



SEM0104 - Aula 11

Mecanismos de Deslizamento - Cames

Prof. Assoc. Marcelo Becker

USP - EESC - SEM

LabRoM

Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Sumário da Aula

- **Introdução**

- Seguidores
- Diagramas de Deslocamento
- Projeto de Perfis
- Software
- Exercícios
- Bibliografia Recomendada

Introdução

Cames

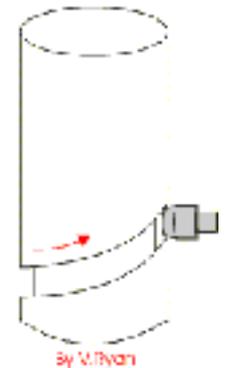
- Mecanismo cujo perfil determina o tipo de movimento do seguidor (intermitente)
- 2 tipos: Cilíndrico e Disco



ker - SEM - EES - USP



Disco

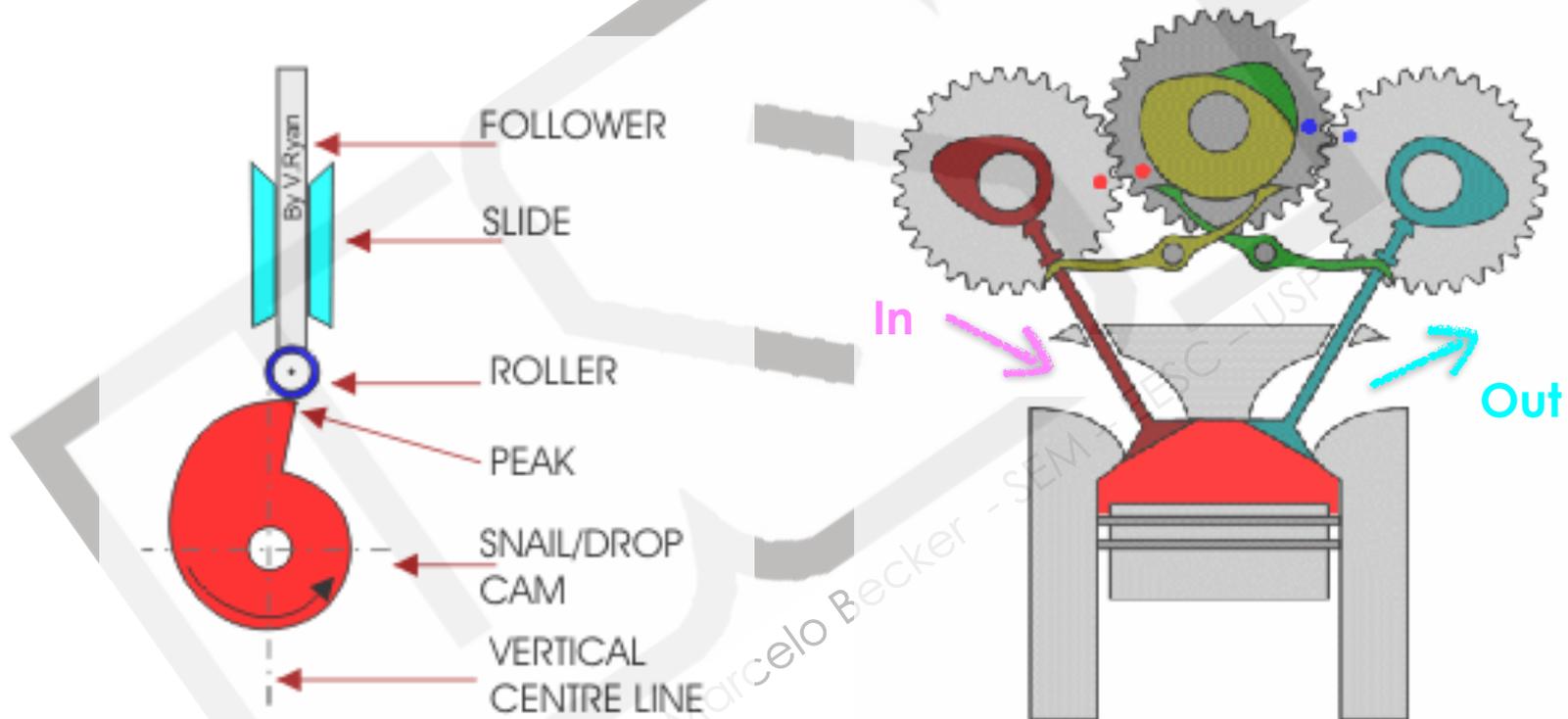


Cilíndrico

Introdução

Cames

- Como funciona um came com disco?

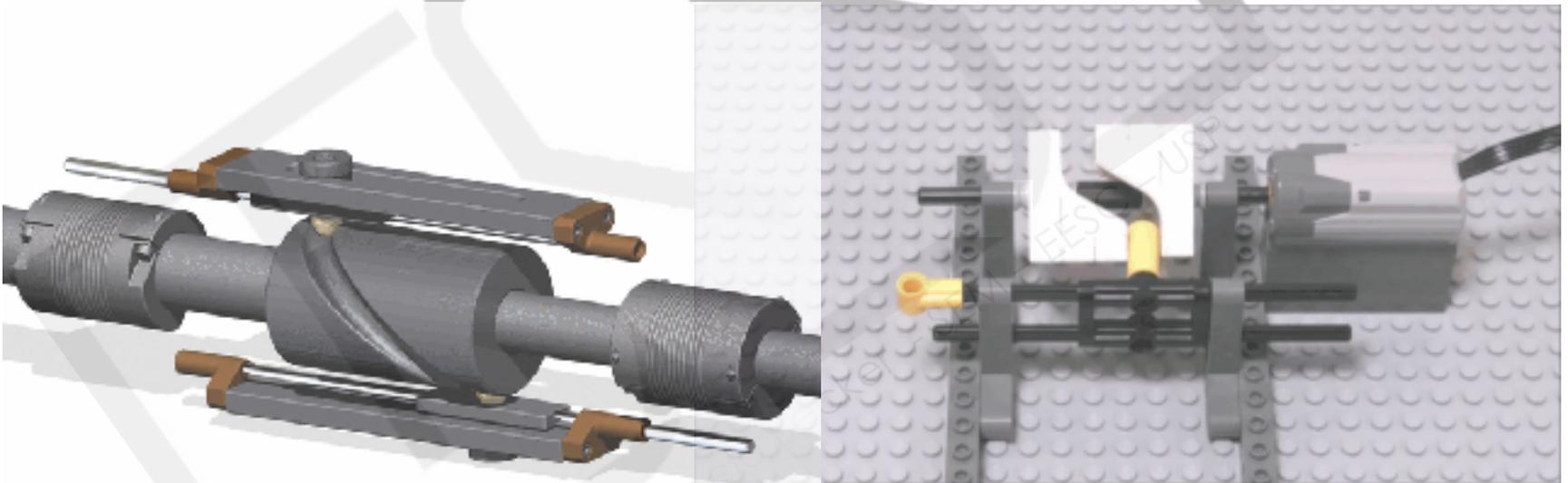


<http://giphy.com/gifs/>

Introdução

Cames

- Como funciona um came cilíndrico?

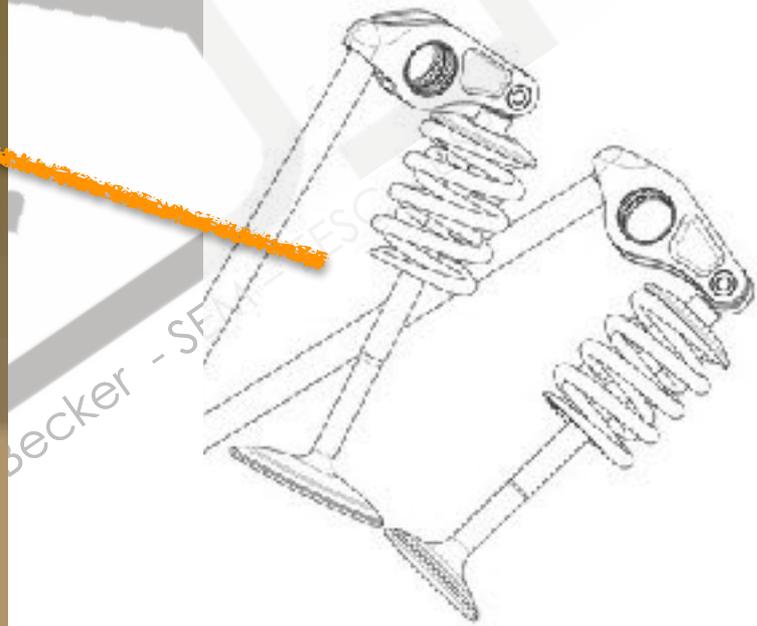
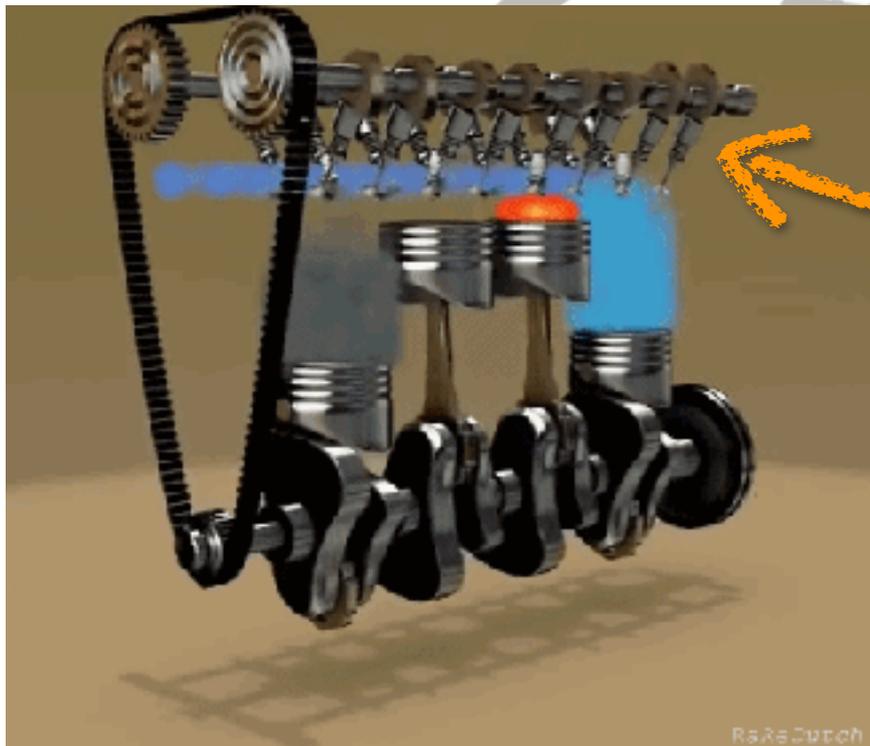


<http://giphy.com/gifs/>

Introdução

Cames

- Uso de molas para manter contato entre came e seguidor



<http://giphy.com/gifs/>

Sumário da Aula

-
- **Seguidores**
- Diagramas de Deslocamento
- Projeto de Perfis
- Software
- Exercícios
- Bibliografia Recomendada

Seguidores

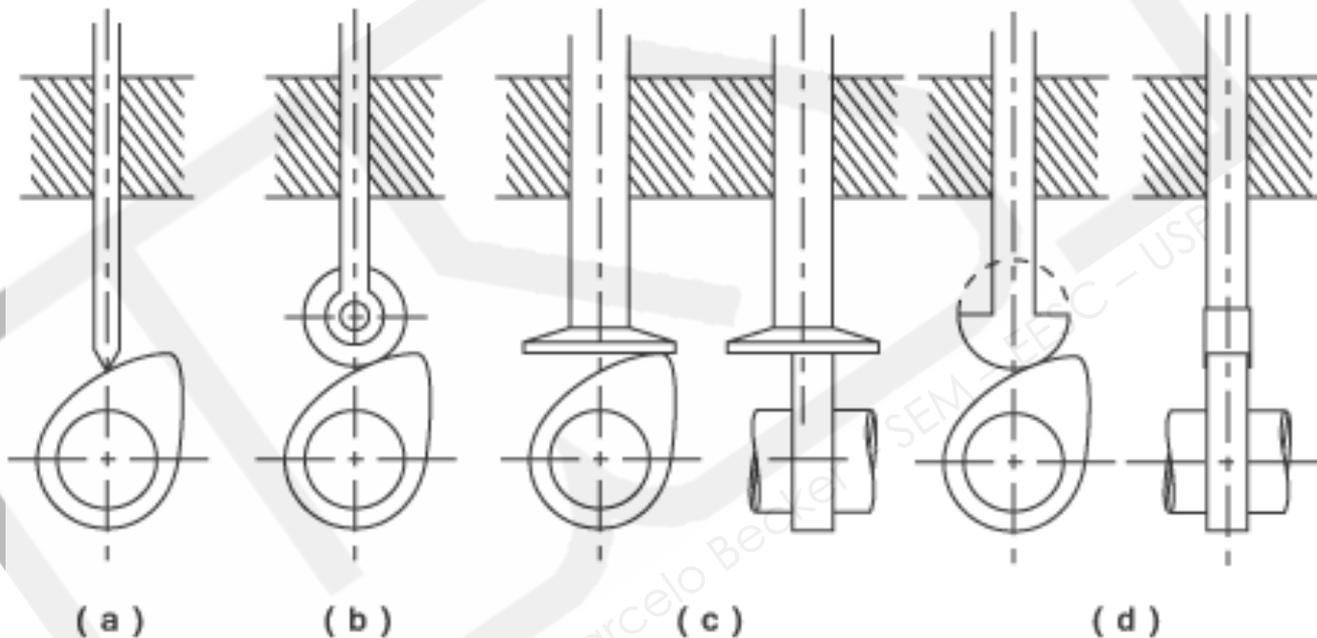
Tipos

- 3 tipos principais de seguidores:
 - Seguidor sem Rolete
 - Seguidor com Rolete
 - Seguidor tipo “Prato”

Seguidores

Tipos

- 3 tipos principais de seguidores:



Sem Rolete Com Rolete

tipo "Prato"

Sumário da Aula

-
-
- **Diagramas de Deslocamento**
- Projeto de Perfis
- Software
- Exercícios
- Bibliografia Recomendada

Diagrama de Deslocamento

- Mostram o deslocamento do seguidor em função do ângulo do came

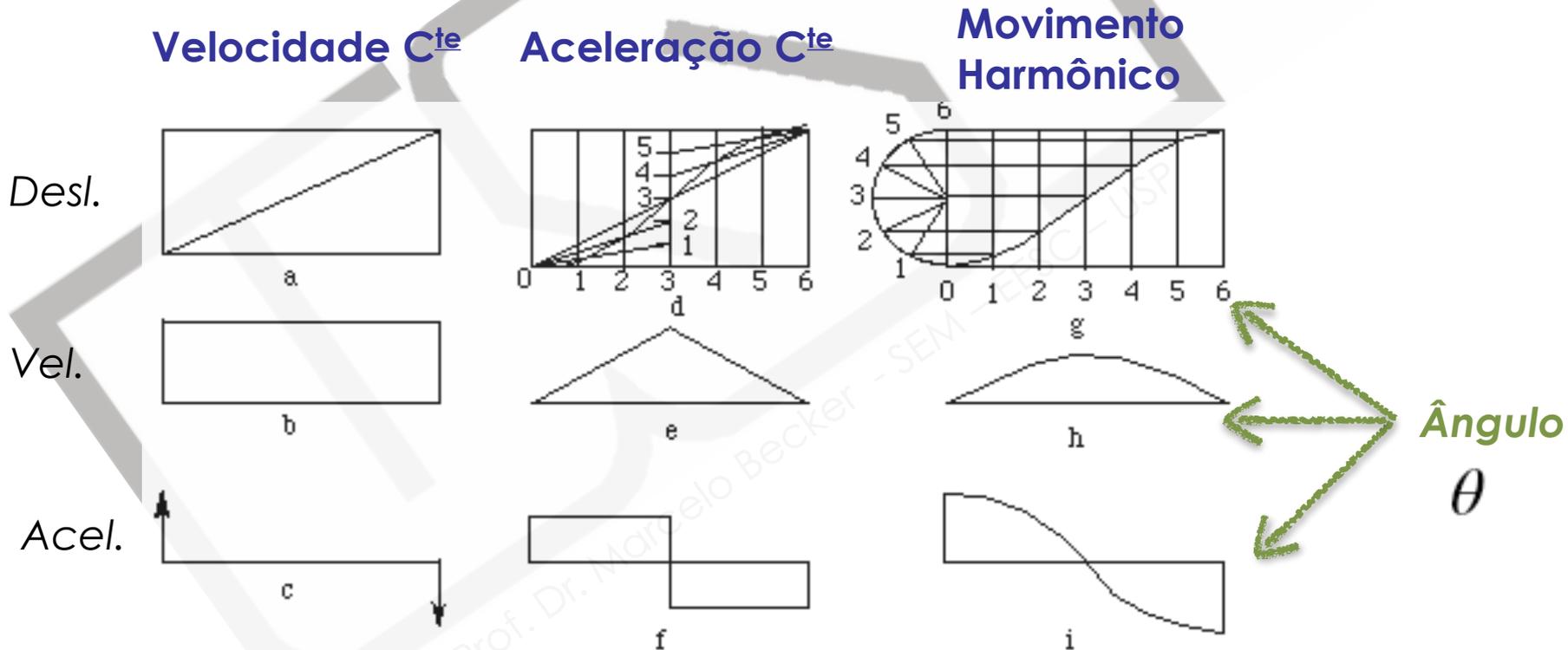


Diagrama de Deslocamento

- Movimentos mais comuns:

- * Velocidade Constante
- * Aceleração Constante
- * Harmônico Simples
- * Ciclóide
- * Duplo Harmônico
- * Arcos e Segmentos Lineares
- * Perfil de Aceleração Trapezoidal
- * Polinomiais (3^{a} , 5^{a} , etc.)

Diagrama de Deslocamento

- Velocidade Constante
 - * Movimento Linear

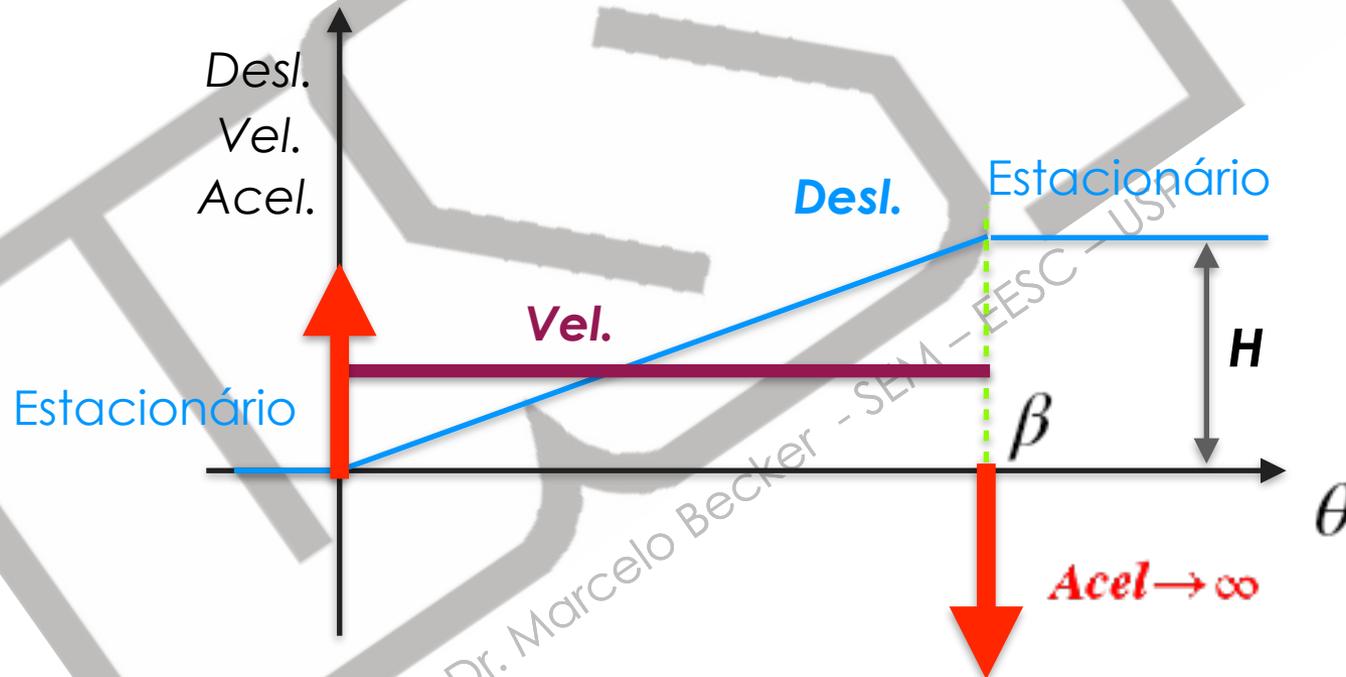


Diagrama de Deslocamento

- Equacionamento para Velocidade Constante...

- * Movimento Linear: $Desl = C.t$

- * Para uma velocidade angular constante (ω):

$$Desl = C. \frac{\theta}{\omega}$$

- * Sendo H o curso e β o ângulo do came no final do deslocamento, tem-se:

$$\left\{ \begin{array}{l} Desl = 0 \text{ para } \theta = 0 \\ Desl = H \text{ para } \theta = \beta \end{array} \right.$$

Diagrama de Deslocamento

- Equacionamento...
 - * Assim, para o deslocamento e velocidade:

$$Desl = H \frac{\theta}{\beta}$$

$$Vel = H \frac{\omega}{\beta}$$

- * E a Aceleração:

Acel = 0 (durante o movimento)

Acel $\rightarrow \infty$ (no início e final do movimento)

Diagrama de Deslocamento

- Aceleração Constante
– Movimento Parabólico

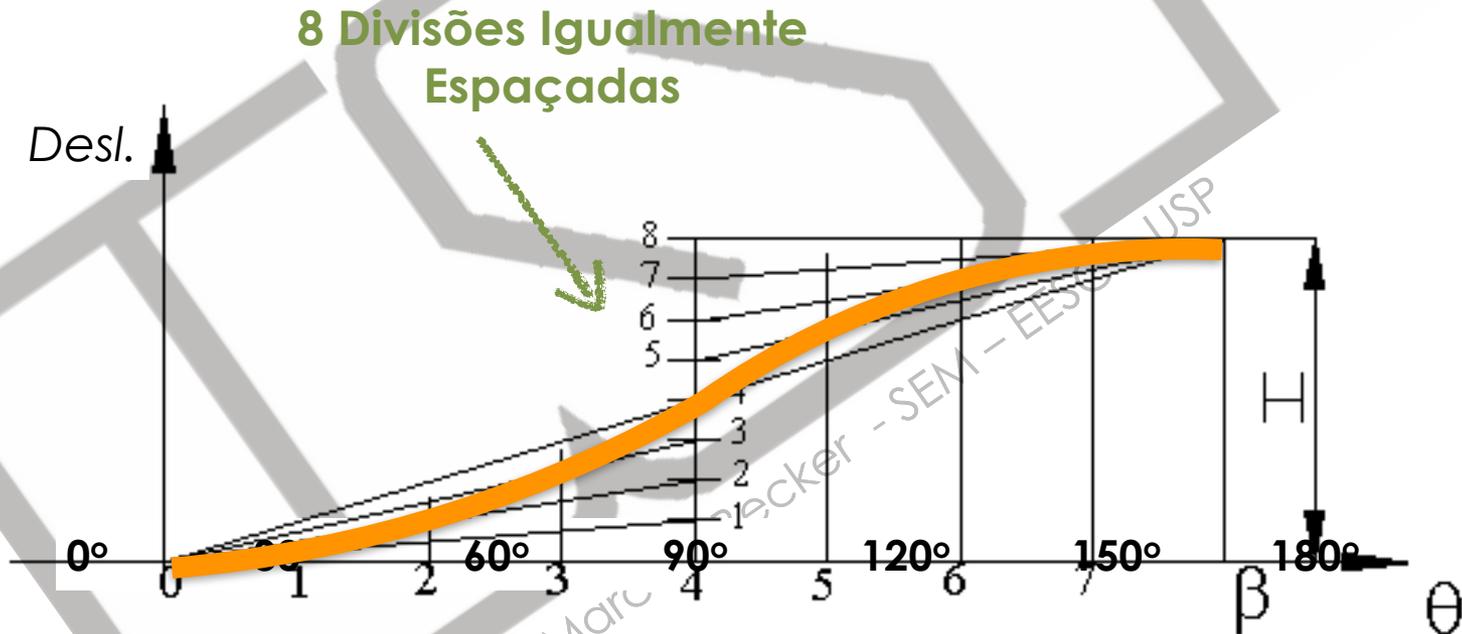
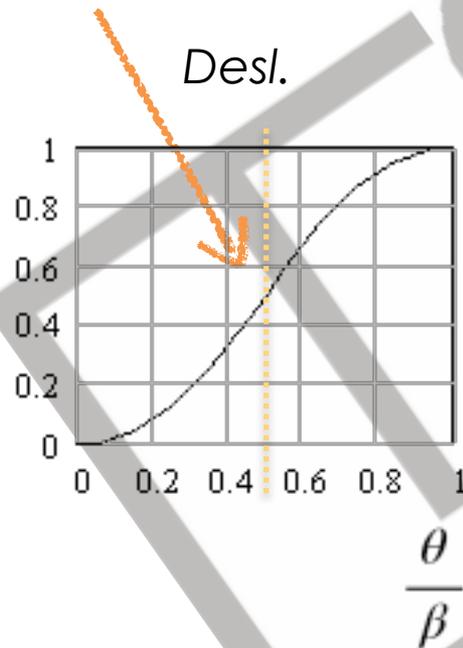


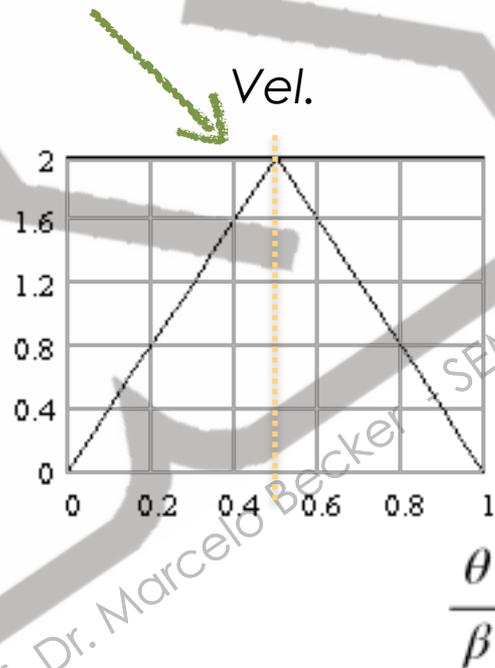
Diagrama de Deslocamento

- Movimento Parabólico

Suavidade de Movimento



Pico de Velocidade



Inversão Brusca de Aceleração

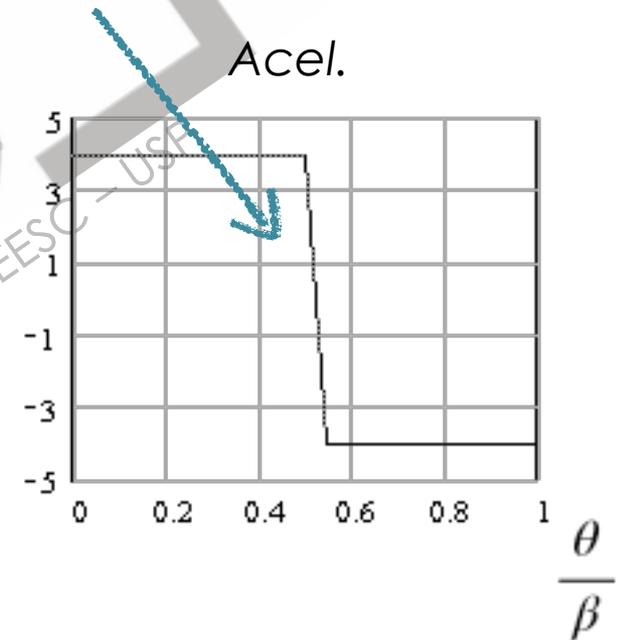


Diagrama de Deslocamento

- Movimento Parabólico (2 parábolas...)

$$SE \quad 0 < \theta < \beta/2$$

$$SE \quad \beta/2 \leq \theta \leq \beta$$

$$Desl = 2H \left(\frac{\theta}{\beta} \right)^2$$

$$Desl = H \left[1 - 2 \left(1 - \frac{\theta}{\beta} \right)^2 \right]$$

$$Vel = 4H\omega \left(\frac{\theta}{\beta^2} \right)$$

$$Vel = 4H \frac{\omega}{\beta} \left(1 - \frac{\theta}{\beta} \right)$$

$$Acel = 4H \left(\frac{\omega}{\beta} \right)^2$$

$$Acel = -4H \left(\frac{\omega}{\beta} \right)^2$$

Diagrama de Deslocamento

- Movimento Harmônico Simples
 - Movimento de um pêndulo

Divisões Angulares
Igualmente Espaçadas

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

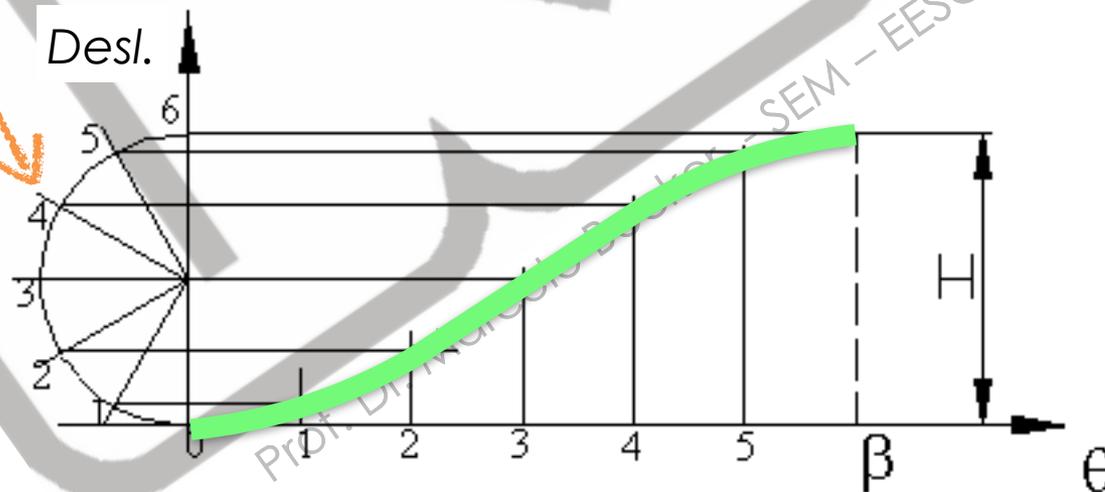


Diagrama de Deslocamento

- Movimento Harmônico Simples

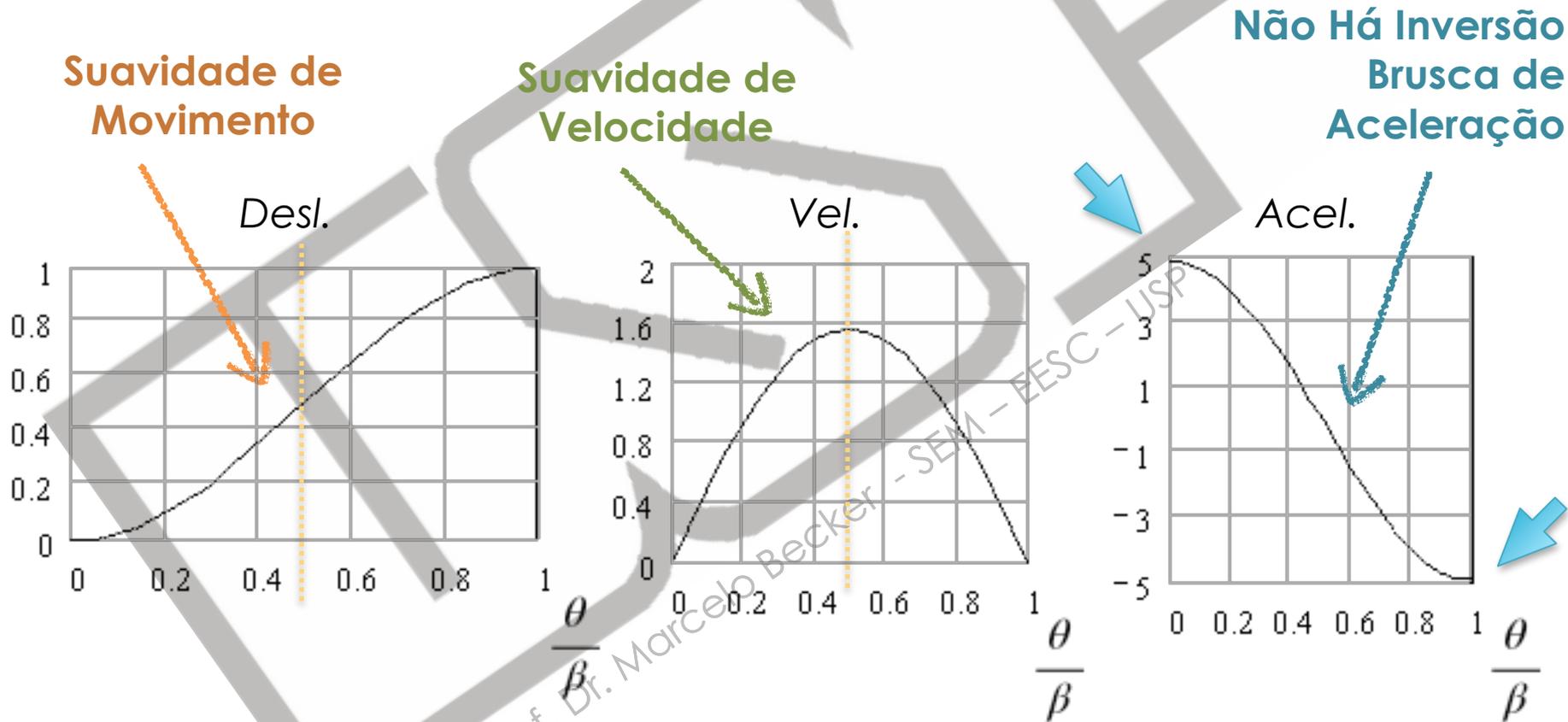


Diagrama de Deslocamento

- Movimento Harmônico Simples

$$Desl = \frac{1}{2} H \left(1 - \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right)$$

$$Vel = \frac{1}{2} \frac{H \pi \omega}{\beta} \sin \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right)$$

$$Acel = \frac{1}{2} H \left(\frac{\pi \omega}{\beta} \right)^2 \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right)$$

Prof. Dr. Marcelo Becker - EESC - USP

Diagrama de Deslocamento

- Valores Máximos

$$Vel = \frac{1}{2} \frac{H\pi\omega}{\beta} \sin\left(\frac{\pi\theta}{\beta}\right) \rightarrow 1$$

$$Vel_{max} = \frac{1}{2} H \left(\frac{\pi\omega}{\beta} \right)$$

$$Acel = \frac{1}{2} H \left(\frac{\pi\omega}{\beta} \right)^2 \cos\left(\frac{\pi\theta}{\beta}\right) \rightarrow 1$$

$$Acel_{max} = \frac{1}{2} H \left(\frac{\pi\omega}{\beta} \right)^2$$

Diagrama de Deslocamento

- Valores Máximos

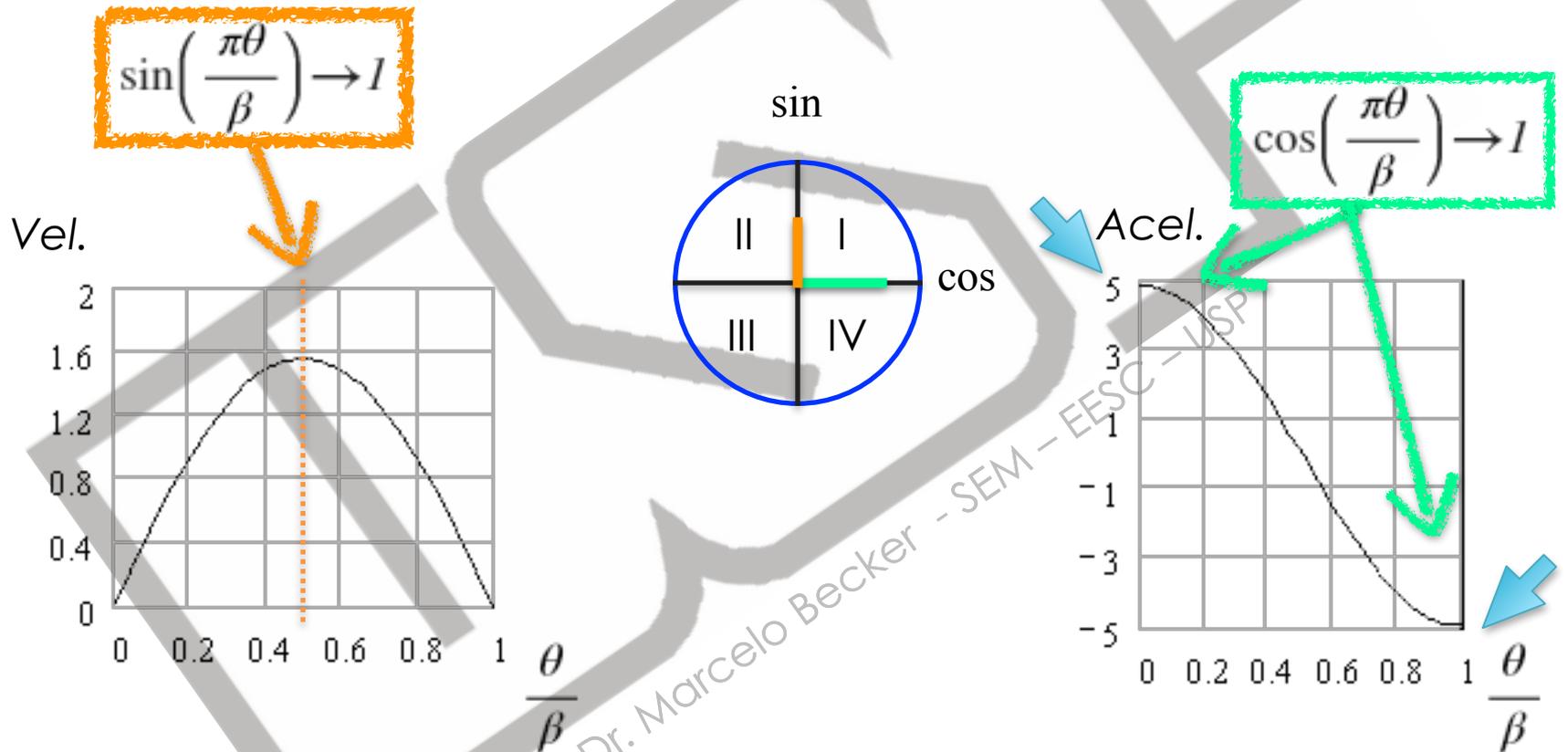


Diagrama de Deslocamento

- Movimento Cicloidal
– Ciclóide??

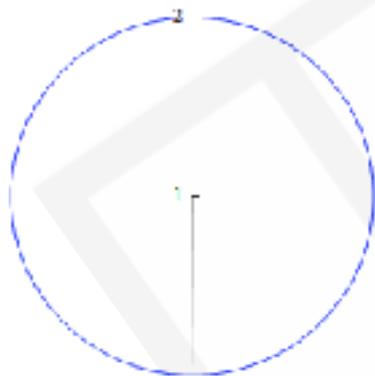


Diagrama de Deslocamento

- Movimento Cicloidal

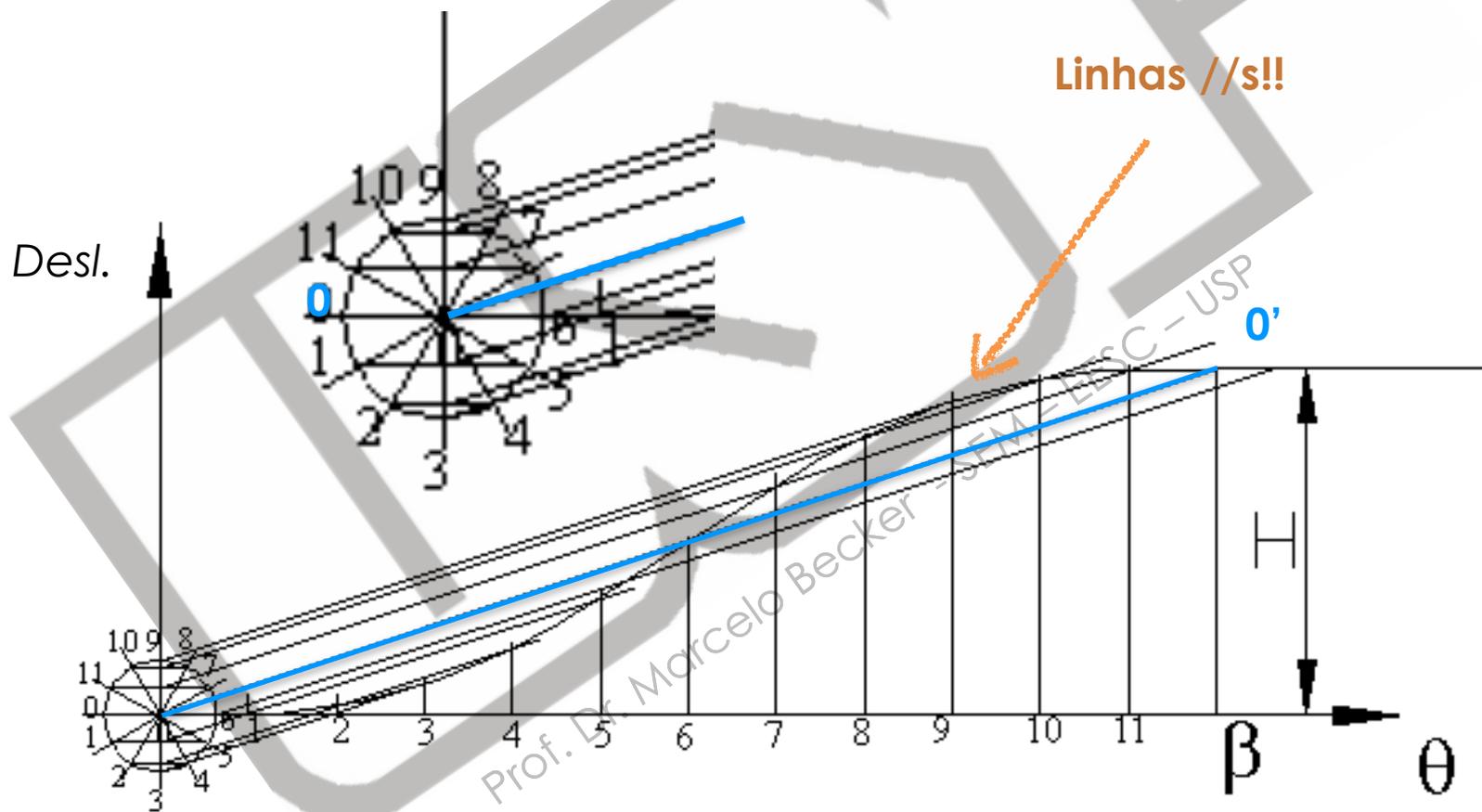
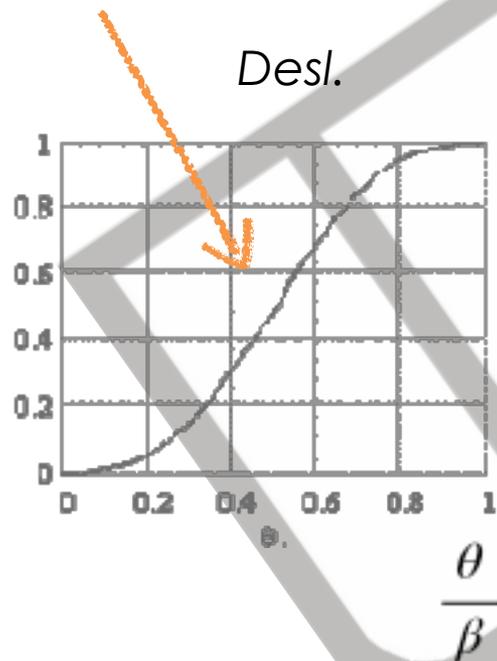


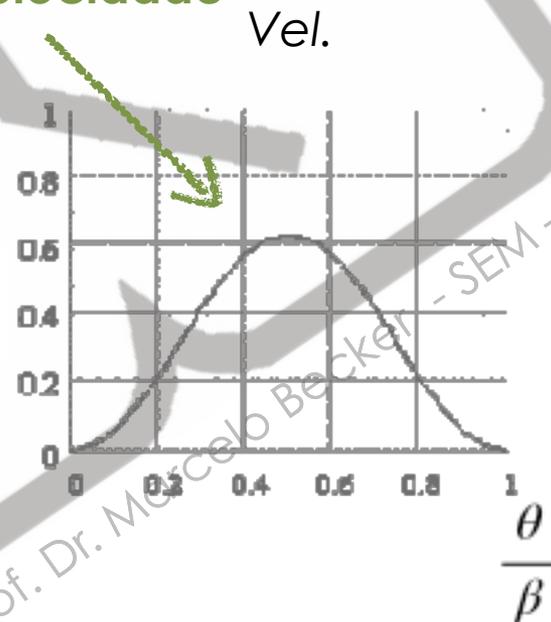
Diagrama de Deslocamento

- Movimento Cicloidal

Suavidade de Movimento



Suavidade de Velocidade



Suavidade de Aceleração

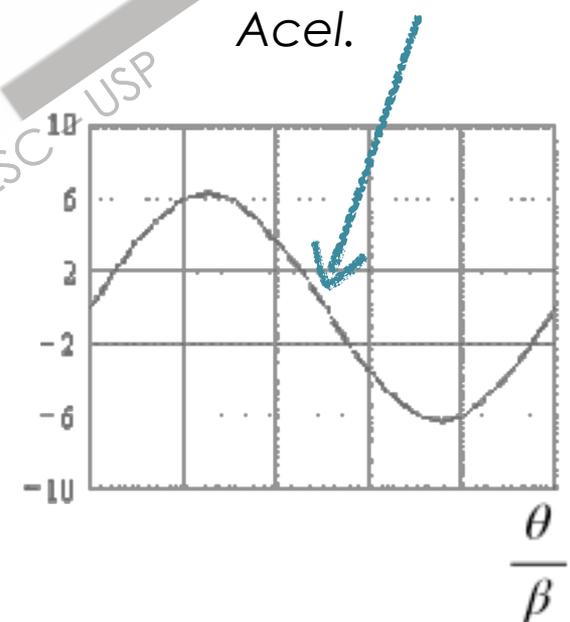


Diagrama de Deslocamento

- Movimento Cicloidal

$$Desl = \frac{H}{\pi} \left[\frac{\pi\theta}{\beta} - \frac{1}{2} \sin\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right) \right]$$

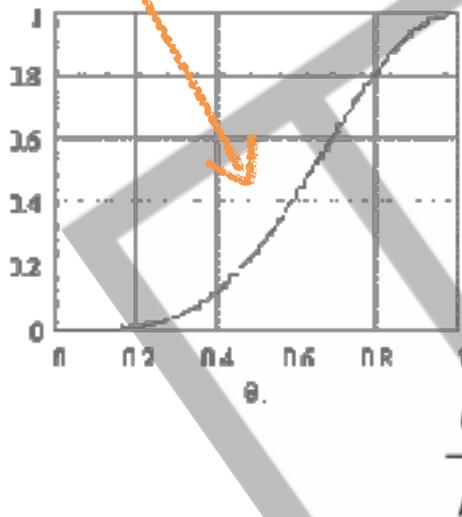
$$Vel = \frac{H\omega}{\pi\beta} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right) \right]$$

$$Acel = \frac{2H\pi\omega^2}{\beta^2} \sin\left(\frac{2\pi\theta}{\beta}\right)$$

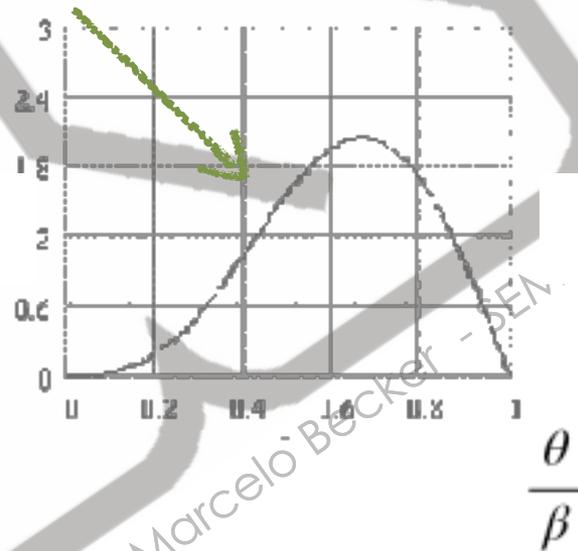
Diagrama de Deslocamento

- Movimento Duplo Harmônico

Suavidade de Movimento
Desl.



Suavidade de Velocidade
Vel.



“Suavidade” de Aceleração

Acel.

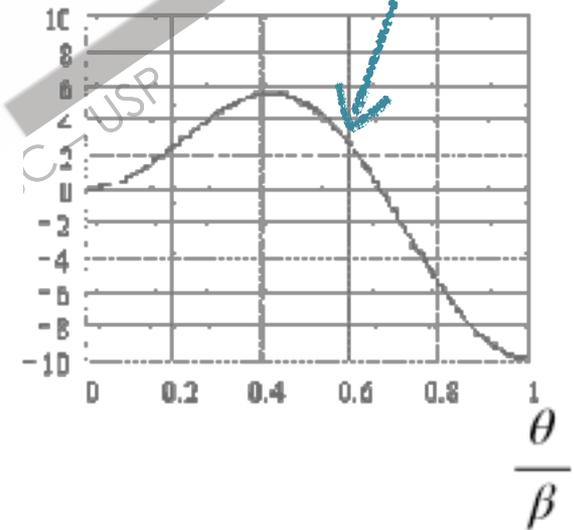


Diagrama de Deslocamento

- Movimento Duplo Harmônico

$$Desl = \frac{1}{2} H \left[\left(1 - \cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right) - \frac{1}{4} \left(1 - \cos \left(\frac{2\pi \theta}{\beta} \right) \right) \right]$$

$$Vel = \frac{1}{2} H \frac{\pi \omega}{\beta} \left[\left(\sin \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) \right) - \frac{1}{2} \left(\sin \left(\frac{2\pi \theta}{\beta} \right) \right) \right]$$

$$Acel = \frac{1}{2} H \left(\frac{\pi \omega}{\beta} \right)^2 \left[\cos \left(\frac{\pi \theta}{\beta} \right) - \cos \left(\frac{2\pi \theta}{\beta} \right) \right]$$

Sumário da Aula

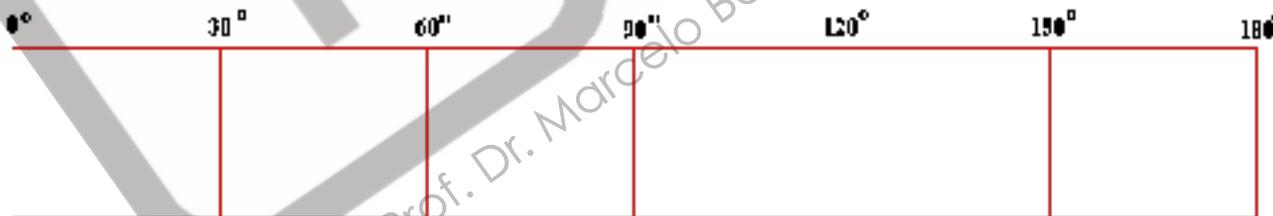
-
-
-
- **Projeto de Perfis**
- Software
- Exercícios
- Bibliografia Recomendada

Projeto de Perfis

- Baseado no Diagrama de Deslocamento
- Determinado pela função a ser desempenhada pelo came

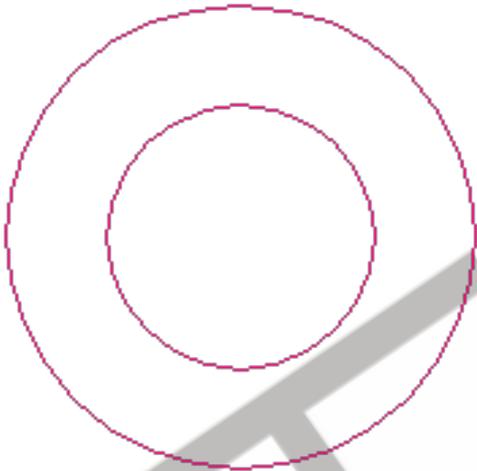
Movimento Harmônico Simples

Movimento de Aceleração / Retardo



Projeto de Perfis

Velocidade Uniforme - Seguidor s/ Rolete



Passo 1: Desenhe 2 círculos: um com o raio mínimo do Came e outro com o deslocamento máximo do seguidor.

Passo 2: Divida os círculos em divisões de 30° .

Passo 3: Construa o diagrama de deslocamento como mostrado. Note que ele é alinhado com a intersecção entre o diâmetro mínimo do Came e a divisão 0° .

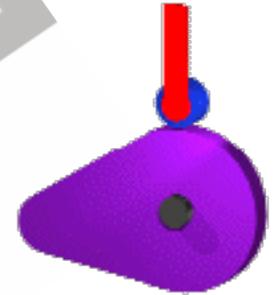
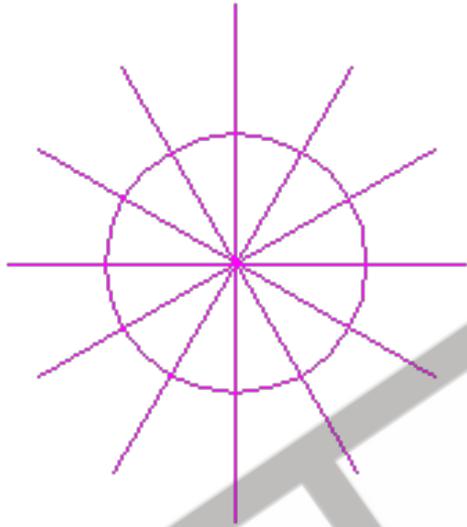
Passo 4: Marque as divisões a cada 30° .

Passo 5: A partir do diagrama de deslocamento, projete o deslocamento do seguidor a 30° , intersectando a divisão de 30° . E assim por diante...

Passo 6: Una as intersecções e complete o perfil do Came.

Projeto de Perfis

Velocidade Uniforme - Seguidor c/ Rolete



Passo 1: Desenhe 2 círculos: um com o raio mínimo do Came e outro com o deslocamento máximo do seguidor.

Passo 2: Divida os círculos em divisões de 30° e desenhe o rolete na 1ª posição.

Passo 3: Construa o diagrama de deslocamento como mostrado. Note que ele é alinhado com o **centro do rolete**.

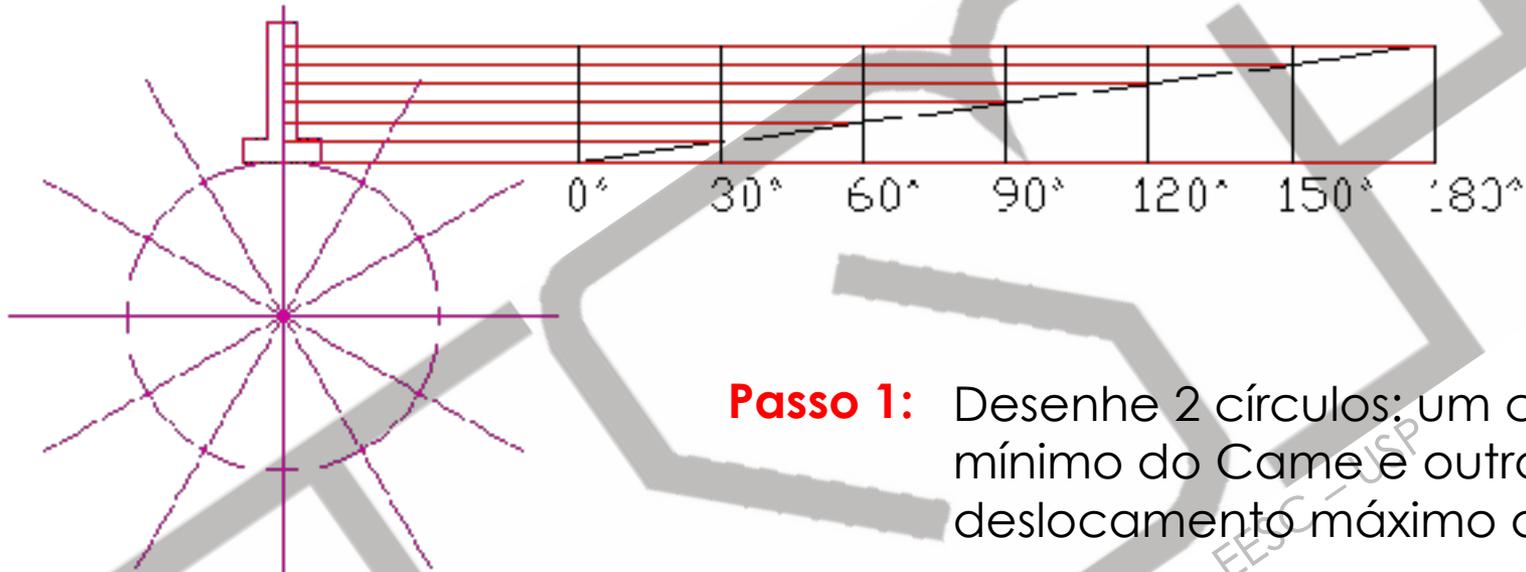
Passo 4: Marque as divisões a cada 30° .

Passo 5: A partir do diagrama de deslocamento, projete o deslocamento do rolete a 30° , intersectando a divisão de 30° , e assim por diante, desenhando-os...

Passo 6: Una as intersecções e complete o perfil do Came.

Projeto de Perfis

Velocidade Uniforme - Seguidor “Prato”



Passo 1: Desenhe 2 círculos: um com o raio mínimo do Came e outro com o deslocamento máximo do seguidor.

Passo 2: Divida os círculos em divisões de 30° e desenhe o rolete na 1ª posição.

Passo 3: Construa o diagrama de deslocamento como mostrado. Note que ele é alinhado com o “**prato do seguidor**”.

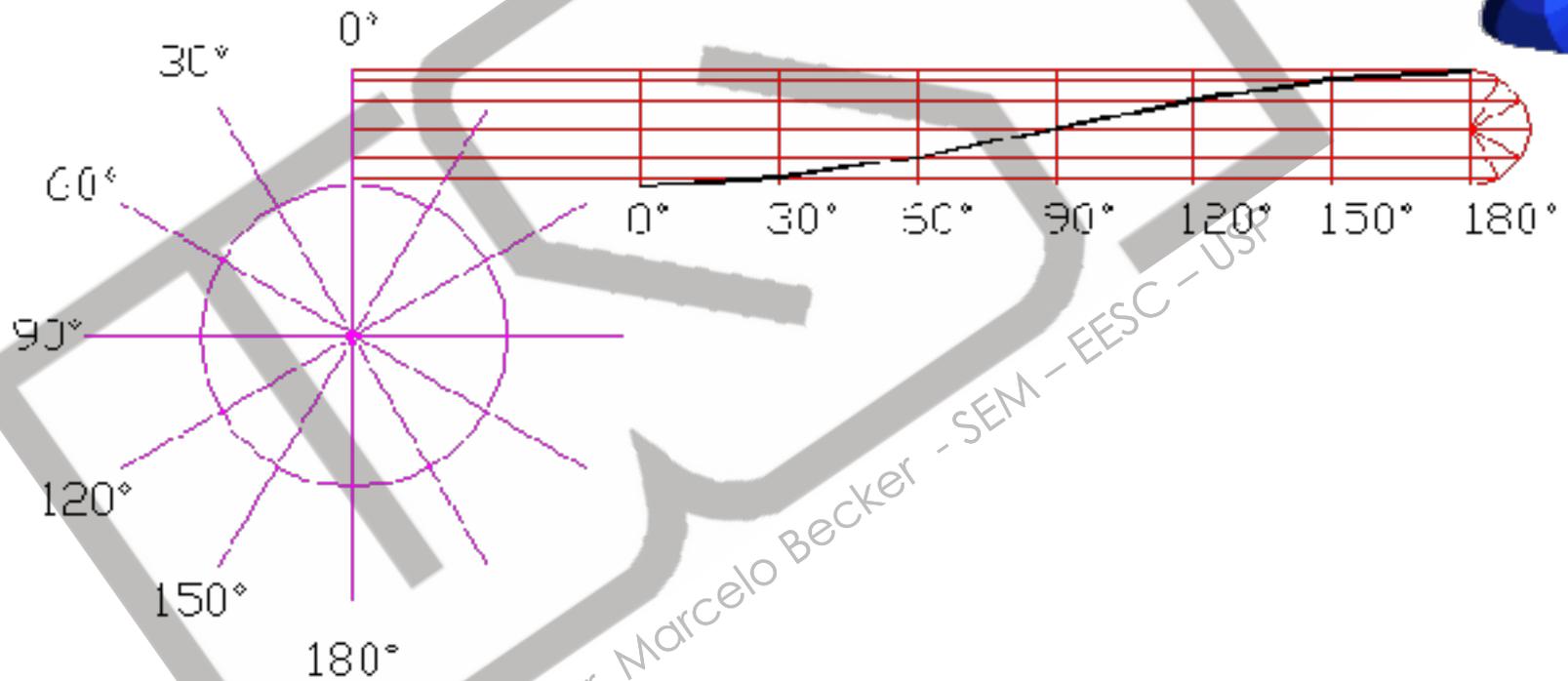
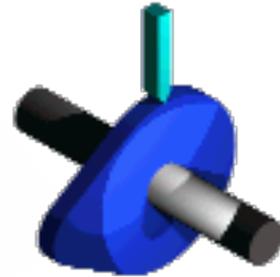
Passo 4: Marque as divisões a cada 30° .

Passo 5: A partir do diagrama de deslocamento, projete o deslocamento do “prato” a 30° , intersectando a divisão de 30° , e assim por diante, desenhando-os...

Passo 6: Una as intersecções e complete o perfil do Came.

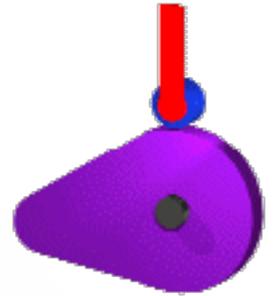
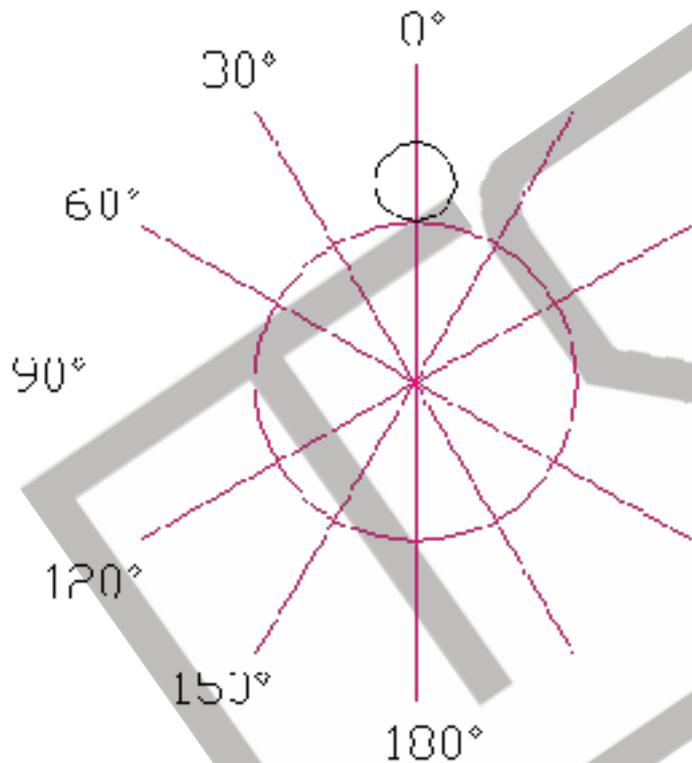
Projeto de Perfis

M^{nto} Harmônico - Seguidor s/ Rolete



Projeto de Perfis

M^{nto} Variado - Seguidor c/ Rolete



Prof. Dr. Marcelo Becker - SEM - EESC - USP

Sumário da Aula

-
-
-
-
-
- **Software**
- Exercícios
- Bibliografia Recomendada

Software



<http://www.designofmachinery.com>



Software

DYNACAM Plus by R.L. Norton Copyright 2009 Release 10 Rev 1.6.5 18:20:09 Input Screen

Help - View - Calculate All - Clear Segments - Clear All - Copy - Paste - Search

Gen Data

Gen Strgs

bits

sweeps

Force Scale

Clear on Opening

Global Scale

Model

Translation

Conforming

Setup

deg

External Force

Mesh

Full Mesh

External Force

Print Values

Design No. 1

1-240-3308

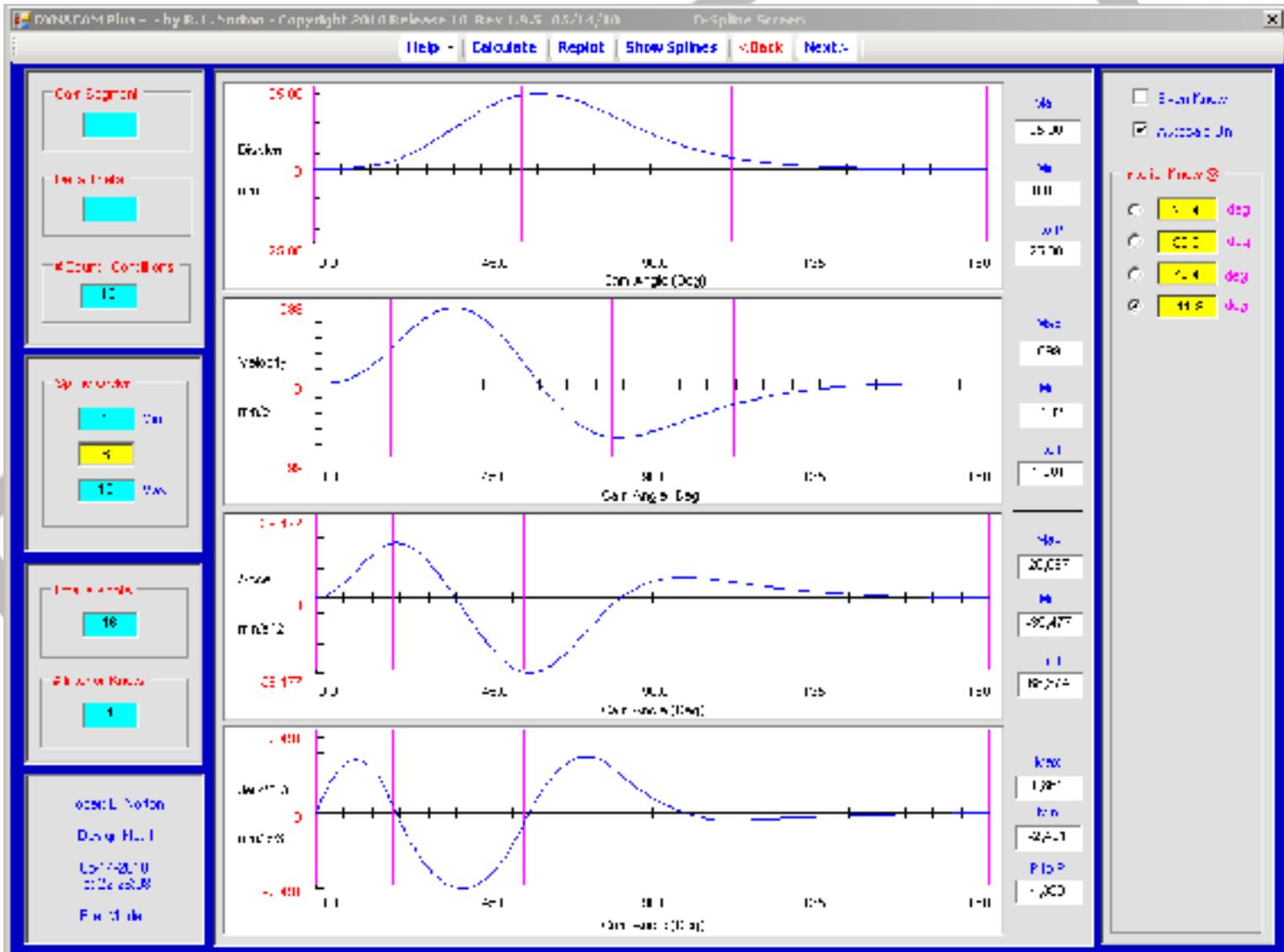
4-10-0750

18-11-11

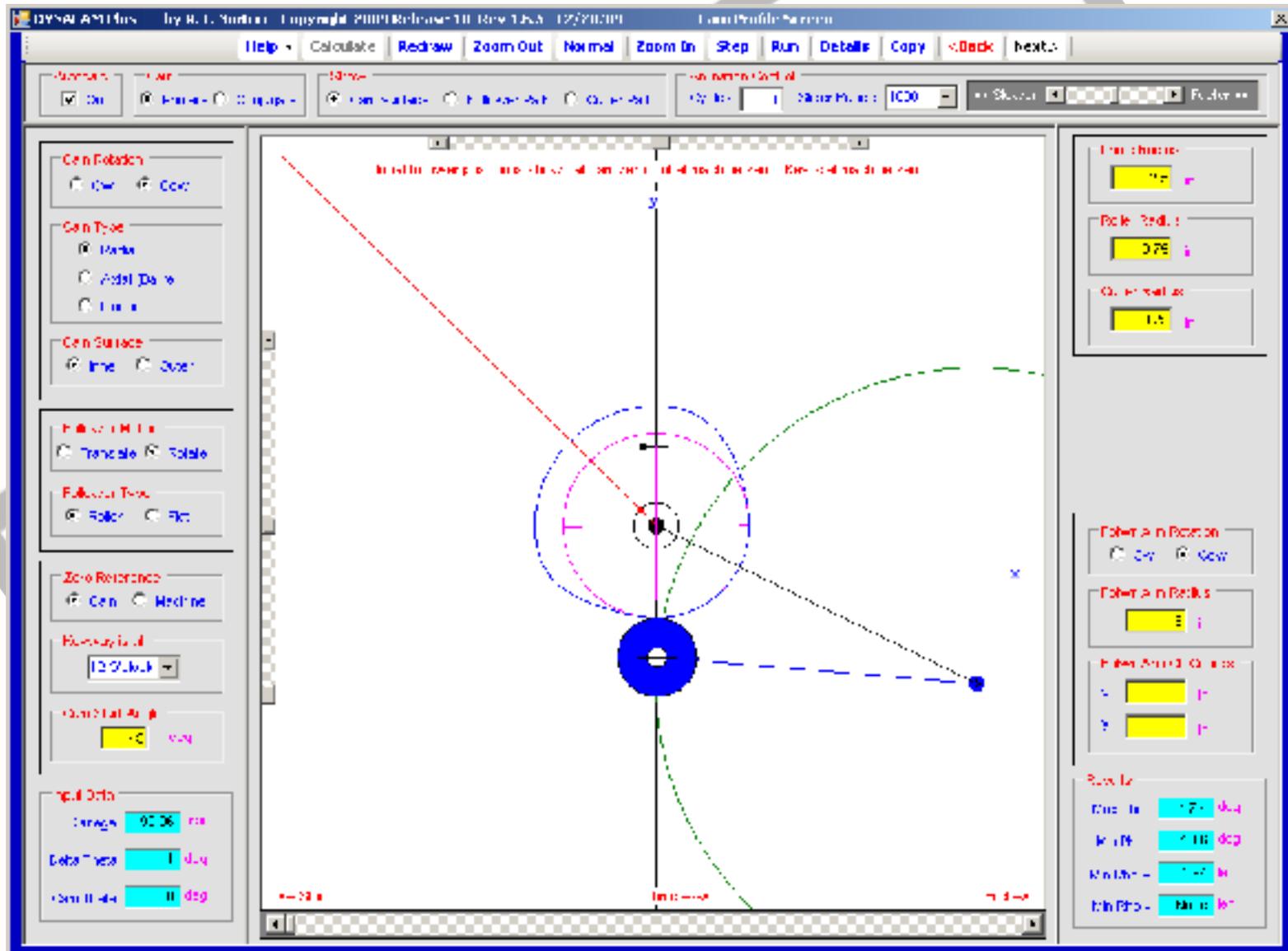
Segments

Seg	Start	End	Order	Gen. Control	Position	Scale	Examples
1	00	00	00	Axis	z - Axis - Neg	0	0, 0, 1
2	00	90	00	Front	xy - Pos	0	0, 1, 0
3	00	120	270	Top	yz - Pos	0	1, 0, 0
4	00	270	000	Front	xy - Pos	0	1, 0, 0

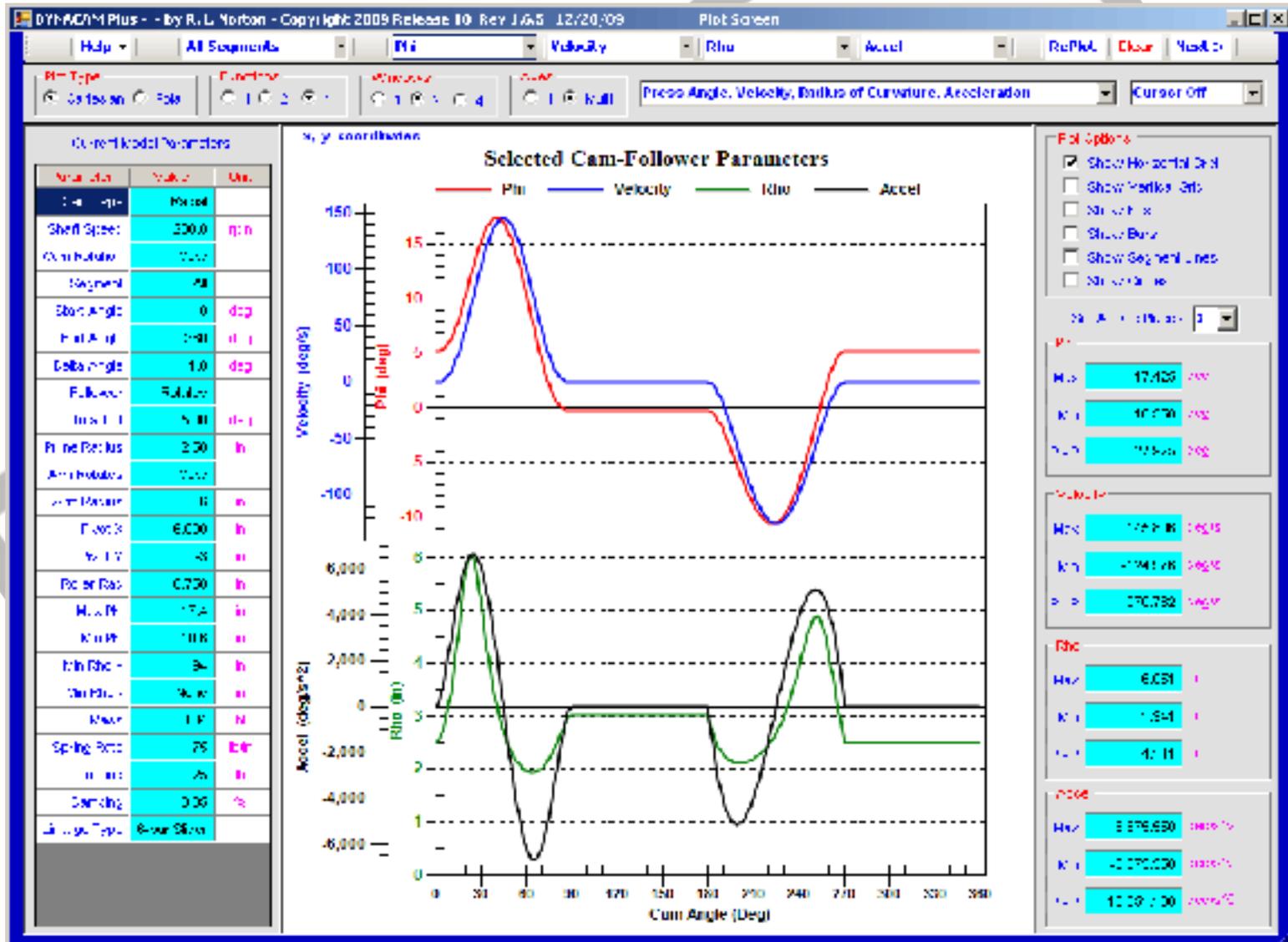
Software



Software



Software



Sumário da Aula

-
-
-
-
-
-
- **Exercícios**
- Bibliografia Recomendada

Exercícios

01 - Enunciado

Tipo de Movimento	Duração	Deslocamento Angular
Subir 48 mm com velocidade constante	0 a 1s	0 a 120°
Ficar Estacionário em 48 mm	1 a 1,5 s	120° a 180°
Retornar à posição inicial com aceleração c^{te}	1,5 a 3 s	180° a 360°

Diâmetro mínimo do came: 80 mm

Exercícios

01 - Solução

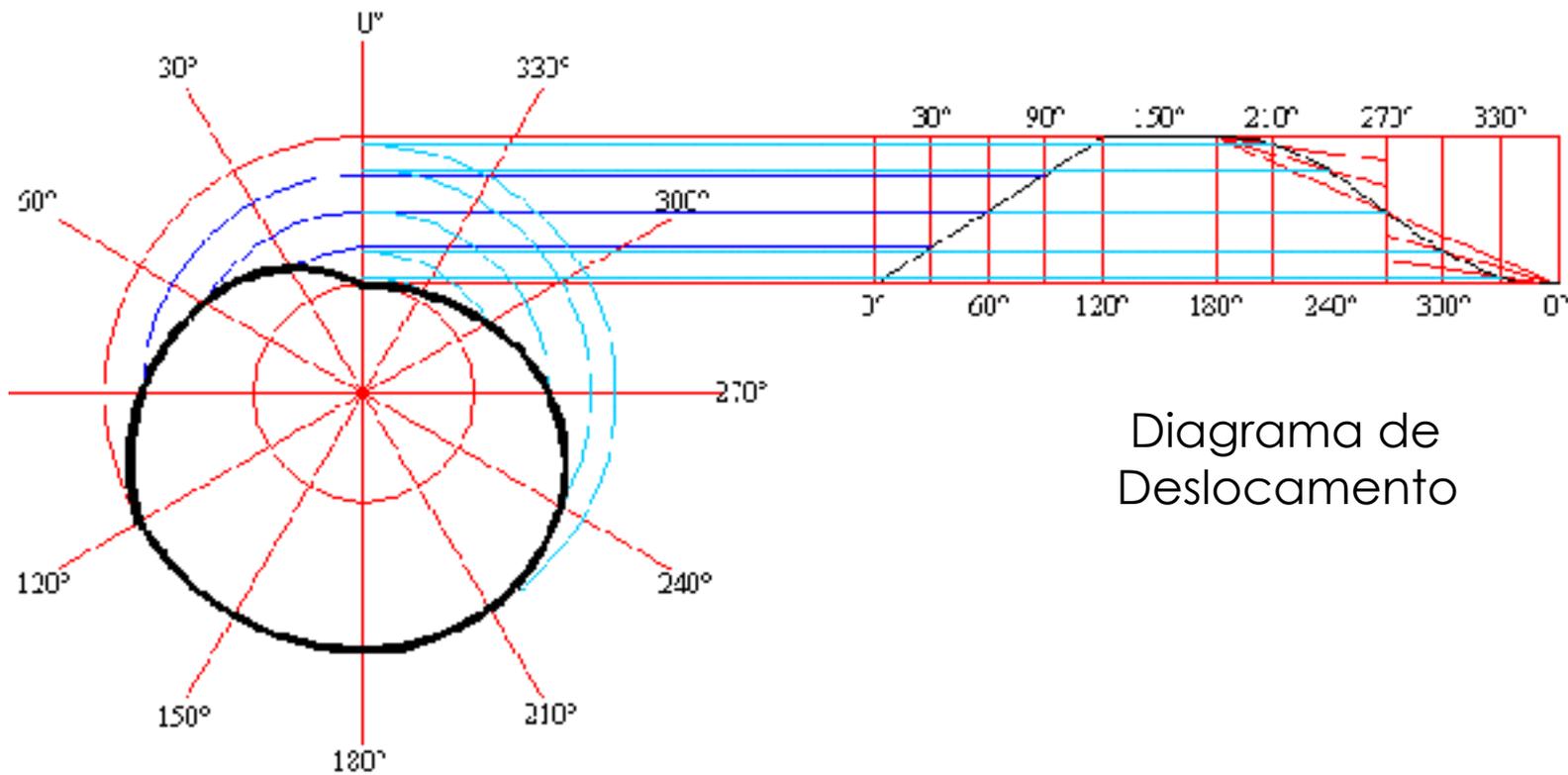


Diagrama de Deslocamento

Perfil do Came

Exercícios

02 - Enunciado

Diâmetro mínimo do came: 80 mm

Tipo de Movimento	Deslocamento Angular
Subir 60 mm com movimento harmônico simples	0 a 90°
Ficar Estacionário em 60 mm	90° a 130°
Descer 60 mm com movimento de aceleração / retardo c_{te}	130° a 310°
Ficar Estacionário nesta posição	310° a 360°

Exercícios

02 - Solução

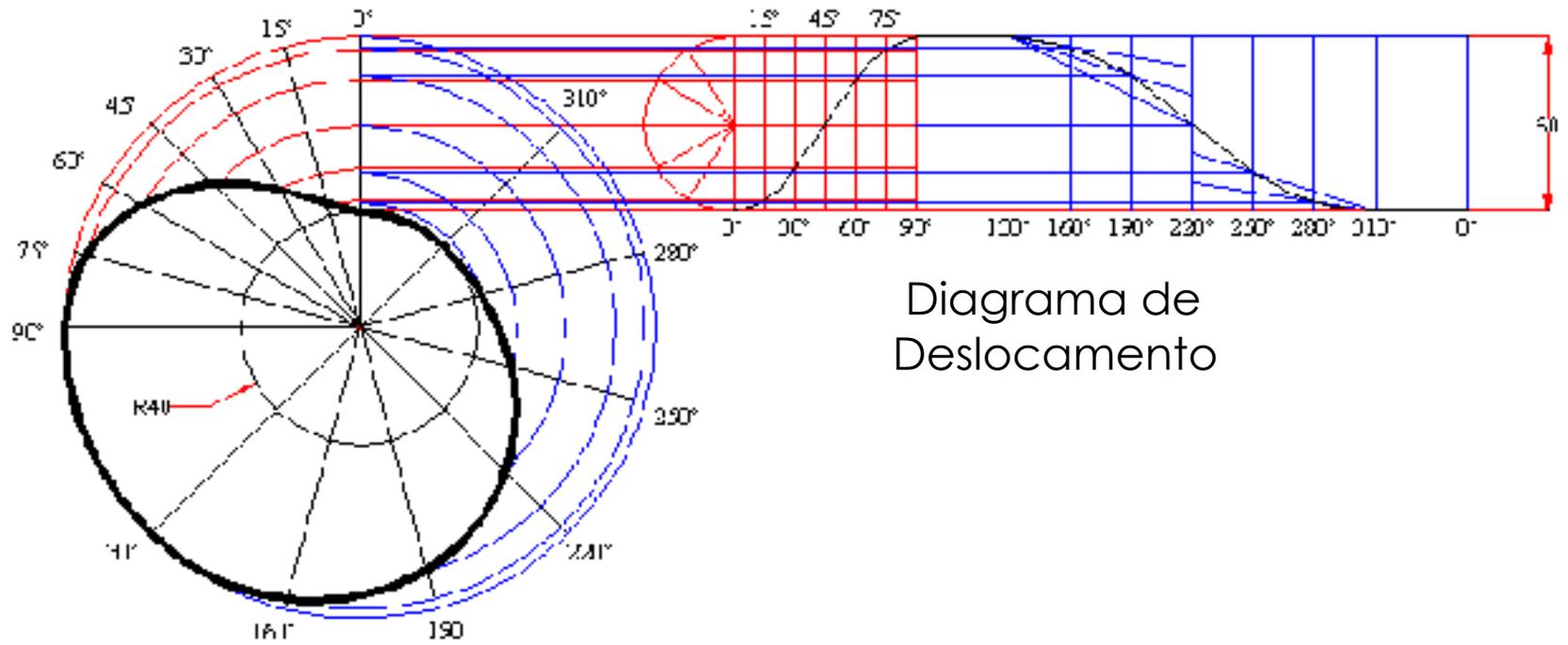


Diagrama de Deslocamento

Perfil do Came



Prof. Dr. M

Sumário da Aula

-
-
-
-
-
-
-
-
-

• Bibliografia Recomendada

Bibliografia Recomendada

- Shigley, J.E. e Uicker, J.J., 1995, "*Theory of Machines and Mechanisms*".
- MABIE, H.H., OCVIRK, F.W. "Mecanismos e dinâmica das máquinas".
- MARTIN, G.H. "Cinematics and dynamics of machines".
- NORTON, R. "Machinery dynamics".
- Notas de Aula