

Engenharia Florestal - ESALQ - USP

LCF1680 Manejo e Regeneração de Povoamentos Florestais

Profa. Luciana Duque Silva

Aula sobre

Índice de Sítio

by João L. F. Batista (batista.jlf@usp.br)

on 27 de agosto de 2026

» Sumário

I. Conceitos:

- Sítio
- Índice de Sítio
- Curvas de Sítio

II. Métodos de Construção:

- Método da Curva Guia
- Método da Equação da Diferença

Slideshow e exercícios disponíveis em:

Site: <http://insilvaarbores.com.br>

Menu: Cursos e Disciplinas > Disciplinas > LCF1680

» Conceito de Sítio

O que é?

- Sítio = Local
- capacidade de um dado local de sustentar o crescimento das árvores.
- indica o potencial de produção do local
- resume/integra a ação de todos os fatores ambientais
- depende da espécie arbórea: resposta fenotípica

Atributo?

- do local
- do conjunto ou grupo de árvores no local
- do *arvoredo*

» Conceito de Sítio

Sítio no Espaço

- Caracterização do sítio no espaço
- ***Heterogeneidade ambiental*** da floresta
- Influência do ambiente sobre a produção florestal

Qual Medida Representa o Sítio?

- produção de madeira do arvoredado ?
- biomassa arbórea do arvoredado ?
- área basal do arvoredado ?
- DAP médio ?
- altura média ?
- ***altura média das árvores dominantes*** ?

» Conceito de Índice de Sítio

Altura Média das Árvores Dominantes:

- Uma forma de representação *quantitativa* do sítio
- Permite representar a variação ambiental de local para local.
- indica o potencial de crescimento
- é pouco influenciada pela densidade de estande
- *mas*, varia com a idade do arvoredo

Idade Fixa

- Se fixarmos a idade
 - ⇒ a altura dominante passa a ser a medida do sítio
 - ⇒ a medida é **SEMPRE** referente a uma idade fixa
- Idade de Referência, Idade Índice ou Idade Base
 - ⇒ $HDOM = \underline{\text{ÍNDICE DE SÍTIO}}$

» Definição de Índice de Sítio

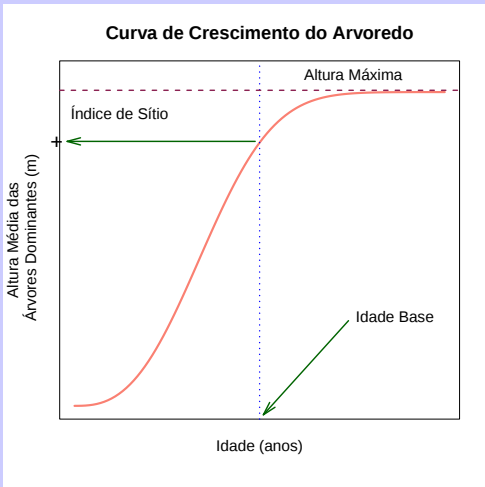
O *índice de sítio* é a altura média das árvores dominantes de um arvoredo na *idade base*.

Exemplos de Idade Base

- Eucalipto: ≈ 5 anos
- Pinus: entre 15 e 20 anos
- Acácia ≈ 5 anos
- Paricá ≈ 5 anos
- Teca: entre 4 e 12 anos

» Definição de Índice de Sítio

Curva de Crescimento da Altura Média das Dominantes



» As Curvas de Sítio

Curvas de Crescimento

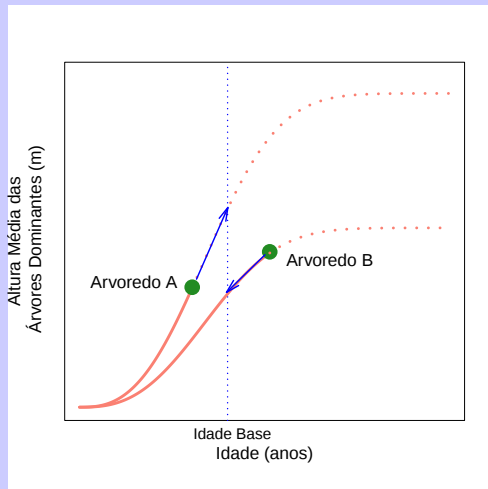
- As curvas de sítio são curvas de crescimento
 - ⇒ da altura média das árvores dominantes (H_D)
 - ⇒ em função da idade do arvoredo (I)
 - ⇒ definidas para cada sítio
- Na Idade Base (I_B):
 - ⇒ Cada curva indica o respectivo *Índice de Sítio* (S)
- Elas formam um conjunto de curvas de crescimento

Cada arvoredo da floresta

- pode ser mais velho que a idade base ($I > I_B$)
- pode ser mais novo que a idade base ($I < I_B$)
- é classificado segundo a curva de sítio a que pertence
- recebe o respectivo *Índice de Sítio*

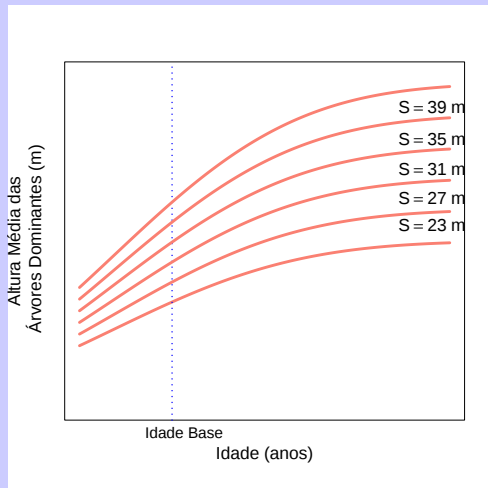
» As Curvas de Sítio

Arvoredos e Idade Base



» As Curvas de Sítio

Conjunto de Curvas de Sítio



» Método da Curva Guia

Consistem em:

1. Escolher um *modelo de crescimento*: $H_D = f(I)$
2. Ajustar uma *curva média* para esse modelo
3. Definir a I_B :

$$I = I_B \quad \implies \quad H_D = S$$

4. Definir o *parâmetro* (β_k) do modelo que representa o índice de sítio (S)

$$\beta_k \Rightarrow S$$

» Método da Curva Guia

Consistem em:

5. Substituir o β_k pelo S no modelo de crescimento re-escrevendo-o de modo que para cada S ele represente uma curva diferente:

$$H_D = f(I, S, I_B)$$

6. O S é obtido em função da H_D e I para cada arvoredor:

$$S = f(H_D, I, I_B)$$

» Método da Curva Guia

Aplicação do Método

1. Modelo de Schumacher

$$\ln(H_D) = \beta_0 + \beta_1 I^{-1} + \varepsilon$$

2. Ajustar a curva média:

$$\widehat{\ln(H_D)} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 I^{-1}$$

3. Idade Base: $I_B = 5$

$$\ln(S) = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 I_B^{-1}$$

4. O intercepto ($\hat{\beta}_0$) do modelo de Schumacher representa o sítio

$$\hat{\beta}_0 = \ln(S) - \hat{\beta}_1 I_B^{-1}$$

» Método da Curva Guia

Aplicação do Método

5. Modelo de crescimento de altura em função do Sítio

$$\widehat{\ln(H_D)} = \left[\hat{\beta}_0 \right] + \hat{\beta}_1 I^{-1}$$

$$\widehat{\ln(H_D)} = \left[\ln(S) - \hat{\beta}_1 I_B^{-1} \right] + \hat{\beta}_1 I^{-1}$$

$$\widehat{\ln(H_D)} = \ln(S) + \hat{\beta}_1 (I^{-1} - I_B^{-1})$$

6. Em cada arvoredor, o S é obtido da H_D e I :

$$\widehat{\ln(S)} = \ln(H_D) - \hat{\beta}_1 (I^{-1} - I_B^{-1})$$

» Método da Curva Guia

Definições Práticas

- Definição das classes de sítio:

Classe	Amplitude da Altura Média das Arv. Dominantes	Sítio (S)
I	22 a 24	23
II	24 a 26	25
III	26 a 28	27
IV	28 a 30	29
V	30 a 32	31

- Se o índice de sítio (S) de uma parcela variar com a idade, fixa-se na idade mais próxima da idade base.

» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Curva de Sítio

Modelo de Schumacher:

$$\ln(H_D) = \beta_0 + \beta_1 I^{-1} + \varepsilon$$

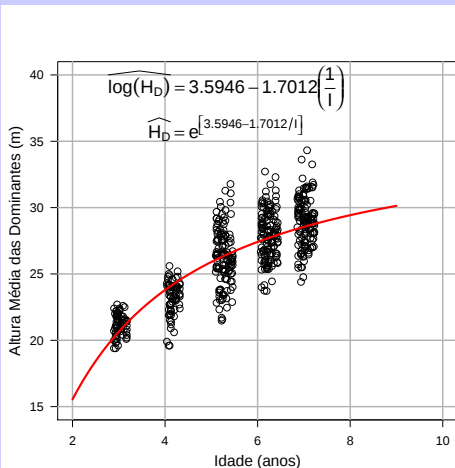
Modelo Ajustado:

$$\widehat{\ln(H_D)} = 3.5946 - 1.7012 I^{-1}$$

$$\widehat{H_D} = \exp [3.5946 - 1.7012/I]$$

» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Curva de Sítio



» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Curvas de Sítio

- Modelo do Conjunto de Curvas de Sítio:

$$\widehat{\ln(H_D)} = \ln(S) + \hat{\beta}_1 (I^{-1} - I_B^{-1})$$

- Modelo Ajustado:

$$\widehat{\ln(H_D)} = \ln(S) - 1.7012 (I^{-1} - 5^{-1}),$$

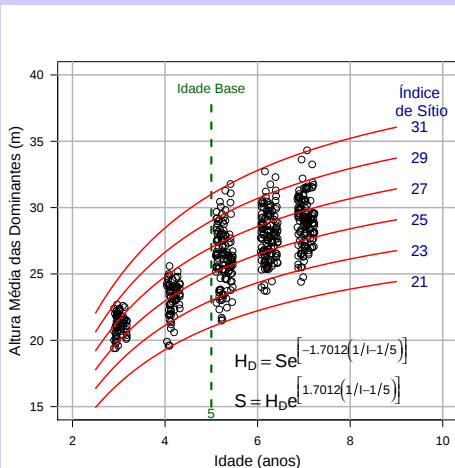
- Curvas de Sítio:

$$\widehat{H_D} = S \exp [-1.7012 (I^{-1} - 5^{-1})]$$

$$S = 23, 25, 27, 29, 31, 33$$

» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Curva de Sítio



» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Aplicação a um Arvoredo

- Exemplo de arvoredo:
 - ⇒ altura média das dominantes de 23,5 *m*
 - ⇒ idade de 4,3 *anos*.

- Curvas de sítio:

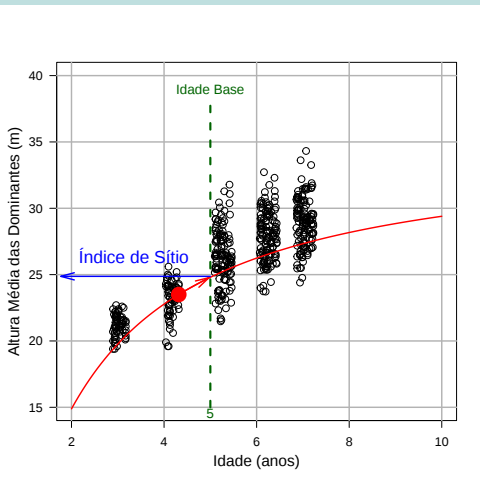
$$\widehat{H}_D = S \exp \left[-1.7012 (I^{-1} - 5^{-1}) \right]$$

- Predição do Índice de sítio:

$$\begin{aligned} \widehat{S} &= H_D / \exp \left[-1.7012 (I^{-1} - 5^{-1}) \right] \\ &= 23,5 / \exp \left[-1.7012 ((4,3)^{-1} - 5^{-1}) \right] \\ \widehat{S} &= 24,83 \approx 25 \text{ m} \end{aligned}$$

» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Aplicação a um Arvoredo



» Método da Equação da Diferença

Método

1. Modelo de Schumacher:

$$\ln(H_D) = \beta_0 + \beta_1 I^{-1} + \varepsilon$$

2. Dados com remedições: pares de medições

$$(I_1, I_2) \Leftrightarrow (H_{D1}, H_{D2})$$

3. Transforma o modelo para diferenças algébricas:

$$\ln(H_{D2}) = \beta_0 + \beta_1 I_2^{-1}$$

$$-\ln(H_{D1}) = \beta_0 + \beta_1 I_1^{-1}$$

$$\ln(H_{D2}) - \ln(H_{D1}) = [\beta_0 + \beta_1 I_2^{-1}] - [\beta_0 + \beta_1 I_1^{-1}]$$

$$\ln(H_{D2}) - \ln(H_{D1}) = \beta_1 [I_2^{-1} - I_1^{-1}]$$

» Método da Equação da Diferença

Método

4. Ajusta o modelo transformado

$$[\ln(\widehat{H_{D2}}) - \ln(H_{D1})] = \hat{\beta}_1 [I_2^{-1} - I_1^{-1}]$$

5. Utiliza o modelo ajustado para estimar H_{D2} em função de H_{D1} :

$$\ln(\widehat{H_{D2}}) = \ln(H_{D1}) + \hat{\beta}_1 [I_2^{-1} - I_1^{-1}]$$

6. Se $I_2 = I_B$ então $\ln(\widehat{H_{D2}}) = \ln(\widehat{S})$:

$$\ln(\widehat{S}) = \ln(H_{D1}) + \hat{\beta}_1 [I_B^{-1} - I_1^{-1}]$$

» Método da Equação da Diferença

Método

7. Modelo para o conjunto de Curvas de Sítio:

$$\widehat{\ln(H_D)} = \ln(S) + \hat{\beta}_1 [I^{-1} - I_B^{-1}]$$

$$\widehat{H_D} = S \exp \left[\hat{\beta}_1 (I^{-1} - I_B^{-1}) \right]$$

$$S = 23, 25, 27, 29, 31, 33$$

8. Em cada arvoredor, o S é predito por:

$$\widehat{\ln(S)} = \ln(H_D) - \hat{\beta}_1 [I^{-1} - I_B^{-1}]$$

$$\hat{S} = H_D / \exp \left[\hat{\beta}_1 (I^{-1} - I_B^{-1}) \right]$$

» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Curvas de Sítio

Modelo de Schumacher:

$$\ln(H_D) = \beta_0 + \beta_1 I^{-1} + \varepsilon$$

$$\ln(H_{D2}) - \ln(H_{D1}) = \beta_1 [I_2^{-1} - I_1^{-1}] + \varepsilon$$

Modelo Ajustado:

$$[\widehat{\ln(H_{D2}) - \ln(H_{D1})}] = -1.6650 [I_2^{-1} - I_1^{-1}]$$

» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Curvas de Sítio

Modelo do Conjunto de Curvas de Sítio:

$$\widehat{\ln(H_D)} = \ln(S) + \hat{\beta}_1 (I^{-1} - I_B^{-1})$$

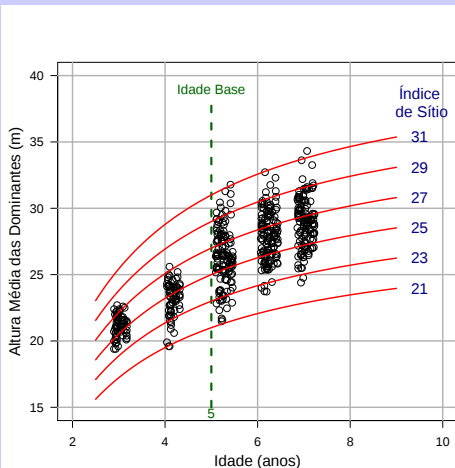
Modelo Ajustado

$$\widehat{\ln(H_D)} = \ln(S) - 1.6650 (I^{-1} - 5^{-1})$$

$$\widehat{H_D} = S \exp [-1.6650 (I^{-1} - 5^{-1})]$$

» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Método da Equação da Diferença



» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Aplicação a um Arvoredo

- Exemplo de arvoredo:
 - ⇒ altura média das dominantes de 23,5 *m*
 - ⇒ idade de 4,3 *anos*.
- Curvas de sítio:

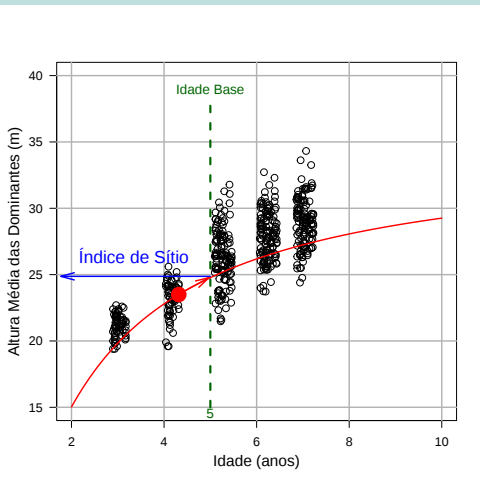
$$\widehat{H}_D = S \exp \left[-1.6650 \left(I^{-1} - 5^{-1} \right) \right]$$

- Predição do Índice de Sítio:

$$\begin{aligned} \widehat{S} &= H_D / \exp \left[1.6650 \left(I^{-1} - 5^{-1} \right) \right] \\ &= 23,5 / \exp \left[1.6650 \left((4,3)^{-1} - 5^{-1} \right) \right] \\ \widehat{S} &= 24,81 \approx 25 \text{ } m \end{aligned}$$

» Exemplo: Floresta de *Eucalyptus grandis*

Aplicação a um Arvoredo



» Há Diferença entre os Métodos?

Aplicação a um Arvoredo

- Arvoredo:
 - ⇒ altura média das dominantes de 23,5 *m*
 - ⇒ idade de 4,3 *anos*.
- Os dois métodos produziram o mesmo resultado prático:
 - ⇒ Método da Curva Guia: $S = 25 \text{ m}$
 - ⇒ Método da Equação da Diferença: $S = 25 \text{ m}$
- Qual a diferença entre os métodos?

» Há Diferença entre os Métodos?

Método da Curva Guia

- Ajuste de uma “*curva média*” na relação idade $\times$ altura
- Não requer levantamentos com *remedição* das parcelas
- Basta os dados de um único Inventário Florestal
 - ⇒ em locais diferentes
 - ⇒ em florestas com idades diferentes
- A *curva média* implica:
 - ⇒ *tendência geral atemporal*: sem variação temporal
 - ⇒ *confundimento* da variação temporal e espacial

» Há Diferença entre os Métodos?

Método da Equação da Diferença

- Somente levantamentos
 - ⇒ com *remedição* das parcelas *permanentes*
 - ⇒ *Inventário Florestal Contínuo*
- O método ajusta
 - ⇒ uma taxa média de crescimento ao longo do tempo

$$[\widehat{\ln(H_{D2}) - \ln(H_{D1})}] = \widehat{\beta_1} [I_2^{-1} - I_1^{-1}]$$

- O método
 - ⇒ é mais exigente nos *dados necessários*
 - ⇒ produz *modelos mais realistas*

» FIM

Obrigado pela atenção!