que se devem eliminar as parcelas cujos centros se localizem fora dos limites do povoamento
- ✓ Nos outros casos, pode optar-se por um dos seguintes processos

■ Parcelas na bordadura do povoamento

✓ Translação da parcela:

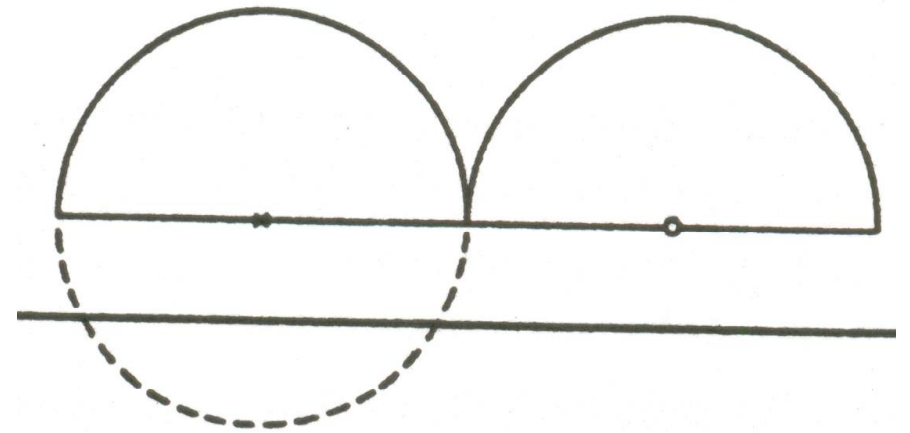
- o centro da parcela é deslocado para o interior do povoamento até que a parcela seja tangente ao limite do povoamento



■ Parcelas na bordadura do povoamento

✓ Medição em semicírculo

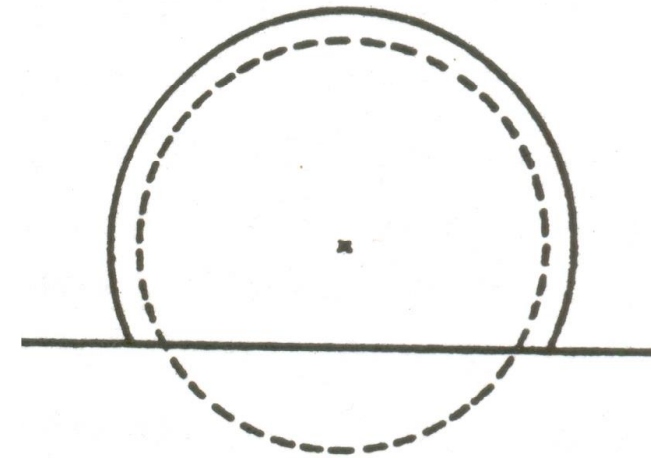
- as medições incidem sobre dois semicírculos tangen-tes; alternatively as medições podem incidir apenas no semicírculo correspondente à parcela e as estimativas relacionadas com a área multiplicadas por 2



■ Parcelas na bordadura do povoamento

✓ Método da expansão do raio

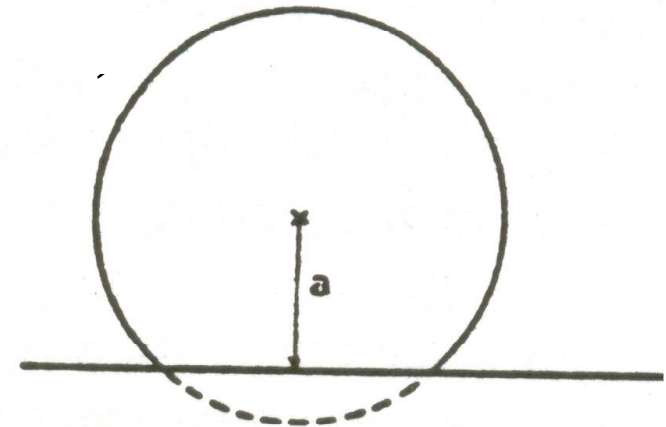
- aumenta-se o raio em função da distância do centro da parcela ao limite do povoamento de modo que a área amostrada seja igual à do círculo inicial



■ Parcelas na bordadura do povoamento

✓ Método da expansão das avaliações

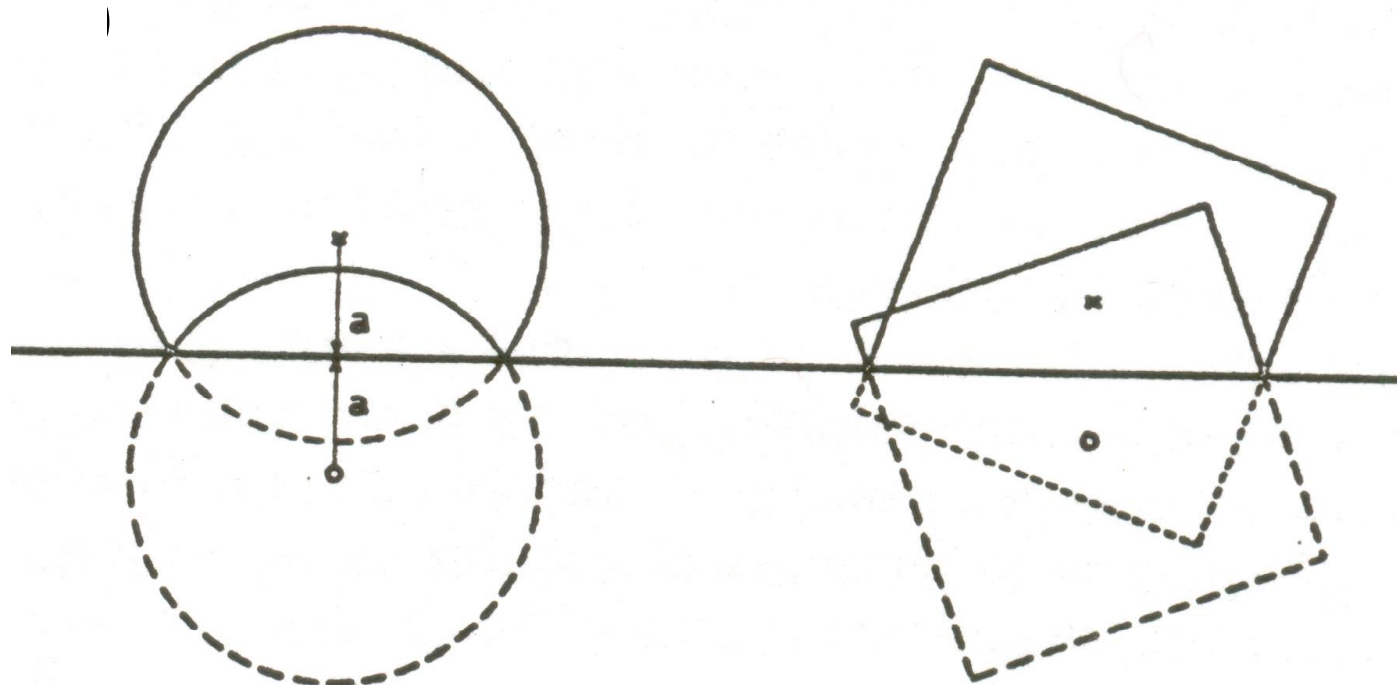
- as medições incidem na parte da parcela que se encontra dentro do povoamento e são posteriormente ponderadas de acordo com a percentagem da área da parcela que foi medida
- Este método implica a medição do parte do raio perpendicular à linha limite do povoamento (a) que se encontra no povoamento



■ Parcelas na bordadura do povoamento

✓ Método da reflexão

- a parte que se encontra fora do povoamento é refletida para o seu interior e medida novamente



▪ Nota sobre os slides seguintes

- ✓ Nos slides seguintes explicam-se as variáveis do povoamento mais relevantes para a caracterização dos povoamentos
- ✓ Esta explicação é feita com base em parcelas de área fixa (raio fixo, para parcelas circulares)
- ✓ Nas secções finais faz-se a descrição das diferenças a ter em conta quando as parcelas forem de outro tipo

▪ Alturas dos povoamentos

Altura dominante

Relações hipsométricas locais e regionais

▪Alturas dos povoamentos - altura média

✓ Altura média

$$\overline{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$$

✓ Altura de Lorey

$$\overline{h} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i h_i}{\sum_{i=1}^n g_i}$$

▪ Alturas dos povoamentos - altura dominante

- ✓ A altura dominante é a altura média das **árvores maiores** do povoamento
- ✓ Há dois métodos para a avaliação da altura dominante classificados como métodos matemáticos e métodos biológicos:
 - Nos **métodos matemáticos** o número de árvores que são consideradas para o cálculo da altura dominante é determinado com base numa regra quantitativa e objectiva
 - Nos **métodos biológicos** as árvores são seleccionadas para o cálculo da altura dominante em função da sua classificação social
- ✓ Em **Portugal** utiliza-se a altura média das **100 árvores por ha de maior diâmetro** à altura do peito

▪ Altura dos povoamentos - relações hipsométricas

- ✓ Normalmente não é possível medir todas as árvores dum povoamento, utilizando-se para tal relações hipsométricas, equações que permitem estimar as alturas das árvores a partir do diâmetro e de outras variáveis do povoamento:

- relações hipsométricas locais

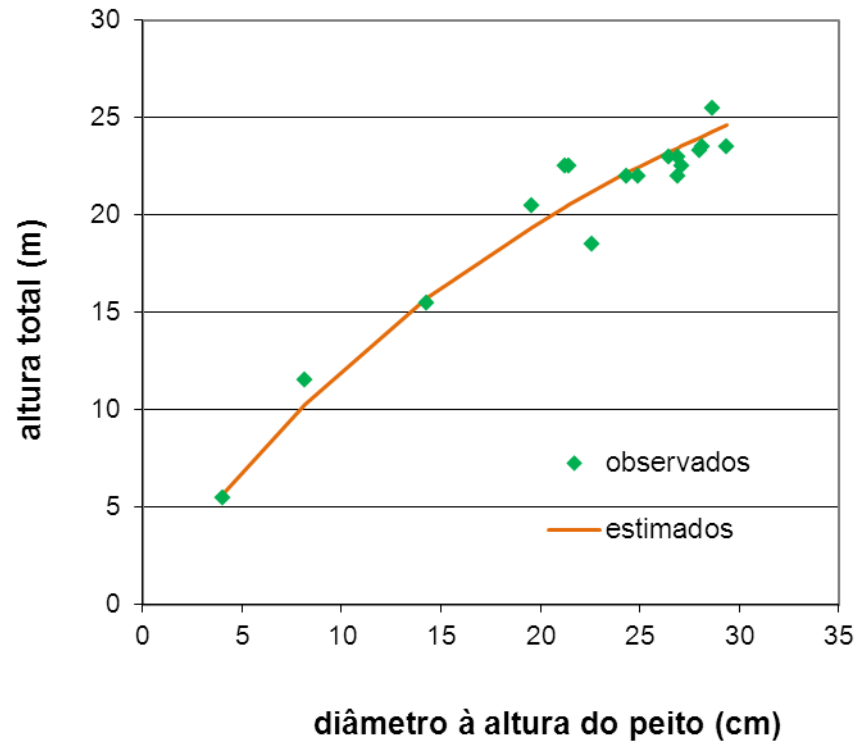
geralmente função apenas do diâmetro a 1.30 m, ajustadas para aplicação no povoamento onde se procedeu à colheita dos dados, eventualmente em povoamentos semelhantes

- relações hipsométricas gerais ou regionais

função do diâmetro a 1.30 m e de variáveis do povoamento tais como altura dominante, idade e densidade, desenvolvidas para aplicação generalizada a uma espécie numa determinada região

■ Alturas dos povoamentos - relações hipsométricas

✓ Relações hipsométricas locais



■ Alturas dos povoamentos - relações hipsométricas

✓ Relações hipsométricas gerais

d: diâmetro (cm)

dg: d quadrático médio (cm)

ddom: d dominante (cm)

H: altura total (m)

Hdom: altura dominante (m)

G - área basal (m² ha⁻¹)

N: número de árvores (ha⁻¹)

(coeficientes no slide seguinte)

$$(1) h = h_{dom} \left(1 + \left(\beta_0 + \beta_1 \frac{N}{1000} \right) e^{\beta_2 h_{dom}} \right) \left(1 - e^{\beta_3 \frac{d}{h_{dom}}} \right)$$

$$(2) h = h_{dom} e^{\left(\left(\beta_0 + \beta_1 h_{dom} + \beta_2 \frac{N}{1000} + \beta_3 dg \right) \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d_{dom}} \right) \right)}$$

$$(3) \ln h = \beta_0 + \beta_1 \ln d + \beta_2 \ln h_{dom} + \beta_3 \ln dg$$

$$(4) h = \frac{h_{dom}}{1 + \beta_0 h_{dom} \left(\frac{1}{d} - \frac{1}{d_{dom}} \right)}$$

$$(5) h = h_{dom} \left(1 + \beta_0 h_{dom} e^{\left(\beta_1 h_{dom} \right)} \right) \left(1 - e^{\left(\beta_2 d / d_{dom} \right)} \right)$$

$$(6) h = h_{dom} e^{\left(\left(\beta_0 + \beta_1 \frac{du}{d_{dom}} + \beta_3 h_{dom} \right) \left(\frac{1}{du} - \frac{1}{d_{dom}} \right) \right)}$$

Alturas dos povoamentos - relações hipsométricas

✓ Relações hipsométricas gerais

Espécie	Modelo	β_0	β_1	β_2	β_3	Fonte
Pinheiro bravo	1	0.0795	0.0211	0.0254	-1.1658	Tomé et al, 2007c
Eucalipto - 1ªrot	2	-1,770086	-0,233239	0,548798	-0,055274	Tomé et al, 2007a
Eucalipto - talhadia	2	-1,729112				
Eucalipto – sem rotação	2	-1,778407				Tomé et al., 2007c
Sobreiro	6	6.9375	7.0068	-2.4150	-	Tomé, 2004
Azinheira	5	-	-	-3,01165	-	DGF, 2001
Carvalhos	3	-0,21	0,623	0,73	-0,368	Carvalho, 2000
Pinheiro manso	5	0,004056	-0,00884	-2,05189	-	DGF, 2001
Castanheiro	4	0,5167	-	-	-	Patrício, 2006
Acácia	4	0,5167	-	-	-	Patrício, 2006
Folhosas diversas	3	-0,21	0,623	0,73	-0,368	Carvalho, 2000
Resinosas diversas	1	0.0795	0.0211	0.0254	-1.1658	Tomé et al, 2007c

▪ Qualidade da estação

Métodos diretos

Métodos indiretos - Curvas de Classe de Qualidade (CCQ)

■ Qualidade da estação

- ✓ A qualidade de uma estação relativamente a uma determinada espécie florestal refere-se à **produtividade potencial**, tanto presente como futura, de um povoamento da espécie em causa vegetando nessa estação
- ✓ O termo **estação** (*site*) refere-se a uma área considerada em termos do seu ambiente, na medida em que este determina o tipo e qualidade da vegetação que a área pode suportar

▪Qualidade da estação - métodos de avaliação

- ✓ Os métodos de avaliação da qualidade da estação podem classificar-se em três grupos:
 - **Avaliação direta** através da determinação e medição direta dos fatores ambientais mais associados com o crescimento das árvores
 - **Avaliação indireta** através da medição de características da própria vegetação que expressem os resultados desses fatores ambientais
 - **Avaliação semi-indireta** com base na estimativa do índice de qualidade da estação a partir de fatores ambientais
- ✓ O **método indireto** tradicionalmente utilizado para definir a qualidade da estação é sem dúvida a determinação do **índice de qualidade da estação** ou da classe de qualidade a partir do crescimento em altura das árvores dominantes

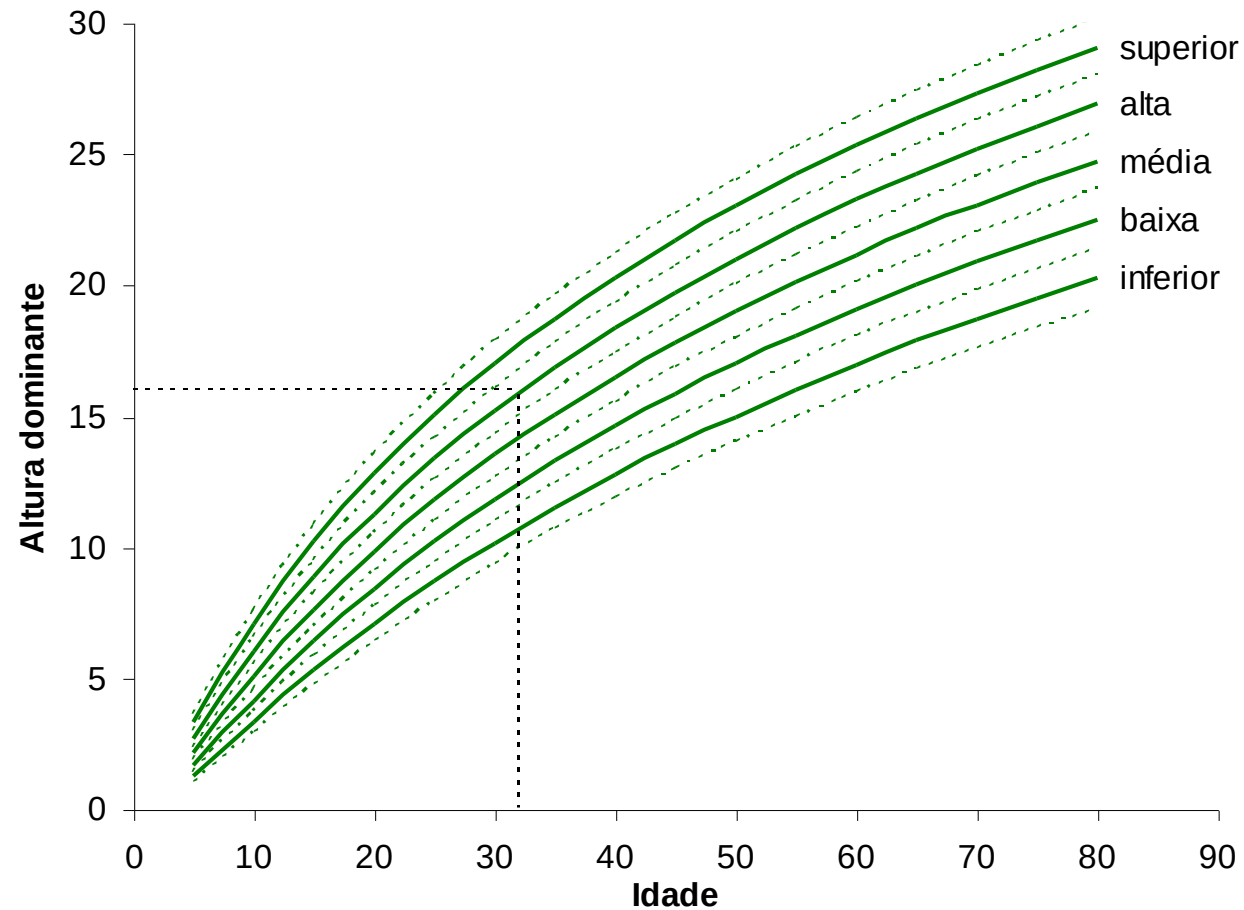
▪Qualidade da estação - avaliação indireta

- ✓ A altura das árvores maiores não é geralmente afetada pela competição entre árvores, pelo que é um bom indicador da produtividade da estação
- ✓ O **índice de qualidade da estação** (site index, S) pode ser definido como a **altura dominante** que um povoamento tem, teve ou terá a uma determinada **idade padrão**
- ✓ Para **idade padrão** seleciona-se geralmente uma idade próxima da idade de **revolução da espécie**

▪ Curvas de classe de qualidade

- ✓ É vulgar agrupar os valores que o índice de qualidade da estação pode tomar numa determinada região em classes, designadas por **classes de qualidade**
- ✓ As curvas de classe de qualidade são a representação gráfica da evolução da altura dominante com a idade
- ✓ Representam-se simultaneamente **no mesmo gráfico várias curvas** correspondentes à gama de **valores de índice de qualidade da estação presentes na região** que pretendem representar

■ Curvas de classe de qualidade - pinheiro bravo



▪ Funções de crescimento em hdom

- ✓ As **funções de crescimento em hdom** podem ser utilizadas para estimar a altura dominante a uma idade padrão, logo o índice de qualidade da estação
- ✓ Há **dois tipos** de funções de crescimento em altura dominante
 - Função de crescimento em que o **índice de qualidade da estação** é utilizado como **variável independente**
 - Função de crescimento formulada como uma **equação às diferenças**, nas quais a altura dominante no instante t_2 ($hdom_2$) é estimada a partir da altura dominante no instante t_1 ($hdom_1$) e dos dois instantes t_1 e t_2

▪ Funções de crescimento em h_{dom} - S como var. independente

- ✓ A função de crescimento que está na base das curvas de classe de qualidade de Oliveira (1985) para as regiões montanas e sub-montanas de Portugal é do primeiro tipo:

$$h_{dom} = S e^{-14.2234\left(\frac{1}{t}-\frac{1}{40}\right)} \quad (\text{idade padrão} = 40 \text{ anos})$$

$$S = h_{dom} e^{14.2234\left(\frac{1}{t}-\frac{1}{40}\right)}$$

- ✓ Um povoamento com $t=37$ anos e $h_{dom}=15$ m terá um valor de

$$S = 15 e^{14.2234\left(\frac{1}{37}-\frac{1}{40}\right)}$$

▪ Funções de crescimento em hdom - eq. às diferenças

- ✓ Funções de crescimento formuladas como equações às diferenças (modelo GLOBULUS 2.1):

$$hdom_2 = 61.1371 \left(\frac{hdom_1}{61.1371} \right)^{\left(\frac{t_1}{t_2} \right)^{0.4805}}$$

Em princípio as equações às diferenças, se bem construídas, devem ser invertíveis:

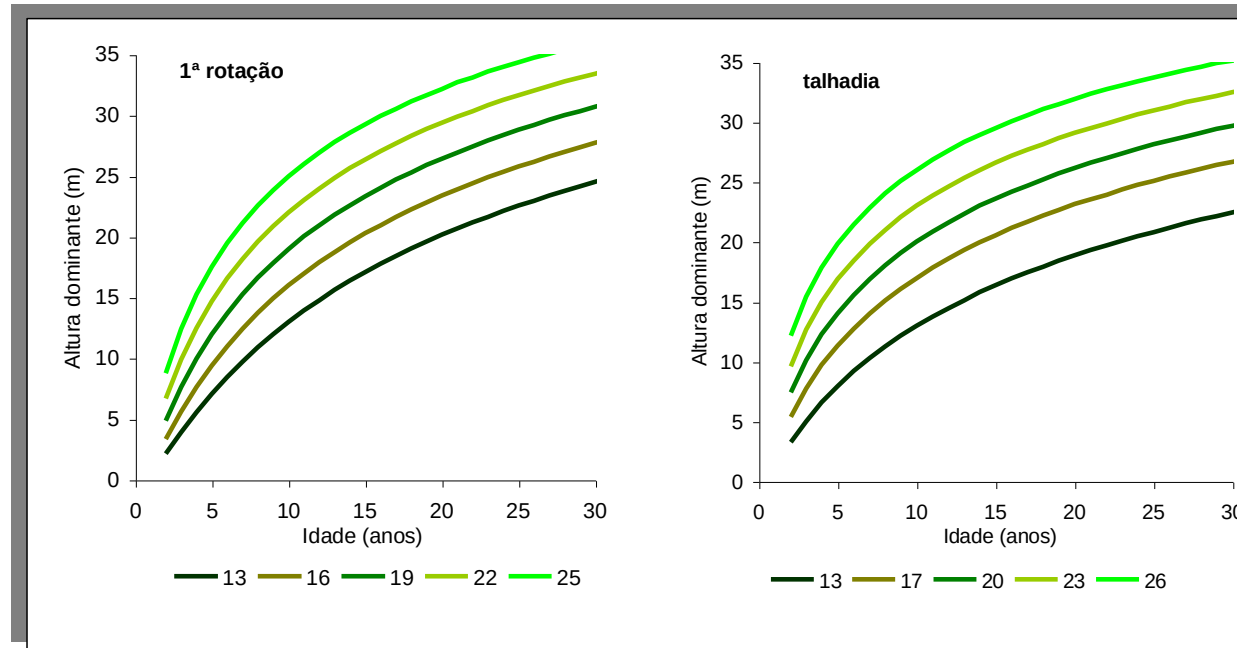
$$hdom_1 = 61.1371 \left(\frac{hdom_2}{61.1371} \right)^{\left(\frac{t_2}{t_1} \right)^{0.4805}}$$

▪ Funções de crescimento em hdom

- ✓ A estimação do índice de qualidade da estação com equações às diferenças faz-se simplesmente tomando t_2 igual à idade padrão e t igual à idade do povoamento na altura da medição:

$$S = 61.1371 \left(\frac{hdom}{61.1371} \right)^{\left(\frac{t}{10} \right)^{0.4805}}$$

■ Curvas de classe de qualidade - eucalipto

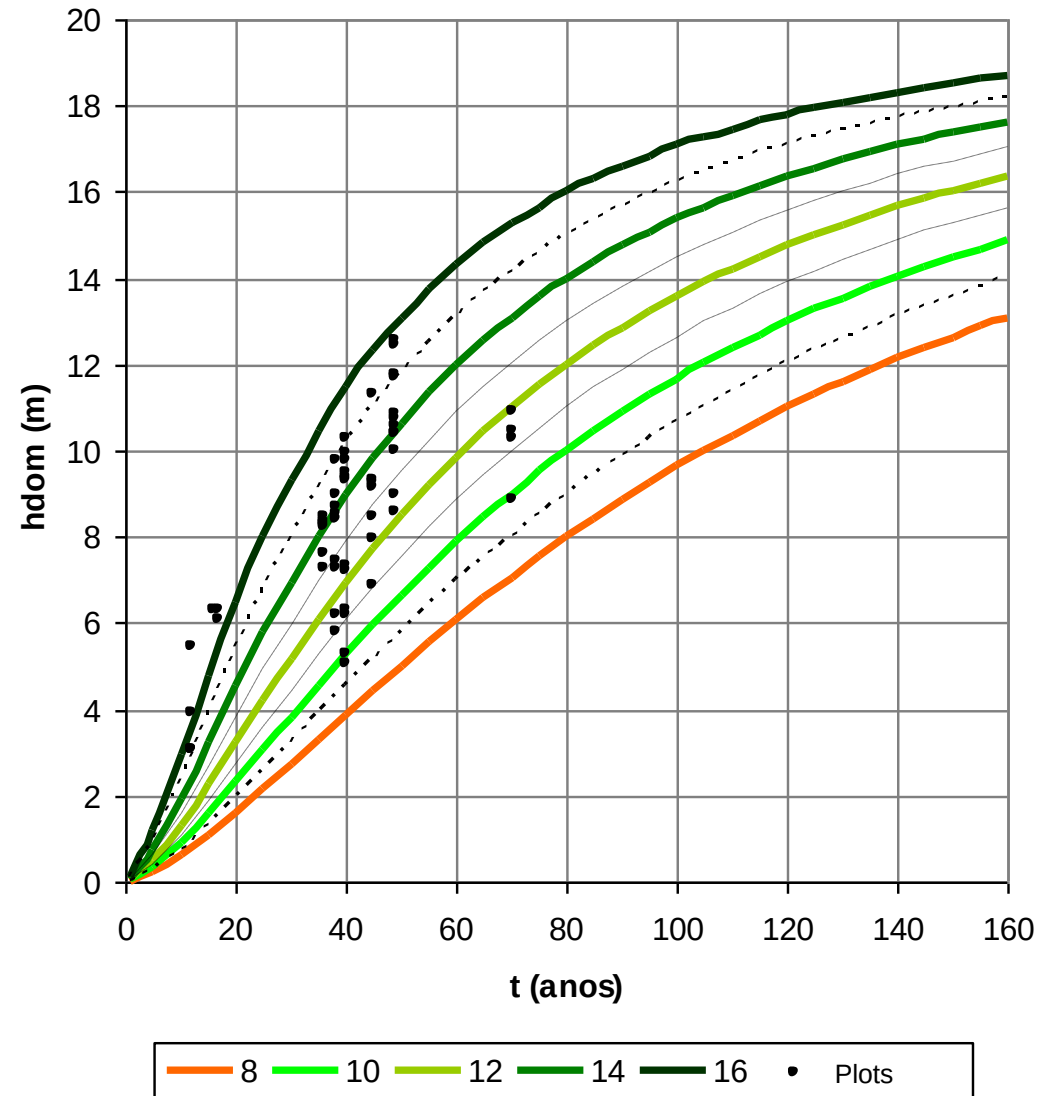


Valores para o índice de qualidade da estação nesta região:

1ª rotação				
I	II	III	IV	V
13	16	19	22	25

talhadia				
I	II	III	IV	V
13	17	20	23	26

Sobreiro - estimação da produtividade da estação



■ Curvas de classe de qualidade do IFN

✓ Modelos para estimar o S

S: índice de qualidade da estação

hdom: altura dominante (m)

hdom_d: altura dominante acima do d (m)

t: idade

t_d: idade acima do d (anos)

t_p: idade padrão (anos)

(coeficientes no slide seguinte)

$$(1) S = A \left(\frac{hdom}{A} \right) \left(\frac{t}{t_p} \right)^n$$

$$(2) S = \frac{A}{1 - \left(1 - \frac{A}{hdom} \right) \left(\frac{t}{t_p} \right)^n}$$

$$(3) S = hdom_d \left(\frac{1 - e^{n(t_p - 4)}}{1 - e^{n(t - 4)}} \right)^k + 1.30$$

■ Curvas de classe de qualidade do IFN

✓ Modelos para estimar o S

Coeficientes para as principais espécies de Portugal

Espécie	Modelo	A	n	k	p	tp	Fonte
Pinheiro bravo	1	69	0,458203	-	-	50	Tomé, 2001
Eucalipto	1	61,1372	*	-	-	10	Tomé, et. al, 2001
Sobreiro	2	20.7216	1.4486	-	-	-	González et al., 2005
Azinhiera	2	20.7216	1.4486	-	-	-	González et al., 2005
Carvalho Negral	3	-	-0.0210	0.915	-	40	Carvalho, 2000
Pinheiro manso	1	69	0,458203	-	-	50	Tomé, 2001
Castanheiro	2	34,8559	1,6160	-	-	45	Patrício, 2006
Acácia	2	34,8559	1,6160	-	-	45	Patrício, 2006
Folhosas diversas	3	-	-0.0210	0.915	-	40	Carvalho, 2000
Resinosas diversas	1	69	0,458203	-	-	50	Tomé, 2001

* n =	Região	1NL	2NC	3CL	4SL	5VT	6NI	7SI	8VD
	1ª rotação	0.5225		0.4805	0.4407	0.4780	0.4805	0.3955	
	talhadia	0.4384		0.3964	0.2826	0.3199	0.3964	0.2374	

▪Qualidade da estação - avaliação semi-indireta

Utilizam-se geralmente equações que expressam o S em função de características de solo e clima. Exemplos para Portugal:

✓ Pinheiro bravo (Marques, 1991), várias equações, e.g.:

– Modelo com variáveis topográficas, edáficas e de clima ($R^2=0.544$)

$$S = 10.7214 + 0.780177 \bar{T} \min(\text{autumn}) + 0.0246574 K + 0.00672025 \text{ Porosidade} - 0.00441198 \text{ Areia}$$

✓ *Pseudotsuga menziesii* (Fontes et al., 2003), várias equações, e.g.:

$$S = 16.805 + 0.000008 \text{ Defhid Rad} + 4.375 \text{ Norte} - 0.000006 \text{ alt}^2 - 3.103 \text{ SAxMAxAm} + 2.319 \text{ MinhoLitoral}$$

▪Qualidade da estação - avaliação semi-indireta: sobreiro

✓ Sobreiro (Paulo et al., 2015)

- Estudo baseado em várias **parcelas estabelecidas em povoamentos juvenis** (de idade conhecida) representativos dos montados em Portugal (situações contrastantes de solo e clima)
- Cada parcela foi objeto de uma **caracterização detalhada do solo**, incluindo o estudo de todo o perfil do solo
- O **clima** foi caracterizado pela média do concelho no qual se localiza cada parcela
- Utilizaram-se as curvas de classe de qualidade desenvolvidas para Espanha - Mariola González - para estimar o **índice de qualidade da estação (S)** de cada parcela
- **Modelou-se** então a relação entre o índice de qualidade da estação e as características de solo e clima

▪Qualidade da estação - avaliação semi-indireta: sobreiro

✓ Modelo detalhado

✓ $S=14.420$

+ 0.468 Arenosolos + 0.150 Cambisolos - 0.492 Leptosolos + 0.233 Luvisolos - 0.596 Podzois
- 0.602 Areias + 0.256 Arenitos + 0.817 Form.det.xisto - 1.965 Xistos + 0.074 Xistos + 0.406 Granitos
+ 0.013 Profundidade do solo
- 0.518 Textura fina - 0.028 Textura média + 0.495 Textura grosseira
+ 0.037 Espessura do horizonte A
- 0.012 Evaporação média mensal (mm)
- 0.284 Número médio mensal de dias com geada

Solos



Litologia



▪Qualidade da estação - avaliação semi-indireta: sobreiro

✓ Modelo simplificado

✓ $S=16.446$

+ 0.574 (7) + 1.073 (8) - 4.303 (17) - 3.364 (20) - 1.237 (22) - 0.951 (26) + 2.125 (311) + 0.115 (310)

- 0.006 Evaporação média mensal (mm)

- 0.291 Número médio mensal de dias com geada



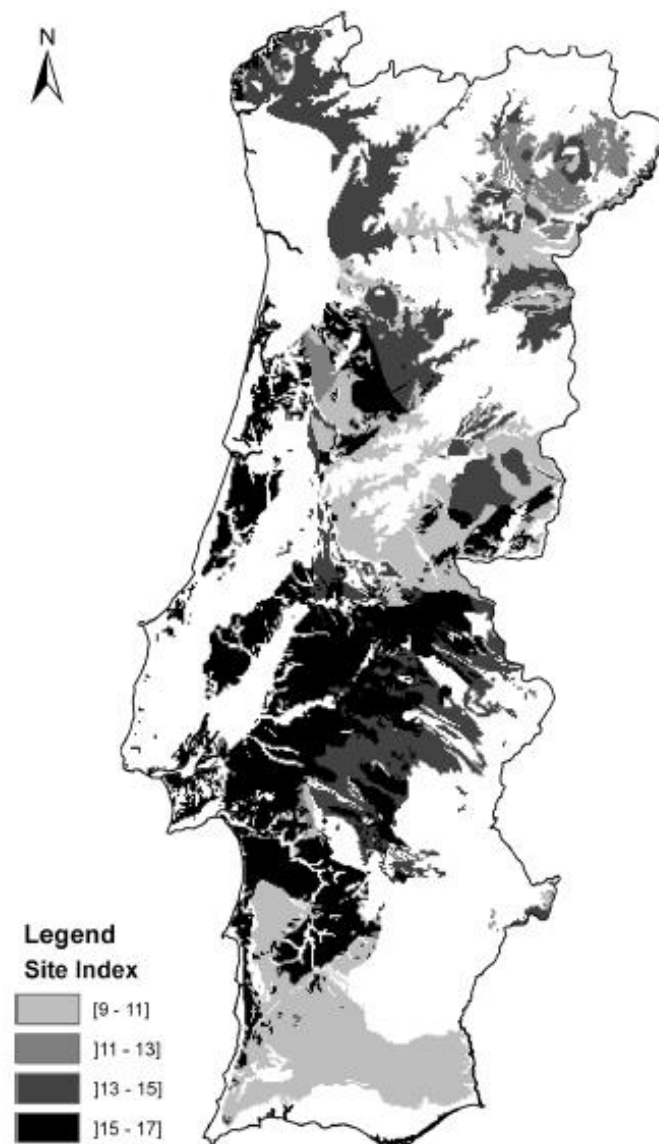
Litologia

(os números representam os códigos das unidades litológicas do Atlas do Ambiente)

▪Qualidade da estação - avaliação semi-indireta: sobreiro

✓ Modelo simplificado

Permitiu elaborar a cartografia da produtividade do sobreiro



- Área basal, número de árvores por ha e diâmetro quadrático médio

▪ Área basal e número de árvores por ha

- ✓ A área basal (G) obtém-se a partir da soma da área basal de cada árvore da parcela (área basal da parcela, G_p), multiplicado pelo fator de expansão da área para o ha

$$G = \sum_{i=1}^{n_p} g_i \frac{10000}{A_p} = G_p f_{exp}$$

Onde g_i é a área basal da árvore i e A_p é a área da parcela

- ✓ O número de árvores por ha obtém-se multiplicando o número de árvores da parcela pelo fator de expansão da área

$$N = n_p f_{exp}$$

■ Diâmetro quadrático médio

- ✓ O diâmetro médio quadrático (dg , cm) é o diâmetro que corresponde à área basal média:

$$\frac{G}{N} = \frac{\pi \left(\frac{dg}{100} \right)^2}{4}$$

$$dg = \sqrt{\frac{4 G}{\pi N}} 100$$

▪ **Lotação e densidade do povoamento**

Variáveis de povoamento para avaliar a densidade dos povoamentos

▪ Lotação e densidade dos povoamentos

- ✓ A **densidade do povoamento** representa uma **medida quantitativa** do material lenhoso por unidade de área
- ✓ A **lotação** é uma **medida qualitativa**. Refere-se a uma apreciação da densidade do povoamento em relação a um determinado objectivo de gestão (povoamentos sub-lotados, bem-lotados ou sobre-lotados)
- ✓ A avaliação da lotação e da densidade dos povoamentos é de extrema importância para a silvicultura (**definição da necessidade de desbastar e da sua intensidade**)

▪ Avaliação da lotação

- ✓ A avaliação da lotação depende essencialmente da definição da densidade adequada para uma determinada espécie, num determinado local e explorado com um determinado fim
- ✓ O conceito de densidade adequada é obviamente um conceito bastante subjetivo e difícil de definir. Segundo Bickford (1979):

The stocking that results in maximum yield is the ideal that every forest manager would like to have if he only knew what it was and could recognise it if he saw it.

▪ Avaliação da densidade

✓ Há diversas medidas da densidade:

- Área basal
- Número de árvores por ha
- Índice de espaçamento ou espaçamento relativo - Fator de Wilson
- Coeficiente de espaçamento
- Percentagem de coberto
- Índice de densidade do povoamento
- Fator de competição das copas

▪ Índice de espaçamento

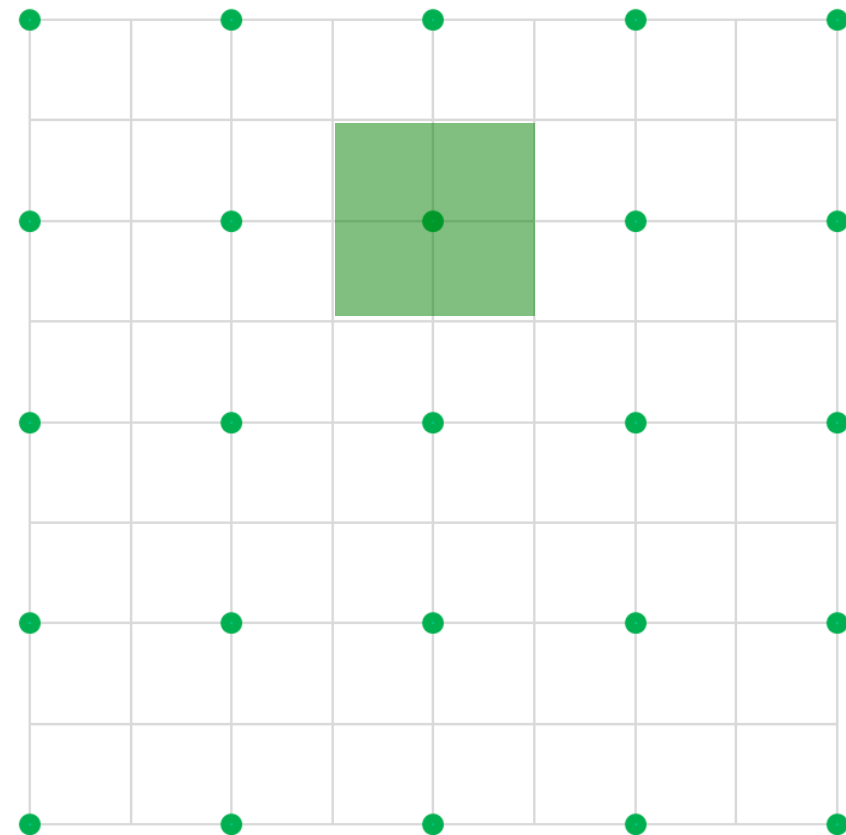
- ✓ O índice de espaçamento ou espaçamento relativo é uma medida da densidade do povoamento que **relaciona a distância média entre árvores** e a altura média das árvores dominantes (**altura dominante**)
- ✓ Baseia-se na hipótese de que povoamentos com a mesma densidade deverão ter uma relação entre a distância média entre árvores e a altura dominante semelhante

$$RS = \frac{\text{distância média entre árvores}}{h_{dom}}$$

■ O Factor de Wilson

- ✓ Se assumirmos que as árvores se dispõem de acordo com um compasso quadrado, a área disponível para cada árvore será dada por:

$$\text{Área por árvore} = \frac{10000}{N}$$



■ O Factor de Wilson

$$\text{Área por árvore} = \frac{10000}{N} \quad \longrightarrow \quad \text{distância média entre árvores} = \sqrt{\frac{10000}{N}}$$

- ✓ O índice de espaçamento relativo pode então escrever-se sob a forma geralmente designada por fator de Wilson:

$$Fw = \frac{\sqrt{10000/N}}{h_{dom}} = \frac{100}{h_{dom}\sqrt{N}}$$

■ Coeficiente de espaçamento

- ✓ O coeficiente de espaçamento é uma medida que relaciona a **distância média entre árvores** com o **diâmetro médio das copas**:

$$C_{spac} = \frac{\text{distância média entre árvores}}{\overline{cw}}$$

Se admitirmos um compasso regular e quadrado, tal como já foi feito para a definição do fator de Wilson:

$$C_{spac} = \frac{100}{\overline{cw}\sqrt{N}}$$

■ Percentagem de coberto (C_c)

- ✓ Percentagem de coberto (C_c) é uma medida de densidade do povoamento que calcula a **percentagem de área coberta por copas**:

$$C_c = \frac{\sum_{i=1}^n ca_i}{A} 100$$

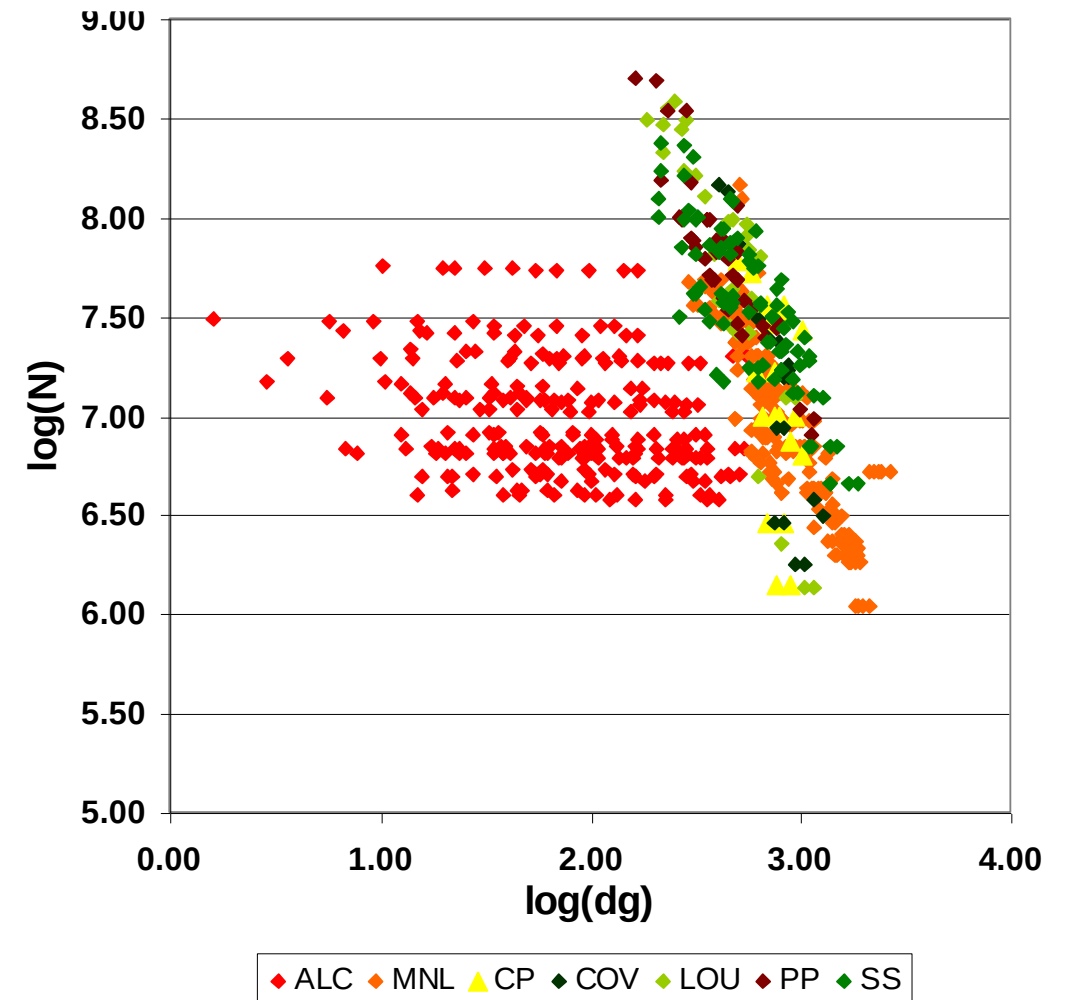
Onde: ca é a área de copa; A é a área da parcela; n é o número de árvores na parcela

▪ Índice de densidade do povoamento (SDI)

- ✓ Este índice avalia a densidade de um povoamento por **comparação** das suas características com as de um povoamento com a densidade máxima (ou seja, em **auto-desbaste**)
- ✓ Reineke (1933) verificou que a **relação** entre o **logaritmo do número de árvores por ha** e o **logaritmo do diâmetro médio** em povoamentos “bem lotados” é geralmente linear
- ✓ Verificou ainda que em **povoamentos** com a lotação máxima - em **auto-desbaste** - esta recta tem um **declive** próximo de **-1.605 (3/2)**

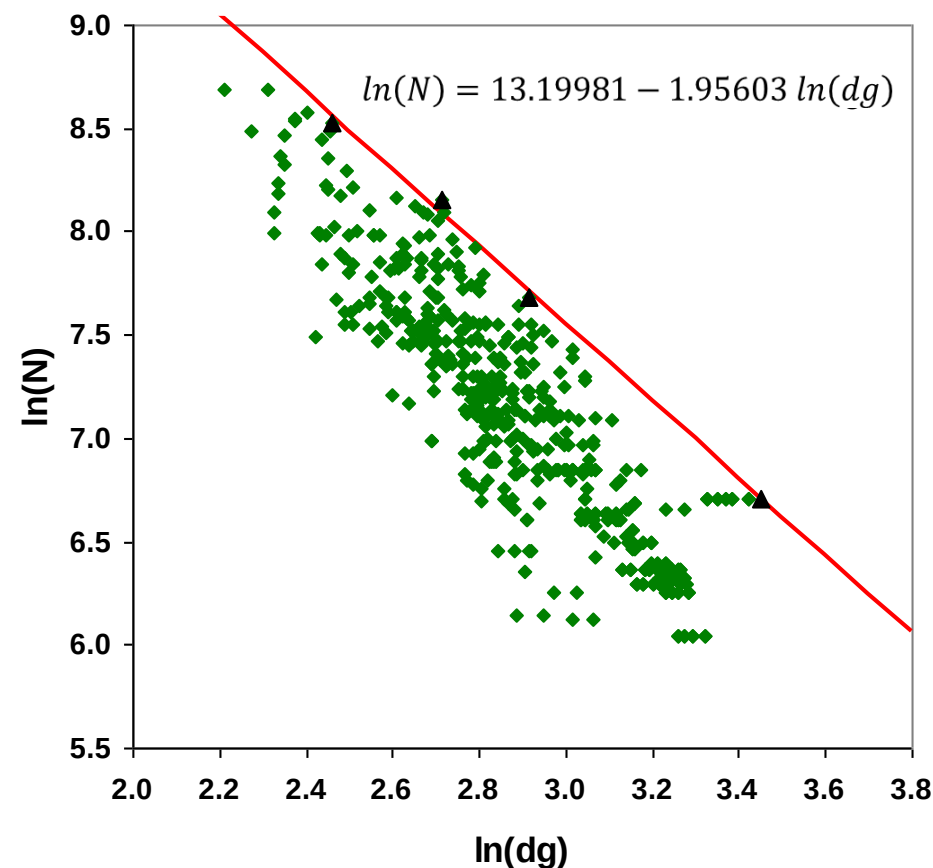
▪ Índice de densidade do povoamento

- ✓ Dados parcelas permanentes de Pb em Portugal



▪ Índice de densidade do povoamento

- ✓ Ajustamento de uma linha de fronteira (auto-desbaste) aos dados de parcelas permanentes de Pb em Portugal

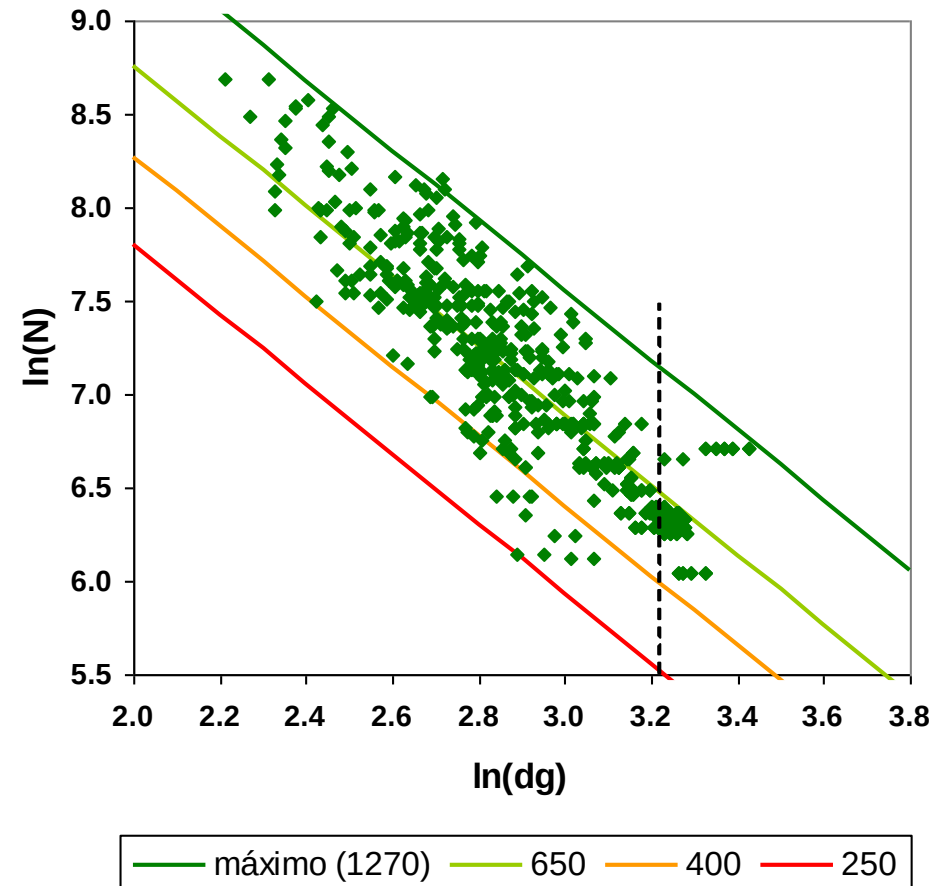


▪ Índice de densidade do povoamento

- ✓ O SDI baseia-se na avaliação da diferença entre o número de árvores por ha correspondente à lotação máxima e o número de árvores por ha do povoamento em questão
- ✓ O índice SDI assume que a um povoamento sub-lotado corresponde uma relação entre $\ln(N)$ e $\ln(dg)$ paralela à que se verifica para os povoamentos com a lotação máxima, mas com um valor de ordenada na origem inferior

■ Índice de densidade do povoamento

- ✓ Linhas paralelas correspondentes a vários valores de *SDI*



▪ Índice de densidade do povoamento

- ✓ A ordenada na origem para um determinado povoamento pode ser obtida do seguinte modo

$$\ln(N) = k - 1.95603 \ln(dg)$$

$$k = \ln(N) + 1.95603 \ln(dg)$$

- ✓ Para efeitos de normalização, o cálculo do índice de densidade do povoamento é realizado com base no valor de N que o povoamento teria quando $dg=25$

$$\ln(SDI) = k - 1.95603 \ln(25)$$

▪ Índice de densidade do povoamento

✓ A expressão do SDI para um povoamento qualquer vem então:

$$\ln(SDI) = k - 1.95603 \ln(25)$$



$$k = \ln(N) + 1.95603 \ln(dg)$$

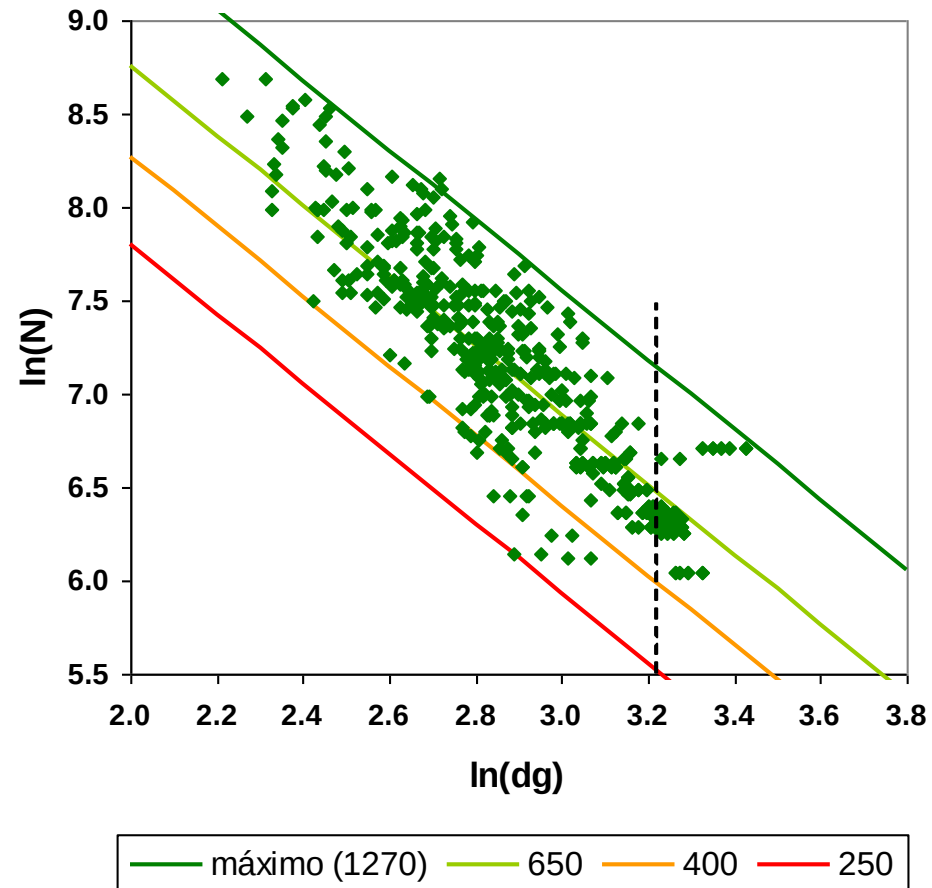


$$\ln(SDI) = \ln(N) + 1.956 \ln(dg) - 1.95603 \ln(25)$$



$$SDI = N \left(\frac{dg}{25} \right)^{1.95603}$$

■ Índice de densidade do povoamento



▪ Índice de densidade do povoamento

✓ Linhas de auto-desbaste para as espécies portuguesas

Espécie	Linha de auto-desbaste	Autor
Pinheiro bravo	$\ln(N) = 13.19981 - 1.95603 \ln(dg)$	Tomé (2001)
Pinheiro bravo	$\ln(N) = 13.052 - 1.897 \ln(dg)$	Luís e Fonseca (2004)
Eucalipto	$Slope = -1.6$	Tomé et al. (2004)
Sobreiro	$\ln(N) = 12.302 - 1.806 \ln(dg)$	Fonseca et al. (2017)

▪ Factor de competição de copas

- ✓ Este índice reflete a relação entre a **área disponível para a árvore média** do povoamento e a **área máxima** que poderia usar se estivesse isolada (livre de competição, portanto)
- ✓ O seu cálculo exige o conhecimento da relação entre a largura da copa (cw_{open}) e o diâmetro à altura do peito (d_{open}) em árvores isoladas, geralmente de forma linear:

$$cw_{open} = b_0 + b_1 d_{open}$$

- ✓ A equação desenvolvida por Alegria para o pinheiro bravo:

▪ Factor de competição de copas

- ✓ A área ocupada pela copa de uma árvore isolada de diâmetro d_{open} é expressa por:

$$ca_{open} = \pi \frac{cw_{open}^2}{4} = \pi \frac{(b_0 + b_1 d_{open})^2}{4}$$

- ✓ O fator de competição das copas num povoamento é a soma dos valores de ca_{open} para cada árvore, expressa em percentagem da área da parcela:

$$CCF = \frac{100}{A} \sum_{i=1}^n ca_{open}$$

▪ Volume do povoamento

Volume com casca e volume sem casca
Volume total e por categorias de aproveitamento

■ Volume do povoamento

- ✓ O volume do povoamento é geralmente expresso por ha ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$), bastando multiplicar o volume por ha pela área se quisermos saber o volume do povoamento. Podem considerar-se diversos volumes:
 - Volume total (com casca e com cepo, V)
 - Volume mercantil (com casca e sem cepo, V_m)
 - Volume mercantil com casca até um diâmetro d_i (V_{mdi})
 - Volume mercantil com casca até uma altura h_i (V_{mhi})
 - Volume mercantil sem casca até um diâmetro d_i (V_{umdi})
 - Volume mercantil sem casca até uma altura h_i (V_{umhi})
- ✓ O volume por ha é geralmente calculado a partir do volume de uma parcela

▪ Volume por unidade de área (ha)

- ✓ Enumeração completa de volumes
- ✓ Estimação do volume por ha
 - Métodos baseados em equações de volume da árvore
 - Enumeração completa de diâmetros e alturas (*IFN, dap e h de todas as arv medidos*)
 - Métodos baseados em árvores modelo de altura (*exercícios 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3*)
 - Equações de cubagem de povoamentos (*exercícios 3.2.4*)
- ✓ Métodos das **árvores modelo**
 - Métodos das árvores modelo de volume (*exercícios 3.2.5*)
 - Métodos das árvores modelo de forma - método de Hartig (*exercícios 3.2.6*)

▪ Volume por ha - estimacão / equacões de volume da árvore

- ✓ Estimacão do volume com recurso a equacões de volume da árvore (método geralmente utilizado):
 - Enumeracão completa de diâmetros e alturas - medindo o diâmetro e a altura de cada árvore, basta estimar o volume de cada árvore da parcela, somar e expandir ao há (IFN)
 - Enumeracão completa de diâmetros mas baseado em relacões hipsométricas / **árvores modelo de altura**: Método igual ao anterior, havendo contudo que estimar a altura de cada árvore, usando um dos 3 métodos:
 - i) Elaboracão de uma relacão hipsométrica local, com os dados obtidos na parcela (que têm que em número “razoável” (**exercício 3.2.1**));
 - ii) elaboracão de uma relacão hipsométrica local com os dados das várias parcelas do povoamento;
 - iii) elaboracão ou recurso a uma relacão hipsométrica geral (basta medir a hdom) (**exercício 3.2.2**) *por fim* estima-se o volume de cada árvore da parcela
 - Sem enumeracão completa de diâmetros - dist. classes de diâmetro e: i) estima-se a altura da árvore média na classe de diâmetros com uma hipsométrica (**exercício 3.2.3 a**)); ii) *calcula-se a média das alturas das árvores modelo medidas* (**exercício 3.2.3 b**)); estima-se o volume da árvore central de cada classe de diâmetro

▪ Volume por ha – estimacão / equacões de cubagem

✓ O volume por ha é estimado a partir de outras variáveis do povoamento. Alguns exemplos *exercício 3.2.4*); :

- Equacões de cubagem para o **pinheiro bravo** na Mata Nacional de Leiria (Gomes, 1957)

$$V = 55.745 + 0.3873 G hdom$$

Onde: V: volume (m³); G (área basal (m²); hdom - altura dominante (m)

- Equacões de cubagem para o **eucalipto** (Tomé et al., 2001)

$$V = \left(0.4886 - 0.1348 \frac{100}{S\sqrt{Npl}} \right) t^{0.0655} hdom^{0.8839} G^{1.0263}$$

▪ Volume por ha - árvores modelo de altura

- ✓ Neste caso, a variável que é medida nas árvores modelo é a altura
- ✓ A altura medida nas árvores modelo pode ser utilizada de duas maneiras:
 - Ser utilizada para construir uma relação hipsométrica e, neste caso, o volume passa a ser calculado por avaliação indireta com equações de volume da árvore (a menos que não exista a enumeração completa dos diâmetros, mas apenas ao número de árvores em cada classe de d)
 - Ser utilizada para calcular a altura média de cada classe de d , calculando-se de seguida o volume médio da classe com uma equação de volume usando d = valor central da classe, sendo o volume calculado pela expressão da enumeração completa de d e h

▪ Volume por ha - métodos de árvores modelo

✓ Método de Draudt modificado

- Baseia na hipótese de que, desde que a **amplitude das classes** seja suficientemente **pequena**, **qualquer árvore da classe** pode ser selecionada como **árvore modelo**
- De acordo com esta regra é possível realizar a seleção das árvores modelo em simultâneo com a medição, selecionando-se para **modelo**, em cada classe de diâmetro, **a 1ª, a 6ª, a 11ª**, etc, árvores medidas

✓ É este o **método mais utilizado** na medição de parcelas de inventário

▪ Volume por ha - árvores modelo de volume

✓ Método de Draudt

- Consideram-se as árvores do povoamento repartidas por **k classes de diâmetro**

✓ A aplicação, na prática, do método de Draudt torna-se bastante complicada, pois incluiria:

- Medição do diâmetro em todas as árvores da parcela
- Agrupamento das árvores medidas em classes de diâmetro
- Cálculo do diâmetro quadrático médio das árvores em cada classe de diâmetro
- Localização, no campo, das árvores modelo em cada classe de diâmetro, próximas do respetivo diâmetro quadrático médio
- Medição das árvores modelo

▪ Volume por ha - enumeração completa

- ✓ Qualquer um dos volumes atrás referidos (V) se obtém, por enumeração completa, a partir da soma do respetivo volume de cada árvore da parcela (volume da parcela, V_p), multiplicado pelo fator de expansão da área para o ha

$$V = \sum_{i=1}^{n_p} v_i \frac{10000}{A_p} = V_p f_{exp}$$

Onde v_i é o volume da árvore i e A_p é a área da parcela

- ✓ O volume de cada árvore teria que ser obtido por imersão em água, abate da mesma ou pelo método da altura formal (quase **IMPOSSÍVEL** na prática)

▪ Volume por ha - árvores modelo de volume

✓ Métodos baseados em árvores modelo de volume

- As árvores que têm um **diâmetro próximo do dg de um grupo** podem ser consideradas como tendo um volume próximo do volume médio do grupo - são estas as **árvores modelo** do grupo
- Os **grupos** coincidem geralmente com as **classes de diâmetro**
- Supondo que as árvores de um povoamento se distribuem por **k classes**, pode então avaliar-se o volume do povoamento segundo a expressão:

$$V = \sum_{l=1}^k n_l \overline{vm}_l = \sum_{l=1}^k n_l \frac{\sum_{i=1}^{nm_l} vm_{il}}{nm_l}$$

Onde: l - classe; i - árvore modelo dentro da classe; n_l - número de árvores na classe l ; nm_l - número de árvores modelo na classe l ; $\overline{vm}_l$ - volume médio das árvores modelo; vm_{il} - volume da árvore modelo i da classe l

▪ Volume por ha - árvores modelo de volume

✓ Métodos baseados em árvores modelo de volume

- O volume médio das árvores modelo pode ser uma média ponderada com a área basal, avaliando-se então o volume do povoamento com a expressão:

$$\begin{array}{ccc} V_l & \text{---} & \sum_{i=1}^{nm_l} vm_{il} \\ G_l = \sum_{j=1}^{n_l} g_j & \text{---} & \sum_{i=1}^{nm_l} g_{il} \end{array} \quad \longrightarrow \quad V = \sum_{l=1}^k \frac{\sum_{j=1}^{n_l} g_{jl}}{\sum_{i=1}^{nm_l} gm_{il}} \sum_{i=1}^{nm_l} vm_{il}$$

Onde: l - classe; j - árvore dentro da classe; i - árvore modelo dentro da classe; n_l - número de árvores na classe l ; nm_l - número de árvores modelo na classe l ; g_{jl} - área basal da árvore j da classe l ; gm_{il} - área basal da árvore modelo i da classe l ; vm_{il} - volume da árvore modelo i da classe l

▪ Volume por ha - árvores modelo de forma

✓ Métodos baseados em árvores modelo de forma

- As **árvores modelo** são utilizadas para medir a **altura formal**
- Salienta-se o **método de Hartig**
- Constituem-se k grupos de igual área basal

$$\frac{G}{k} = n_1 g m_1 = n_2 g m_2 = \dots = n_k g m_k$$

- Relembre-se como se calcula o volume de uma árvore pelo método da altura formal:

$$v = g h f$$

▪ Volume por ha - árvores modelo de forma

- ✓ O volume total do povoamento será então estimado como:

$$V = \sum_{l=1}^k n_l \overline{v m_l} = \sum_{l=1}^k n_l \overline{g m_l} \overline{h f m_l} = \frac{G}{k} \sum_{l=1}^k \overline{h f m_l} = G \frac{\sum_{l=1}^k \overline{h f m_l}}{k} = G \overline{h f}$$

- ✓ Resumindo, basta estimar a área basal, geralmente pelo método de Bitterlich (ver mais à frente), e multiplicar pela media da altura formal das árvores modelo:

$$V = G \overline{h f}$$

▪ Volume por ha - métodos de árvores modelo

✓ Método da árvore modelo única

- As árvores do povoamento são neste método reunidas num só grupo
- Extensão com base no número de árvores

$$V = \frac{n_p}{nm} \sum_{i=1}^{nm} vm_i = n_p \frac{\sum_{i=1}^{nm} vm_i}{m} = n_p \overline{vm}$$

- Extensão com base na área basal

$$V = \frac{G}{\sum_{i=1}^{nm} g_i} \sum_{i=1}^{nm} vm_i$$

- **Biomassa do povoamento**

Biomassa total e por componentes da árvore

■ Biomassa do povoamento

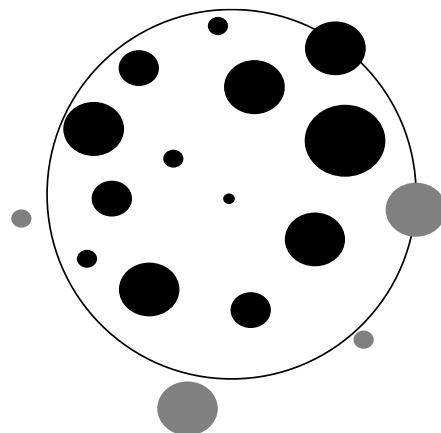
- ✓ A biomassa do povoamento é geralmente expressa por ha (Mg ha^{-1}), bastando multiplicar a biomassa por ha pela área se quisermos saber a biomassa do povoamento. Podem considerar-se diversas componentes da biomassa:
 - Biomassa do lenho do tronco (W_w)
 - Biomassa da casca do tronco (W_b)
 - Biomassa dos ramos (W_{br})
 - Biomassa das folhas (W_l)
 - Biomassa das raízes (W_r)
 - Biomassa total ($W = W_w + W_b + W_{br} + W_l + W_r$)
- ✓ A metodologia para o cálculo da biomassa por ha é em tudo idêntica à explicada para o volume por ha

- Índice de área foliar

■ Índice de área foliar

- ✓ O índice de área foliar é a soma da área foliar de todas as árvores do povoamento expressa por unidade de área
- ✓ Metodologias alternativas
 - Com base em árvores modelo de área foliar (pode calcular-se a área foliar de uma árvore a partir da biomassa das folhas e da área foliar específica - *sla* em $\text{m}^2 \text{kg}^{-1}$)
 - Por estimação com recurso a equações alométricas da árvore (para a área foliar ou para a biomassa de folhas desde que se saiba a *sla*)
 - Por avaliação indireta com base na luz intercetada

- Avaliação de variáveis do povoamento com outros tipos de parcelas

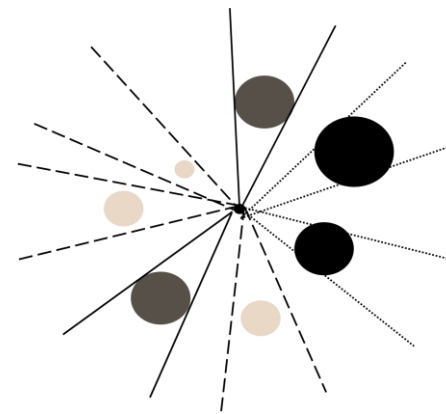
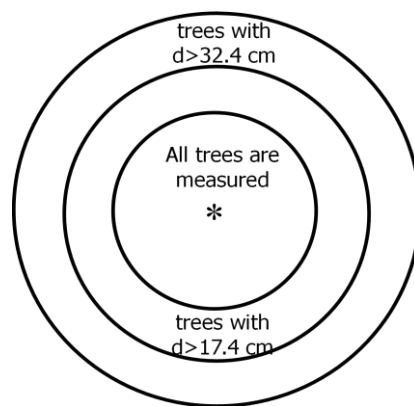
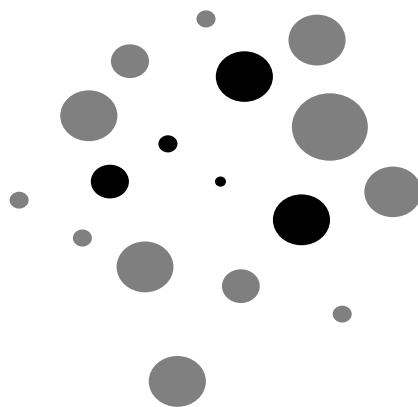


▪ Avaliação de variáveis do povoamento com outros tipos de parcelas

Parcelas com um número fixo de árvores

Parcelas concêntricas

Método de Bitterlich



■ Parcelas com um número fixo de árvores

- ✓ As parcelas com um número fixo de árvores são circulares e a dificuldade está em determinar o raio respetivo
- ✓ As metodologias mais utilizadas para determinar o raio são:
 - Raio igual à distância da k^{esima} árvore ao centro e aplicação de um fator de correção $(k-1)/k$ aos valores das variáveis do povoamento
 - Raio igual ao valor médio da distância das k^{esima} e $(k+1)^{esima}$ árvores ao centro

■ Parcelas simples, concêntricas e método de Bitterlich

✓ Parcela simples

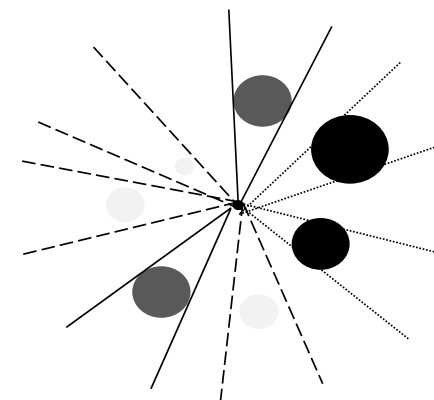
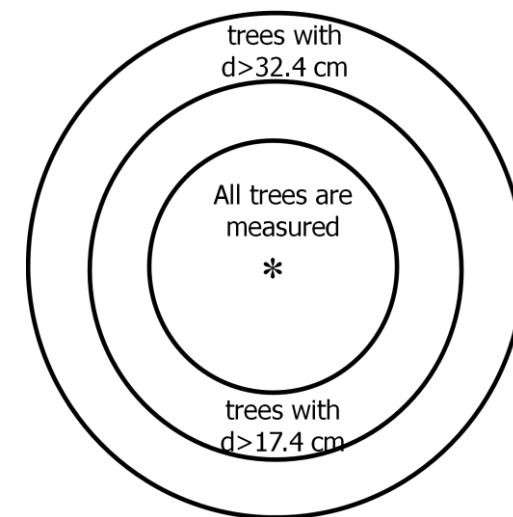
$$G = \frac{10000}{A} \sum_{i=1}^n \frac{\pi d_i^2}{4}$$

✓ Parcela concêntrica (3 círculos de área A_1 , A_2 e A_3)

$$G = \frac{10000}{A_1} \sum_{i=1}^{n_1} \frac{\pi d_i^2}{4} + \frac{10000}{A_2} \sum_{i=1}^{n_2} \frac{\pi d_i^2}{4} + \frac{10000}{A_3} \sum_{i=1}^{n_3} \frac{\pi d_i^2}{4}$$

✓ Método de Bitterlich

$$G = \frac{10000}{A_{d_1}} \frac{\pi d_1^2}{4} + \frac{10000}{A_{d_2}} \frac{\pi d_2^2}{4} + \dots + \frac{10000}{A_{d_n}} \frac{\pi d_n^2}{4}$$

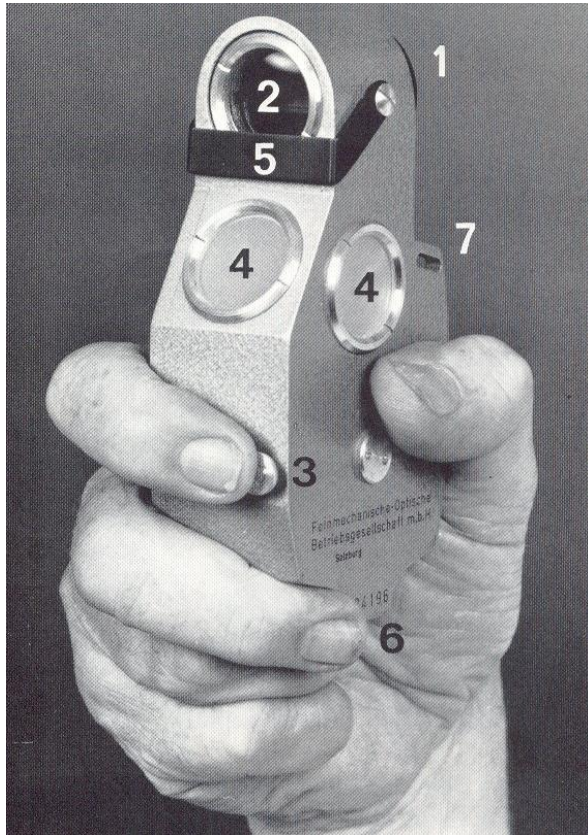


▪ O método de Bitterlich

- ✓ O método de Bitterlich baseia-se na ideia de exprimir a **quantidade adimensional área basal** por hectare com recurso a outra grandeza adimensional
- ✓ Do que depende a área basal de um povoamento?
 - do número de árvores que “cabem” numa certa área
 - da dimensão destas árvores
 - se as árvores fossem todas do mesmo tamanho, bastava contá-las
- ✓ A noção de **ângulo de visão** ou ângulo crítico, ou seja, do ângulo que circunscreve uma secção ao nível do d quando esta é visada de um ponto colocado a uma certa distância, **é a base do método de Bitterlich**

▪ O método de Bitterlich

✓ O aparelho é composto por várias componentes:



□ O relascópio propriamente dito

1 - Ocular

2 - Objetiva

3 - Botão libertador/fixador do tambor das escalas (assemelha-se a um parafuso e situa-se na frente do aparelho)

4 - Janelas de iluminação das escalas é (são três)

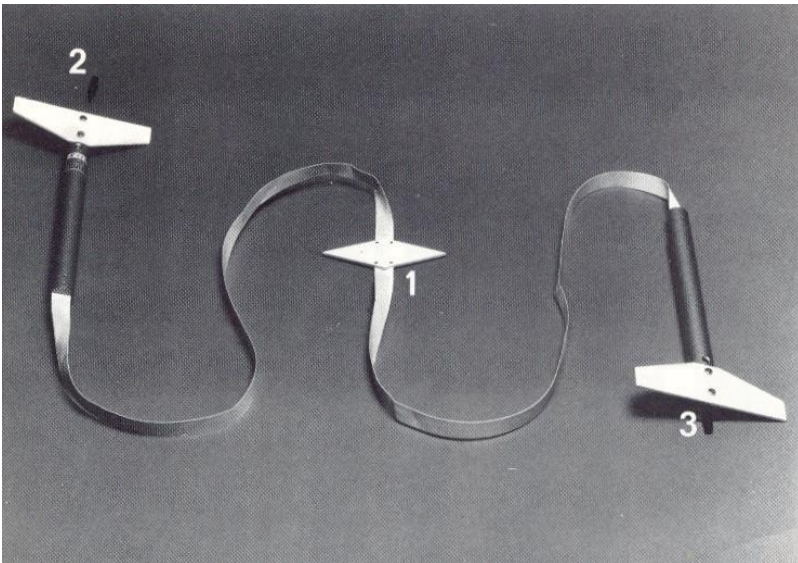
5 - Pala metálica (serve para facilitar as miradas permitindo regular a intensidade luminosa)

6 - Rosca de fixação a um suporte

7 - Orifício para a correia do suporte torácico.

■ O método de Bitterlich

✓ O aparelho é composto por várias componentes:



■ A mira

A mira tem 2 metros, e tem ambas as extremidades e o centro assinalados.

Prende-se verticalmente no tronco da árvore à qual se pretende determinar a distância horizontal.

O aparelho exige a colocação a distâncias fixas de 15, 20, 25 ou 30 m da árvore.

▪ O método de Bitterlich

✓ O aparelho é composto por várias componentes:

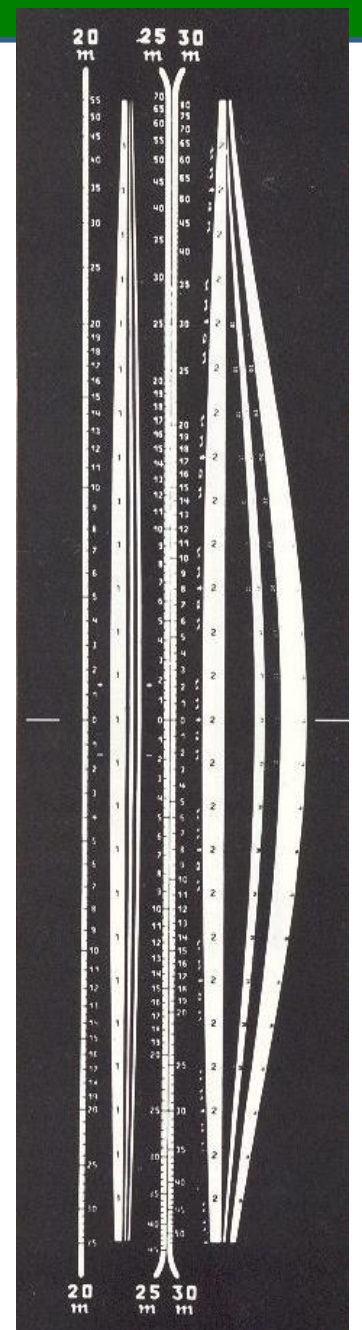
▣ O tambor das escalas

Quando se prime o botão, o tambor fica livre permitindo observar as bandas e as escalas em toda a sua extensão.

O perfil das escalas não é uniforme. Pretende-se deste modo corrigir automaticamente o efeito devido à eventual inclinação do terreno, através da variação das larguras das bandas.

A maior largura das bandas verifica-se para o plano de pontaria horizontal onde se situa o zero.

Para pontarias inclinadas os perfis das bandas introduzem automaticamente a correção do declive imposta pelo aumento da distância à árvore.



▪ O método de Bitterlich

✓ O aparelho é composto por várias componentes:

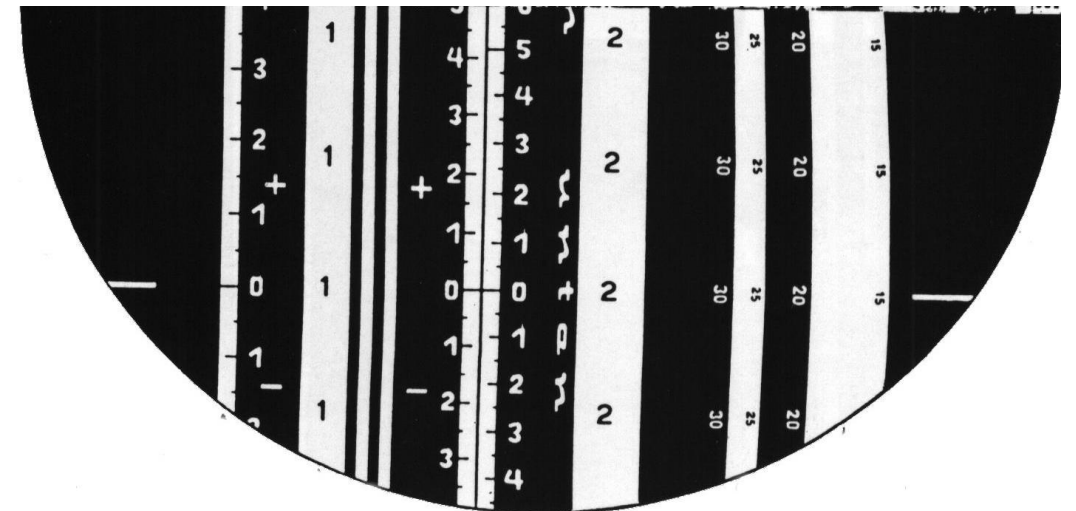
□ O tambor das escalas – vista aproximada

As escalas apresentam-se como pequenas faixas verticais brancas sobre fundo negro devidamente graduadas e podem dividir-se em 3 grupos:

Escalas de distâncias – medição das distâncias

Escalas hipsométricas - medição de alturas a distâncias fixas

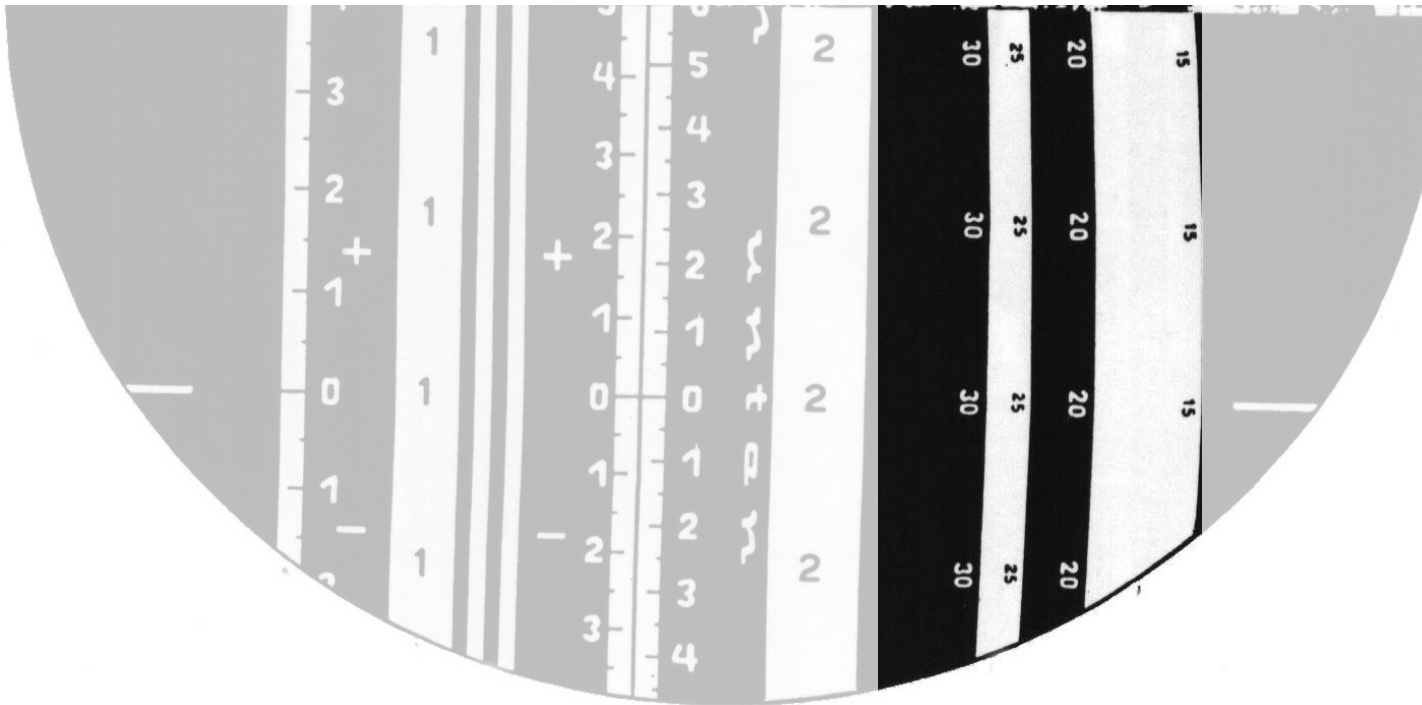
Escalas de numeração – medição de diâmetros



■ O método de Bitterlich

✓ O aparelho é composto por várias componentes:

□ O tambor das escalas – vista aproximada da **escala das distâncias**



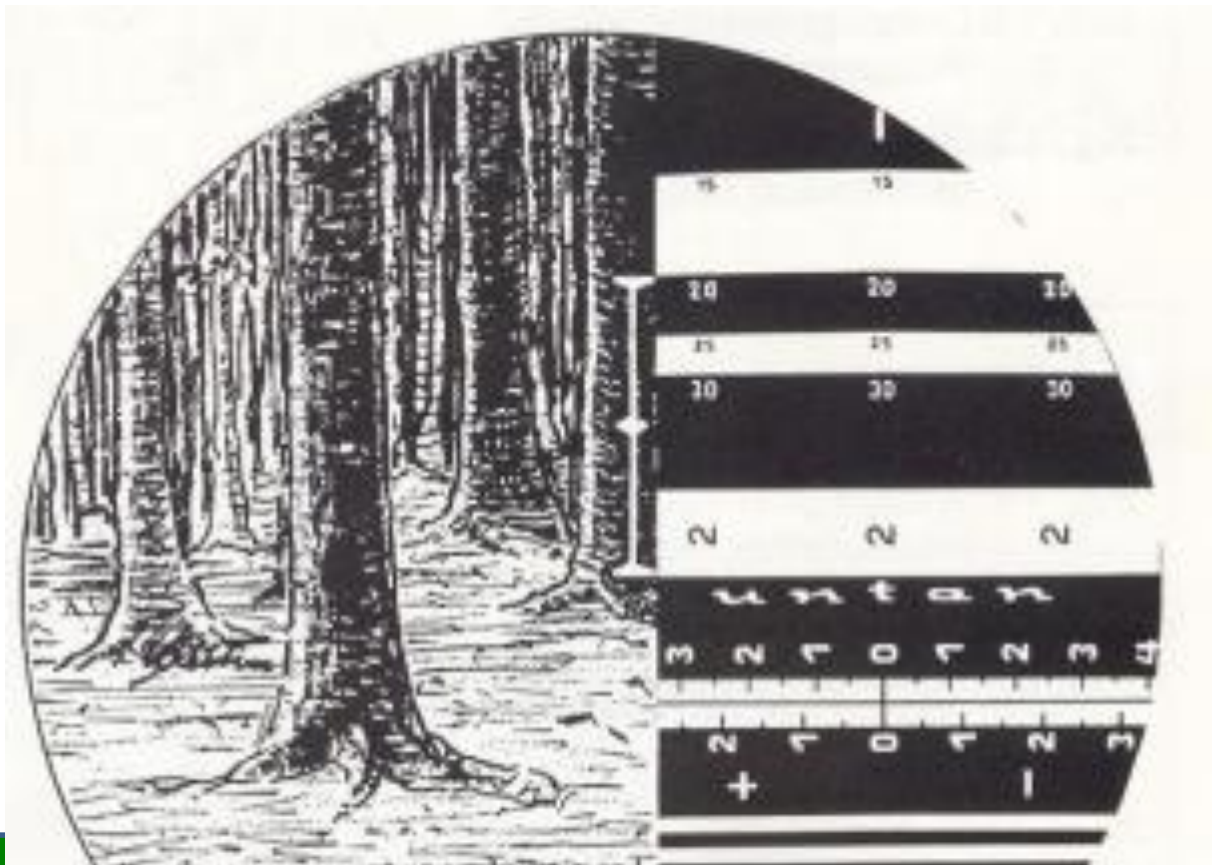
São 4 e encontram-se assinaladas com os números 15, 20, 25 e 30

Devem ser utilizadas rodando o aparelho 90°

▪ O método de Bitterlich

✓ O aparelho é composto por várias componentes:

□ O tambor das escalas – vista aproximada da **escala das distâncias**



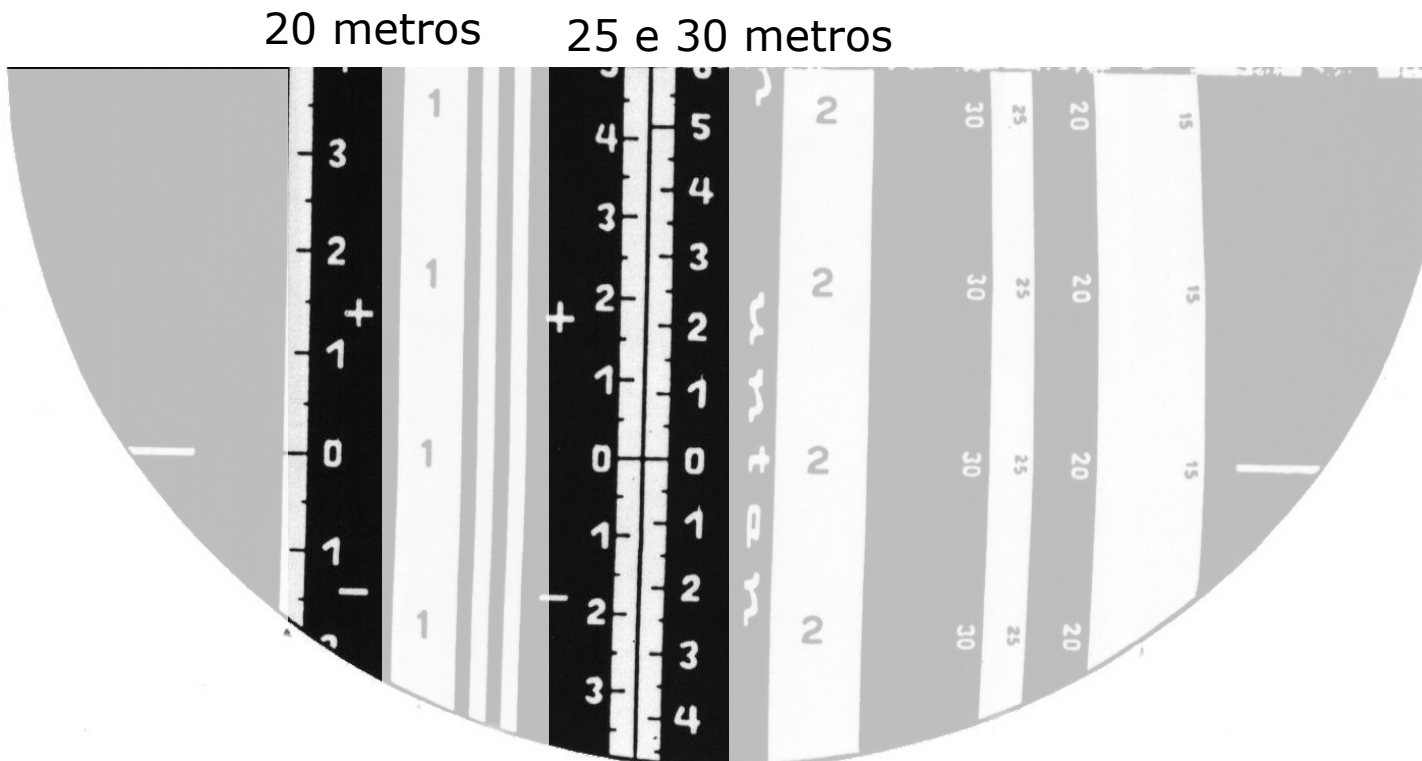
São 4 e encontram-se assinaladas com os números 15, 20, 25 e 30

Devem ser utilizadas rodando o aparelho 90°

■ O método de Bitterlich

✓ O aparelho é composto por várias componentes:

□ O tambor das escalas – vista aproximada da **escala das alturas**



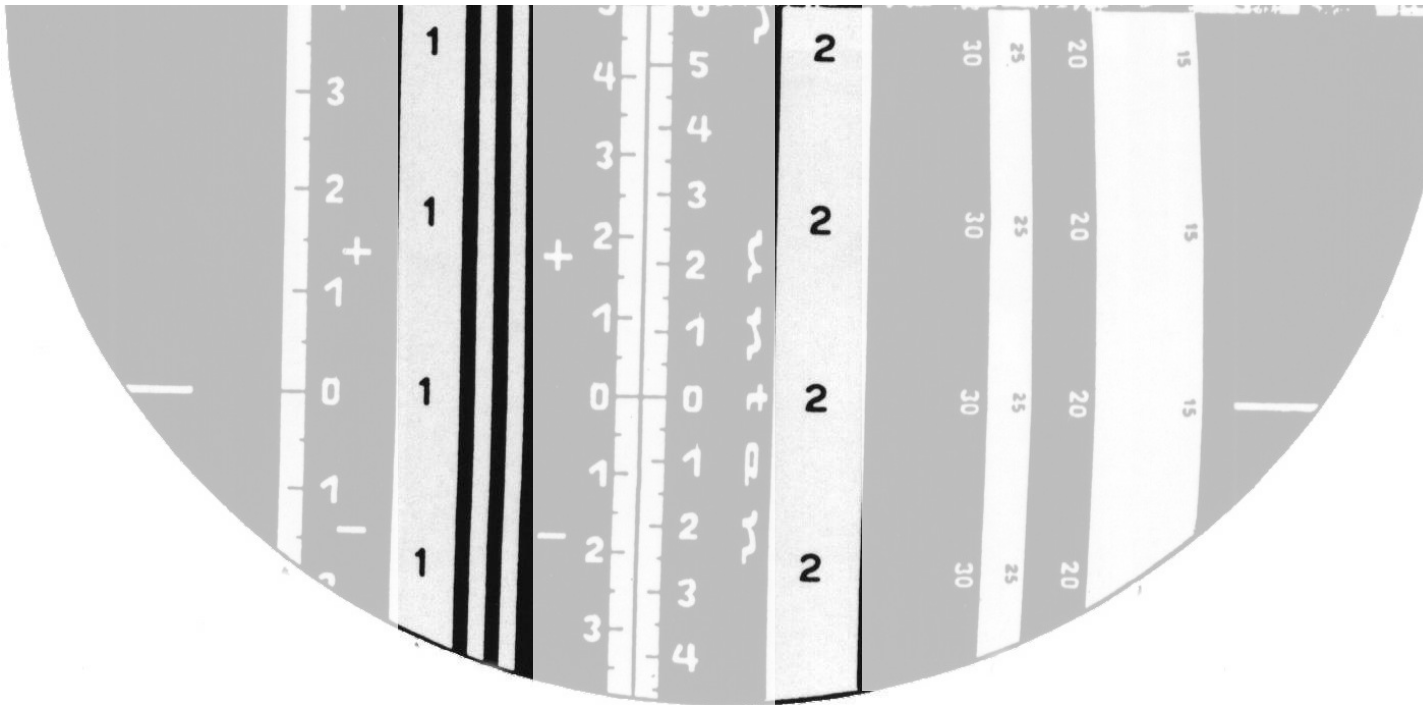
São as escalas onde se fazem as leituras das alturas das árvores.

São 3:

■ O método de Bitterlich

✓ O aparelho é composto por várias componentes:

□ O tambor das escalas – vista aproximada da **escala numérica** (diâmetros)



Selecionar uma combinação de bandas:

Banda 1

Banda 1 + 1 banda estreita

Banda 1 + 2 bandas estreitas

Banda 1 + 3 bandas estreitas

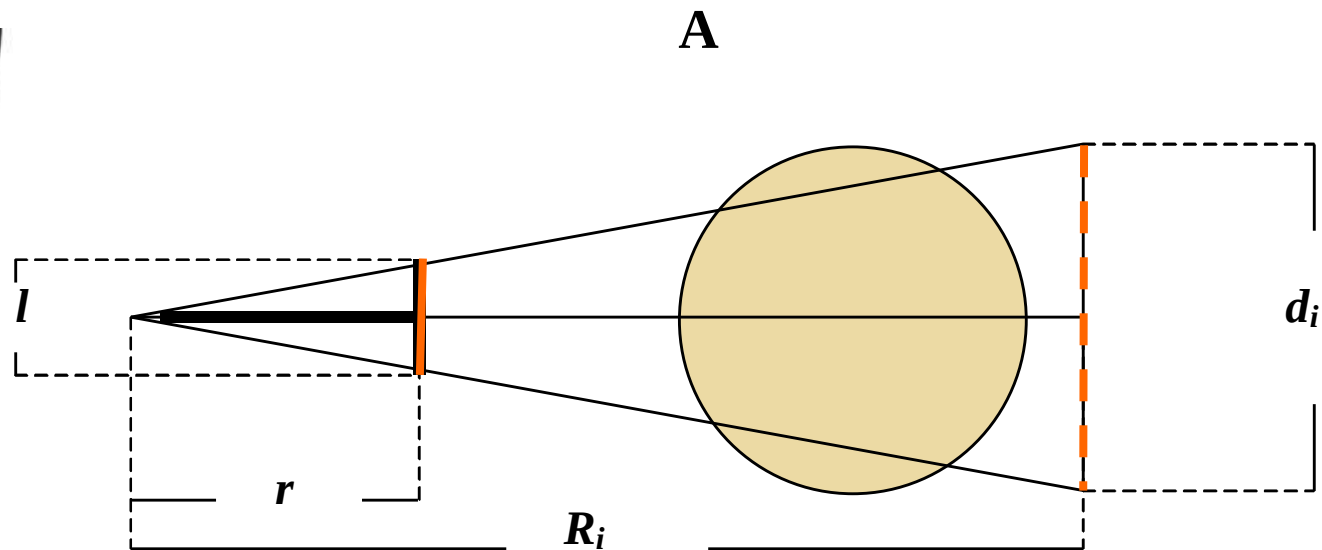
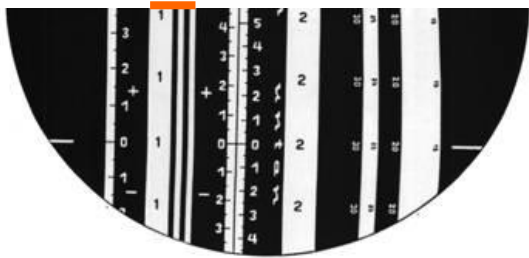
Banda 1 + 4 bandas estreitas

...

Banda 2

■ O método de Bitterlich

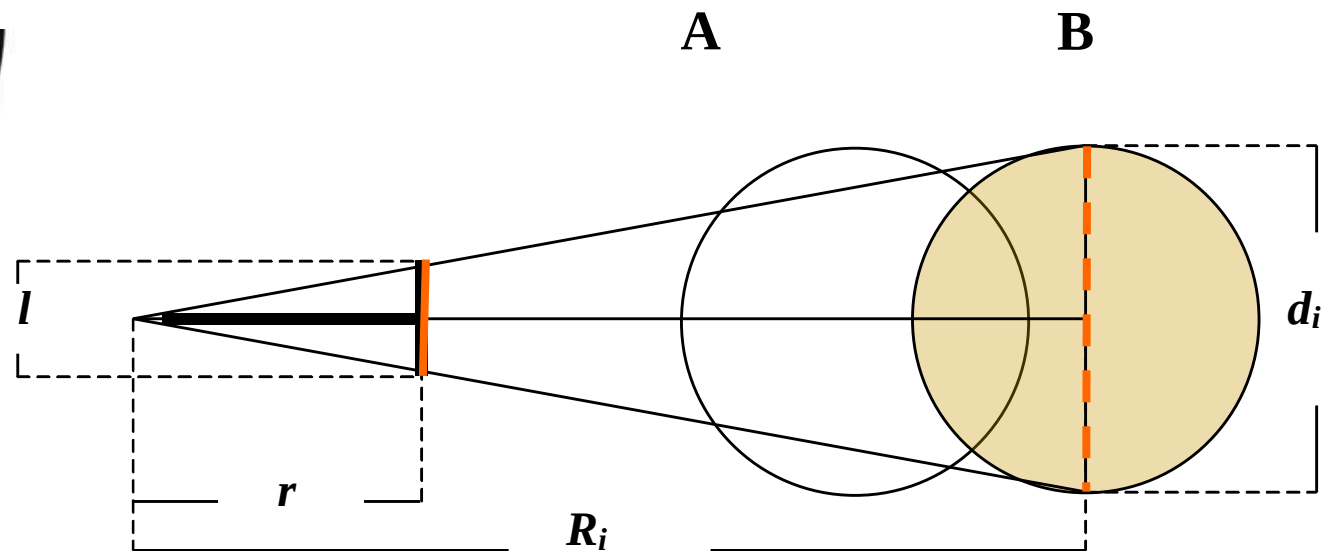
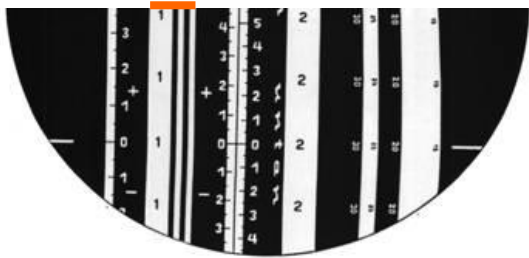
✓ O aparelho é composto por várias componentes:



(A) O diâmetro da árvore é aparentemente **superior** à largura da barra

■ O método de Bitterlich

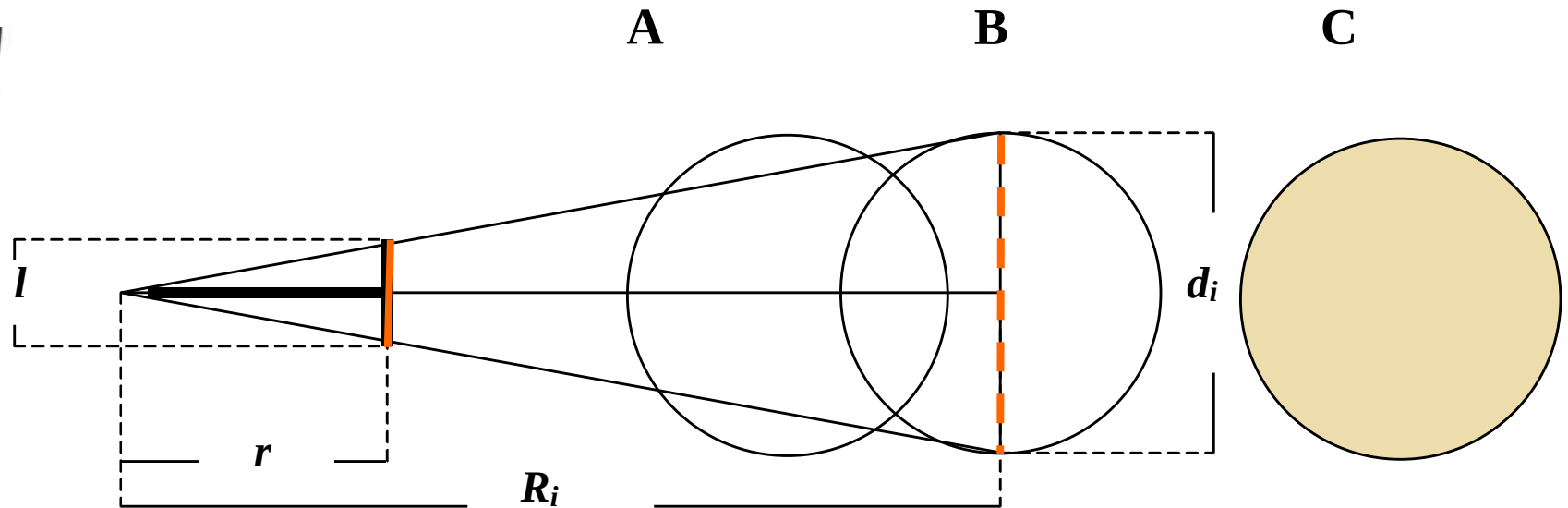
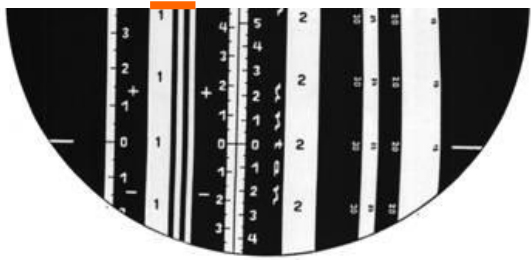
✓ O aparelho é composto por várias componentes:



- (A) O diâmetro da árvore é aparentemente superior à largura da barra
(B) O diâmetro da árvore é aparentemente igual à largura da barra

■ O método de Bitterlich

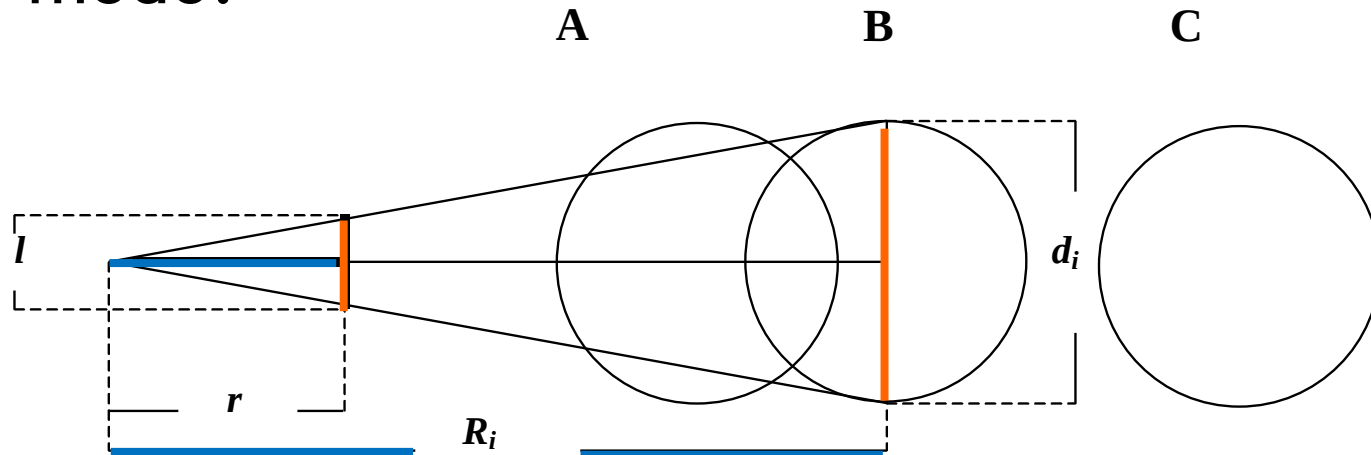
✓ O aparelho é composto por várias componentes:



- (A) O diâmetro da árvore é aparentemente superior à largura da barra
(B) O diâmetro da árvore é aparentemente igual à largura da barra
(C) O diâmetro da árvore é aparentemente inferior à largura da barra

■ O método de Bitterlich

- ✓ A posição B da figura anterior corresponde à chamada **distância radial limite para a árvore i** , a qual se pode calcular do seguinte modo:



$$\frac{d_i}{R_i} = \frac{l}{r} \Rightarrow R_i = d_i \frac{r}{l}$$

→ As posições A, B e C podem definir-se com base na distância radial limite e na distância do operador à árvore:

→ A: $\text{dist} < R_i \rightarrow$ árvore é contada (*vale 1*)

→ B: $\text{dist} = R_i \rightarrow$ árvore na posição limite (*vale 1/2*)

→ C: $\text{dist} > R_i \rightarrow$ árvore não é contada (*vale 0*)

▪ O método de Bitterlich

- ✓ No método de Bitterlich considera-se que a **cada árvore corresponde uma parcela** com um raio igual à correspondente **distância radial limite**
- ✓ A área basal da parcela correspondente à árvore i será:

$$g_i \text{ (m}^2\text{)} \quad \frac{\pi R_i^2}{10000}$$

$$g_i \text{ (m}^2\text{ha}^{-1}\text{)} \quad \frac{10000}{\pi R_i^2}$$

$$\boxed{g_i \text{ (m}^2\text{ha}^{-1}\text{)}} = 10000 \frac{\pi d_i^2}{4 \pi R_i^2} = \frac{10000}{4} \frac{\pi d_i^2}{\pi \left(d_i \frac{r}{l}\right)^2} = 2500 \left(\frac{l}{r}\right)^2 = \boxed{K \text{ m}^2\text{ha}^{-1}}$$

▪ O método de Bitterlich

- ✓ **K** designa-se por **fator de área basal** e o seu valor depende da **largura da banda** de referência (l)
- ✓ Se, a partir de um determinado ponto, contarmos **n** árvores, então a área basal do povoamento na vizinhança desse ponto é dada por:

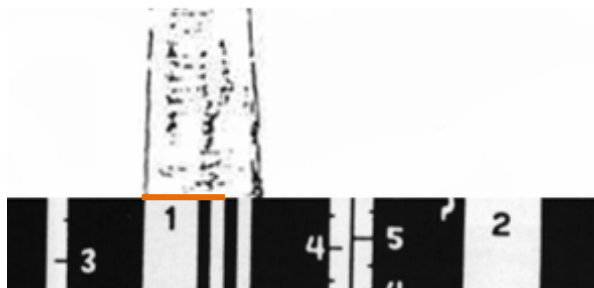
$$G = \sum_{i=1}^n g_i (m^2 ha^{-1}) = \sum_{i=1}^n K = Kn (m^2 ha^{-1}) \quad \text{com} \quad K = 2500 \left(\frac{l}{r} \right)^2$$

Procedimento para estimar a área basal do povoamento

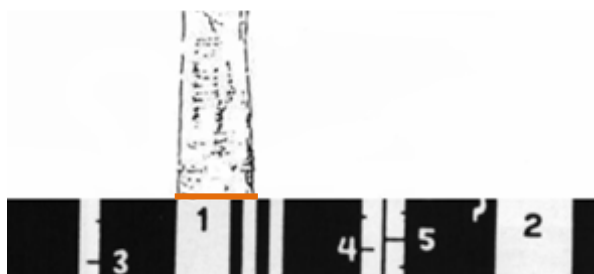
- Selecionar um ponto de partida
- Fazer um giro de 360° , comparar a largura do tronco de cada árvore com a largura da combinação de bandas previamente escolhida, contando as árvores que obedecem à condição
 - $d > l$ (sendo l a largura da combinação de bandas escolhida)
 - $d = l$ então a árvore vale $\frac{1}{2}$
 - Em medições de elevada precisão deverá medir-se a distância às árvores limite e decidir se a árvore é ou não contada
 - se $dist < Ri$, a árvore é contada

▪ Procedimento para estimar a área basal do povoamento

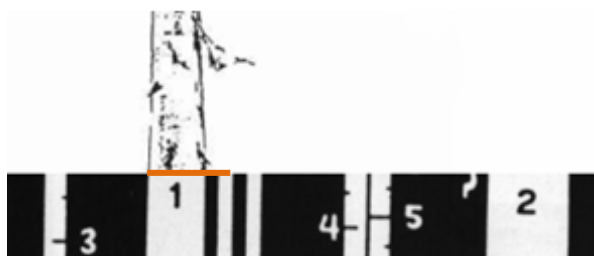
- ✓ Suponha que escolheu a combinação de bandas 1L+2e, então



árvore com dap **superior** à combinação de bandas escolhida, conta **1**



árvore com dap **igual** à combinação de bandas escolhida, conta **1/2**;



árvore com dap **inferior** à combinação de bandas escolhida, conta **0**

▪ Procedimento para estimar a área basal do povoamento

- ✓ Uma combinação de bandas corresponde a um ângulo de visão ou ângulo crítico

Combinação de bandas	Factor de área basal
1e	1/16
2e	1/4
3e	9/16
banda1	1
banda1+1e	1+9/16
banda2	2
banda1+2e	2+1/4
banda1+3e	3+1/16
banda1+4e	4

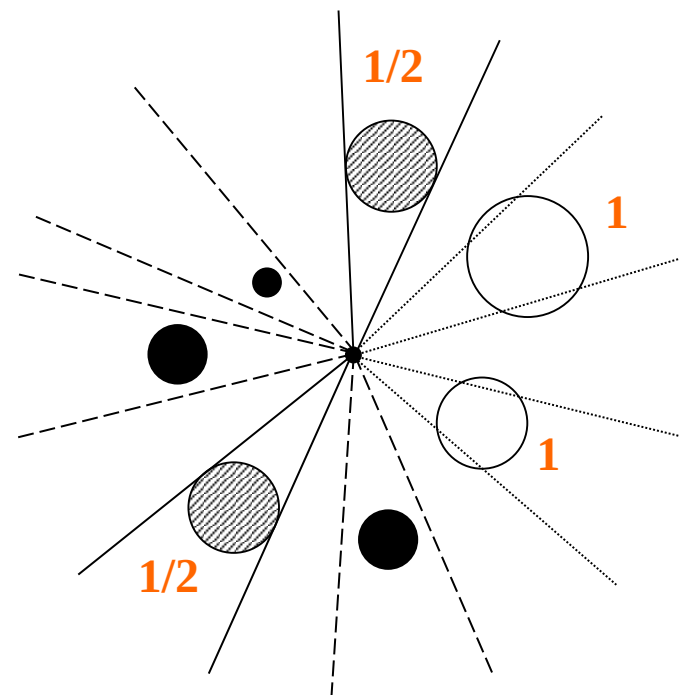
No exemplo as árvores a:

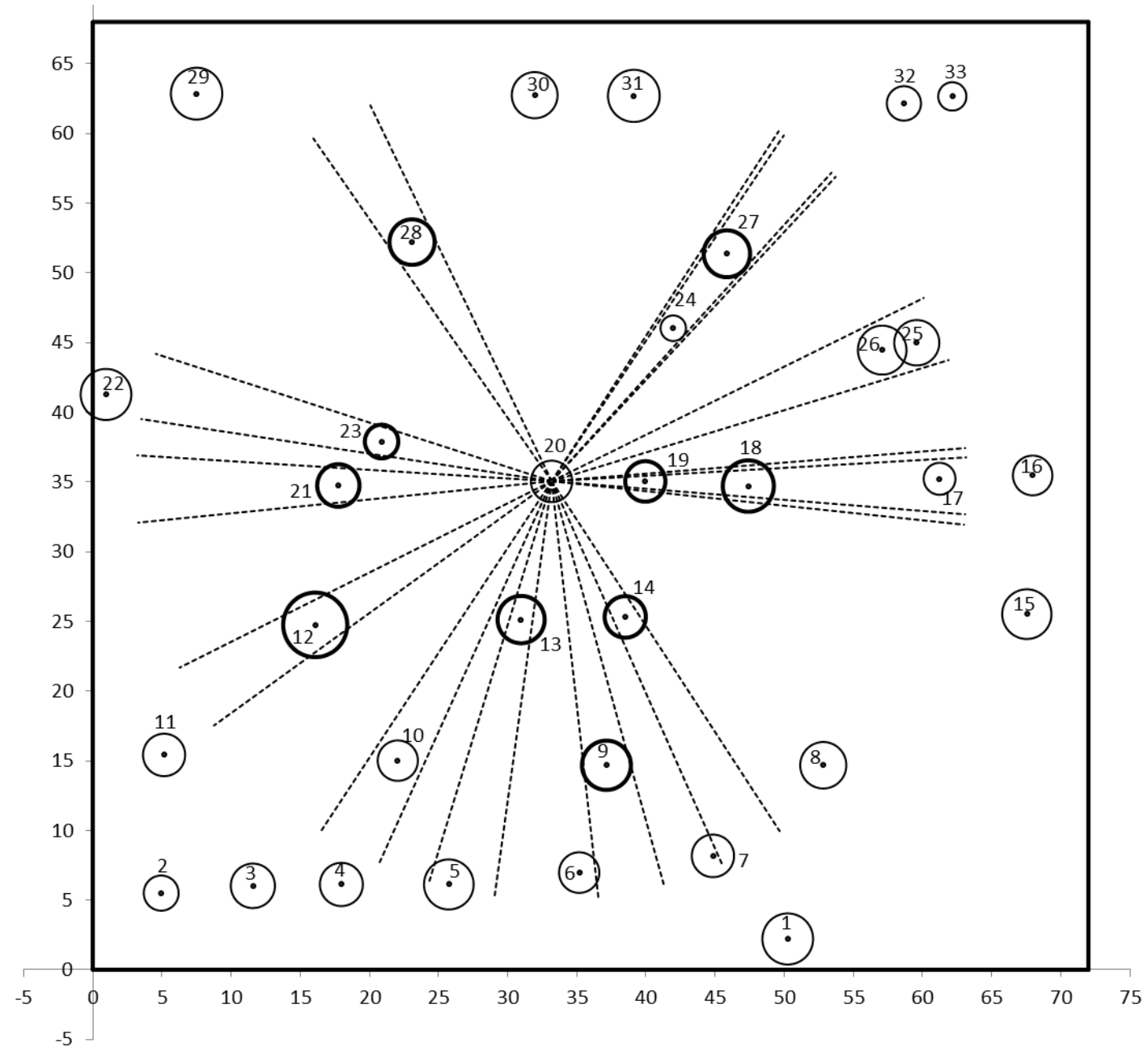
Preto - não contadas

Branco - conta 1

Cinza - árvores limite

A contagem dá 3 → $G = 3 K$





▪ Procedimento para estimar a área basal do povoamento

✓ Algumas regras a ter em conta:

- O número de árvores “contadas” num determinado giro deve estar entre 10 e 15
- Se se obtiver um número muito diferente destes valores, terá de se escolher uma nova combinação de bandas e repetir o processo
- Poucas árvores significa que se optou por uma combinação de bandas larga demais, resultando numa amostragem deficiente
- Um número de árvores muito elevado, significa que se optou por uma combinação de bandas estreita de mais

✓ Durante o mesmo giro a banda não pode ser alterada

▪ Procedimento para estimar a área basal do povoamento

- ✓ A área basal do povoamento é obtida multiplicando o n° de árvores pelo fator de área basal ($G = n K$)
- ✓ Supondo que realizou o giro com a combinação de bandas 1L+1e ($k=1+9/16$) e que contou 21 árvores com d superior à largura da combinação de bandas escolhida e 3 com largura igual, virá

N. arvores	Banda 1+1e				
> 1+1e					I
=1+1e	III				
N total	21+3/2=22.5				

- ✓ Logo $G = 22.5 (1+9/16) = 35.2 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$

▪ Procedimento para estimar o volume do povoamento

- ✓ O volume pode ser obtido pelo método das árvores modelo de Hartig (ou da altura formal média):

$$V = G \ hf_{media}$$

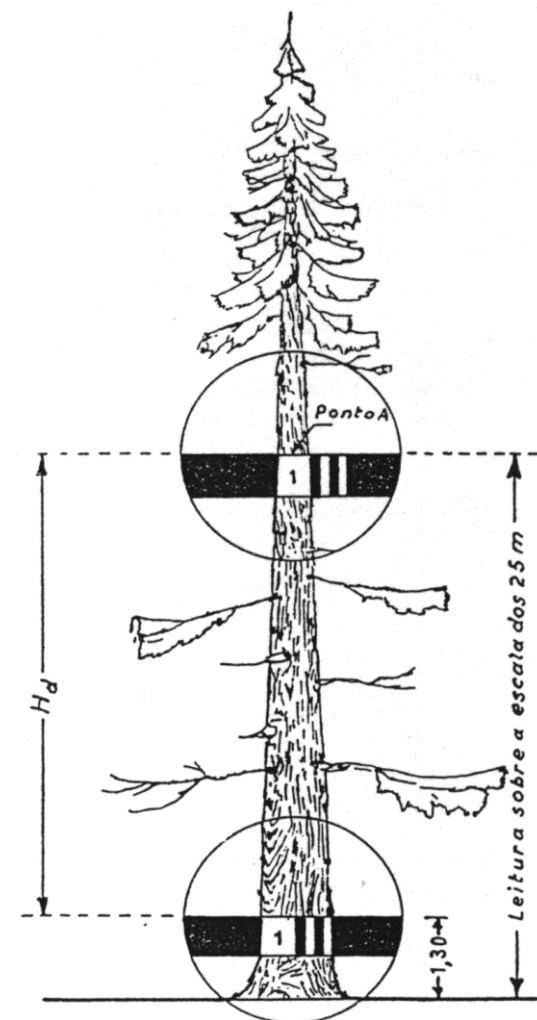
onde hf_{media} é a altura formal média

- ✓ A altura formal média pode ser obtida por medição de algumas árvores, geralmente as 3 mais próximas do ponto

$$(hf = k_B \ d \ (Ld/2 - Lbase))$$

- ✓ Suponhamos que a $hf_{media}=14.4$ então

$$V = 35.2 * 14.4 = 506.25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$$



▪ Procedimento para estimar o volume do povoamento

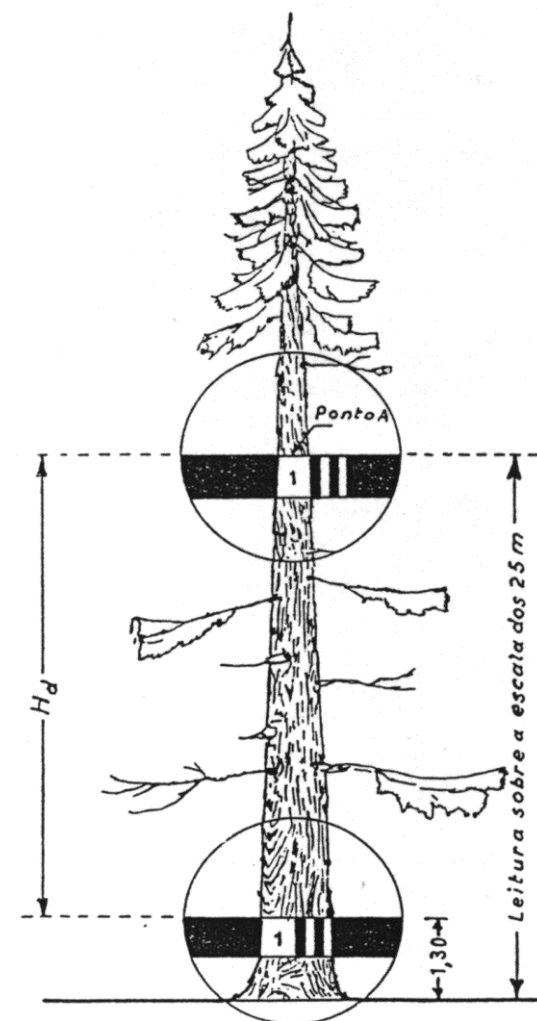
▣ Princípios do método da altura formal:

O operador deve escolher uma destas quatro combinações de bandas para proceder à leitura da altura ao nível do dap.

Depois deverá registar o valor da altura correspondente ao local do fuste cujo diâmetro iguale metade da largura da combinação de bandas escolhida.

Combinação de bandas		k_B
dap	d/2	
1L + 4 e	1L	2/3
1L + 2 e	3e	8/9
1L	2e	4/3
2e	1e	8/3

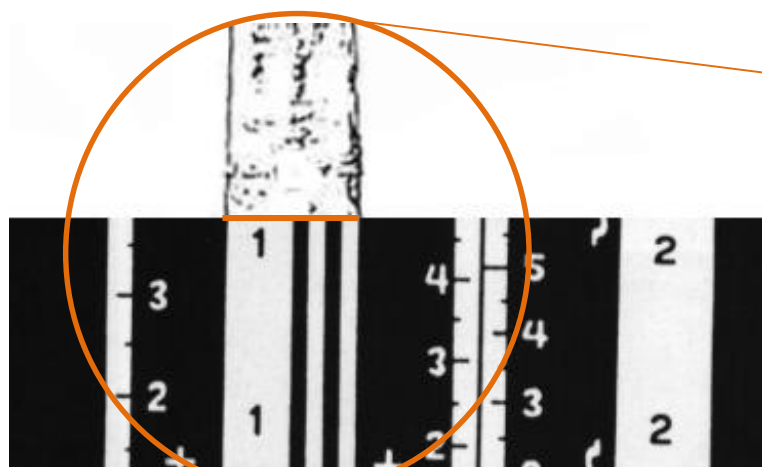
Este método NAO EXIGE que o operador se coloque a uma distância predeterminada da árvore a medir, contudo EXIGE que as leituras sejam sempre feitas na **escala dos 25 m**.



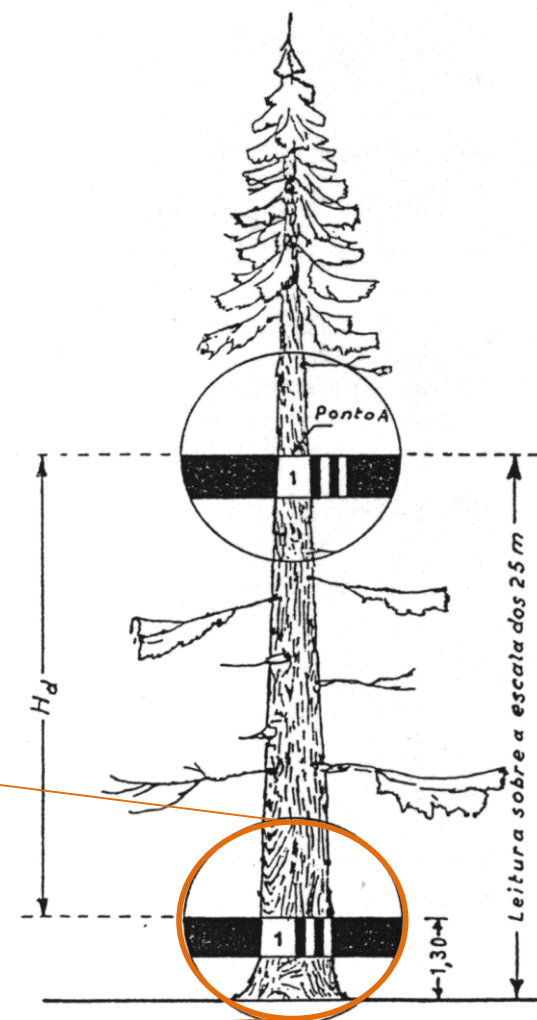
■ Procedimento para estimar o volume do povoamento

□ Princípios do método da altura formal:

- 1 - A partir de um qualquer ponto prima o botão das escalas para soltar o tambor e faça uma mirada para o nível do d
- 2 - Afaste-se ou aproxime-se da árvore de modo a fazer coincidir a largura do tronco à altura de 1.30 m com a largura de uma das 4 combinações de bandas do quadro anterior



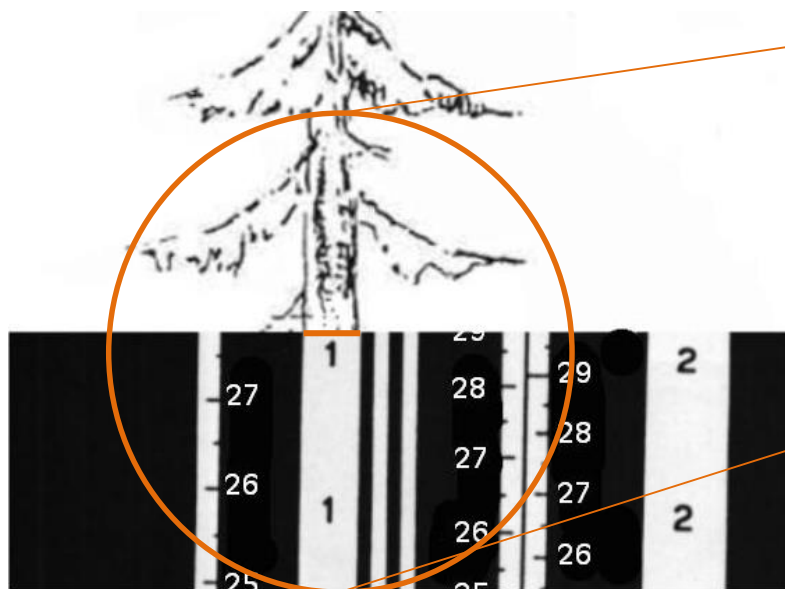
Neste exemplo a combinação de bandas escolhida para a comparação do diâmetro à altura do peito foi a primeira: 1L+4e. O valor é **Ld = 5**



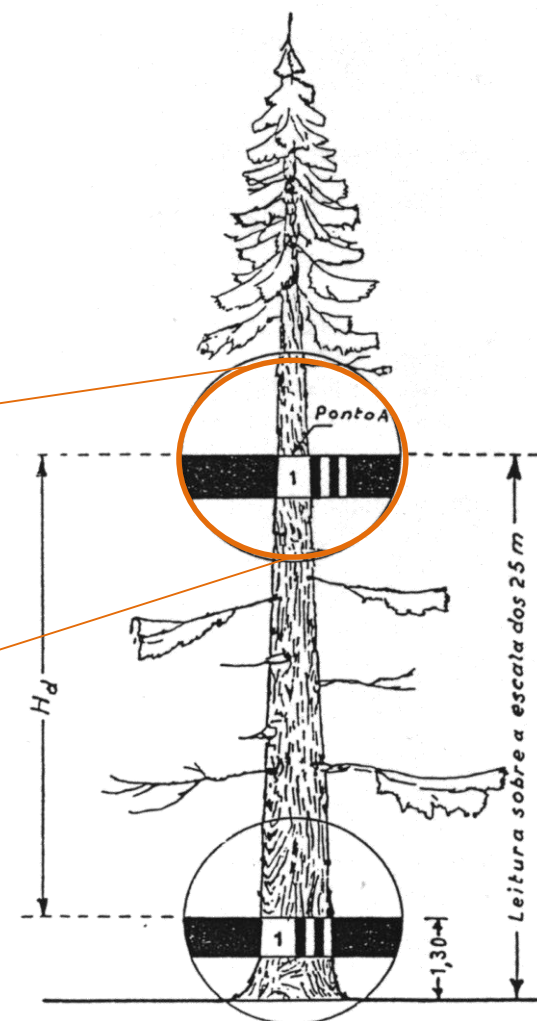
▪ Procedimento para estimar o volume do povoamento

▣ Princípios do método da altura formal:

- 3 - Prima o botão libertador do tambor e, faça pontaria ao longo do fuste até que metade da largura da combinação de bandas escolhida anteriormente coincida com o diâmetro do tronco
- 4 - Leia na escala dos 25 m o valor da leitura da altura que correspondente a metade da leitura do diâmetro ($Ld/2$)



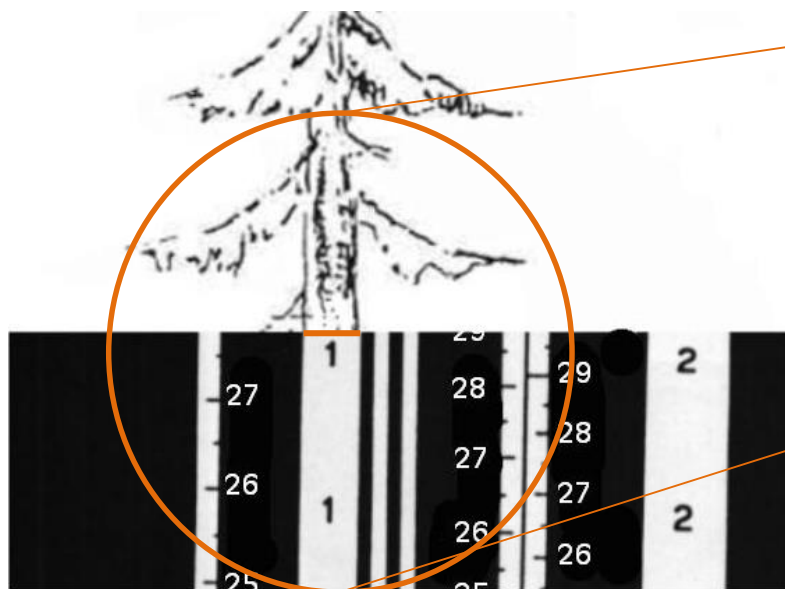
Neste exemplo a combinação de bandas escolhida para comparar o diâmetro à altura do peito foi 1L+4e, portanto, metade desta largura será 1L ou 4e. O valor é **$Ld/2 = 29$**



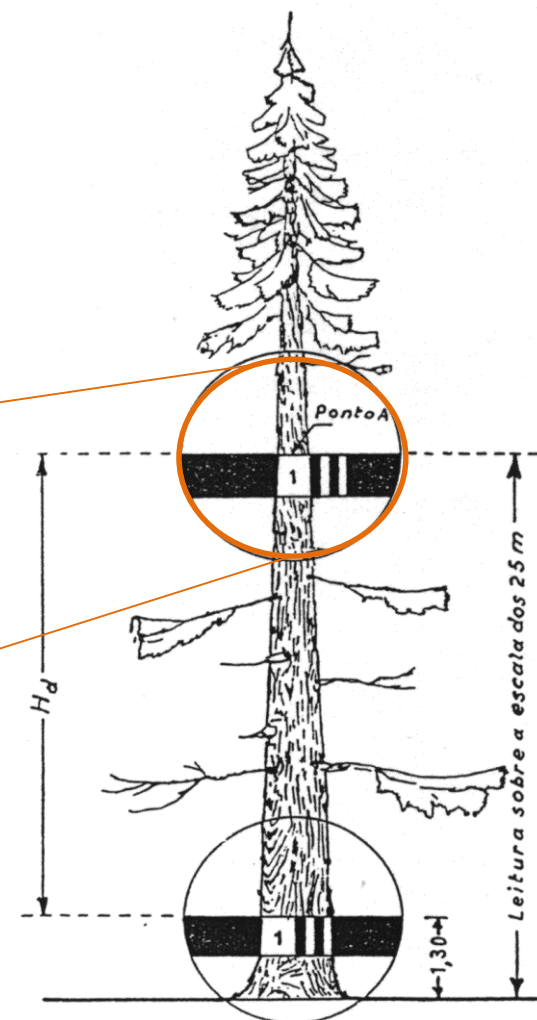
▪ Procedimento para estimar o volume do povoamento

▣ Princípios do método da altura formal:

- 3 - Prima o botão libertador do tambor e, faça pontaria ao longo do fuste até que metade da largura da combinação de bandas escolhida anteriormente coincida com o diâmetro do tronco
- 4 - Leia na escala dos 25 m o valor da leitura da altura que correspondente a metade da leitura do diâmetro ($Ld/2$)



Neste exemplo a combinação de bandas escolhida para comparar o diâmetro à altura do peito foi 1L+4e, portanto, metade desta largura será 1L ou 4e. O valor é **$Ld/2 = 29$**



▪ Procedimento para estimar o volume do povoamento

▣ Princípios do método da altura formal:

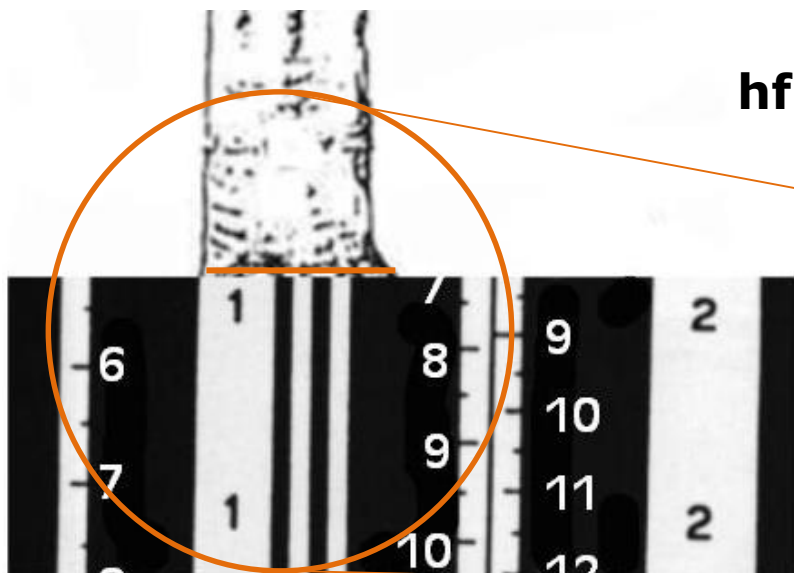
5 - Faça uma mirada para a base da árvore (L_{base}) pressionando o botão libertador do tambor das escalas e registre o valor da leitura na escala dos 25 m

6 - Neste exemplo tendo obtido as seguintes leituras:

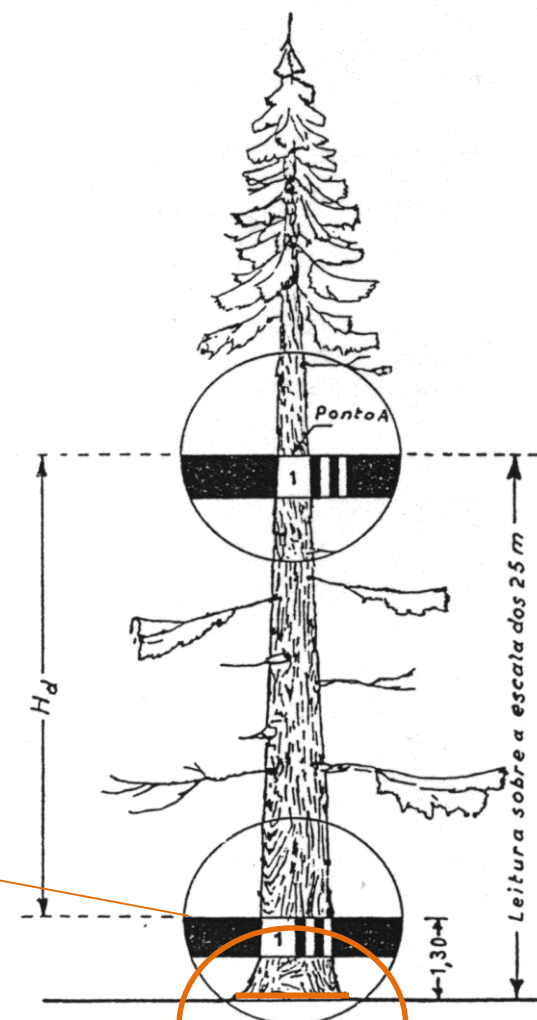
$$L_{d/2} = +29 \quad L_{base} = -7$$

$d = 30$ cm (medido com a suta em m)

$$h_f = \frac{2}{3} 0.30 (29 - (-7)) = 14.4 \text{ m}$$



Neste exemplo o valor da leitura ao nível da base é $L_{base} = -7$



Avaliação da altura dominante

- A altura dominante está sempre associada a uma média das alturas das árvores maiores do povoamento existindo, como vimos, inúmeras definições alternativas
- Algumas são fáceis de utilizar em amostragem pontual horizontal, como é o caso da **altura dominante** geralmente designada por **biológica**, que se define como a média das árvores dominantes e codominantes do povoamento
- A definição mais seguida em Portugal, e que corresponde à média das 100 árvores mais grossas por ha, não é contudo de aplicação directa em amostragem pontual, uma vez que a esta não está associada nenhuma parcela com área definida

▪ Avaliação da altura dominante

- ✓ Pollanschutz (1974) sugere que com um fator de área basal igual a 4 se deveriam utilizar 3 árvores para o cálculo da altura dominante, mas esta definição é demasiado simplista
- ✓ Um método mais geral será a utilização do número de árvores para uma área correspondente à distância radial limite para a maior árvore contada no giro de horizonte
- ✓ O cálculo da altura dominante com o método de Bitterlich não é consensual

▪ Avaliação de $N \text{ ha}^{-1}$

- ✓ Admitamos que as árvores de um povoamento têm todas a mesma área basal g_i . Então o número de árvores dessa dimensão por ha pode obter-se a partir de:

$$G_i = N_i g_i \quad \longrightarrow \quad N_i = \frac{G_i}{g_i} = \frac{K n_i}{g_i}$$

onde n_i é o número de árvores contadas com diâmetro d_i . Pode então concluir-se que uma árvore de diâmetro d_i e área basal g_i equivale a K/g_i árvores por ha

- ✓ O número de árvores por ha num ponto de estação em que, usando o fator de área basal K , se contaram n árvores, vem:

$$N = \sum_{i=1}^n N_i = K \sum_{i=1}^n \frac{1}{g_i}$$

▪ Avaliação de qualquer variável por ha

- ✓ O número de árvores por ha correspondente à árvore i é

$$N_i = \frac{K}{g_i} \qquad Y = \sum_{i=1}^n N_i y_i = \sum_{i=1}^n \frac{K}{g_i} y_i = K \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{g_i}$$

- ✓ Uma variável Y pode então obter-se como:

$$Y = \sum_{i=1}^n N_i Y_i = \sum_{i=1}^n \frac{K}{g_i} Y_i = K \sum_{i=1}^n \frac{Y_i}{g_i}$$

onde Y_i é o valor medido para Y na árvore i e n é o número de árvores contadas

▪ Parcelas *versus* pontos de Bitterlich

✓ Vantagens da amostragem pontual

- A amostragem pontual dá **melhores estimativas para a área basal por ha**, bem como para as variáveis que estão fortemente correlacionadas com a área basal, como é o caso do volume por ha (visto as árvores serem selecionadas proporcionalmente à sua área basal)
- Na amostragem pontual, **não é necessário medir os diâmetros** para se obter a **área basal**, basta uma simples contagem, embora a avaliação de outras variáveis do povoamento (inclusive a densidade) exija a medição dos diâmetros
- Basta **uma só pessoa** para fazer visitas rápidas de reconhecimento

▪ Parcelas *versus* pontos de Bitterlich

✓ Vantagens da amostragem por parcelas

- É mais adequada para a **avaliação do número de árvores por ha** ou para a distribuição de diâmetros
- Em **inventário florestal contínuo** a amostragem por parcelas é preferível, uma vez que na amostragem pontual as árvores amostradas em duas medições sucessivas não são as mesmas; na segunda medição há um maior número de árvores amostradas em consequência do seu crescimento em diâmetro
- Na amostragem pontual os **requisitos intelectuais** são maiores do que na amostragem por parcelas, exigindo treino intenso, e equipas mais qualificadas

- Equações para as principais espécies florestais em Portugal

▪ Equações a usar para as principais espécies de Portugal

- ✓ Devem utilizar-se as equações do Inventário Florestal Nacional e que podem ser vistas no texto dos Exercícios para apoio à UC de Inventário Florestal (Tomé, 2020)
- ✓ Claro que podem ser desenvolvidas equações específicas para o “nosso” caso particular, mas, por questões práticas, isso só costuma ser feito para as relações hipsométricas

- **Referências bibliográficas**

■ Referências bibliográficas (1)

- ✓ Tomé M, 2001. Tabela geral de produção para o pinheiro bravo em Portugal. Relatórios técnico-científicos do GIMREF nº 7/2001. Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- ✓ Luís JFS, Fonseca TF, 2004. The allometric model in the stand density management of *Pinus pinaster* Ait. in Portugal. Ann. For. Sci. 61: 807-814.
- ✓ Tomé M, Faias SP, Tomé J, Cortiçada A, Soares P, Araújo C, 2004. Hybridizing a stand level process-based model with growth and yield models for *Eucalyptus globulus* plantations in Portugal. In: Borralho, N. M. G., Pereira, J. S., Marques, C., Coutinho, J., Madeira, M., Tomé, M. (ed.), *Eucalyptus* in a changing world. Proc. Iufro Conf., Aveiro, 11-15 Oct. (RAIZ, Instituto de Investigação da Floresta e do Papel, Portugal), pp.290-297.
- ✓ Fonseca T, Monteiro L, Enes T, Cerveira A, 2017. Self-thinning dynamics in cork oak woodlands: providing a baseline for managing density. Forest Systems 26(1), e006.
- ✓ Marques CP, 1991. Evaluating Site Quality of Even-aged Maritime Pine Stands in Northern Portugal Using Direct and Indirect Methods. For. Ecol. Manage. 41:193-204.
- ✓ Tomé M, Soares P, Ribeiro F, 2001. O modelo GLOBULUS 2.1. Relatórios técnico-científicos do GIMREF, nº 1/2001. Centro de Estudos Florestais, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- ✓ Gomes AMA, 1957. Medição dos Arvoredos. Coleção “A Terra e o Homem”, nº 30. Livraria Sá da Costa, Lisboa, 413 pp.

A landscape photograph showing rows of green, rounded bushes or small trees planted in a field. The ground is light-colored and sandy. In the background, there are more trees and a cloudy sky. A white starburst graphic is overlaid in the center of the image.

Dúvidas?