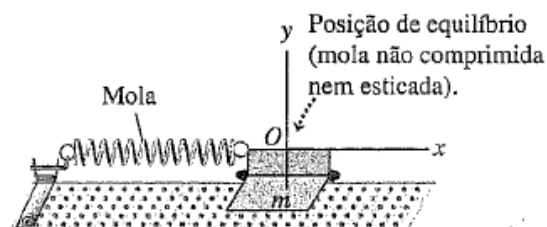


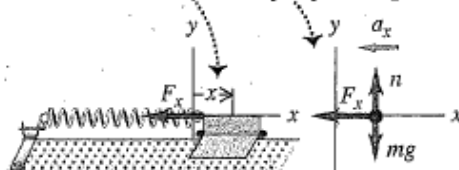
## AULA5 – FIGURAS E TABELAS



**Figura 13.1** Um sistema que pode ter movimento periódico.

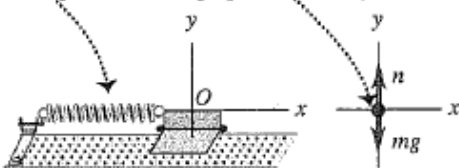
(a)

$x > 0$ : o corpo é deslocado para a direita da posição de equilíbrio.  $F_x < 0$ , então  $a_x < 0$ : a mola esticada empurra o corpo para a posição de equilíbrio.



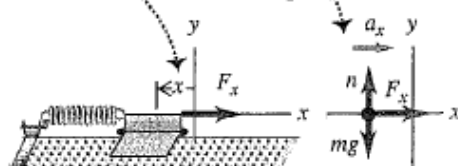
(b)

$x = 0$ : a mola relaxada não exerce força sobre o corpo, então o corpo possui aceleração zero.

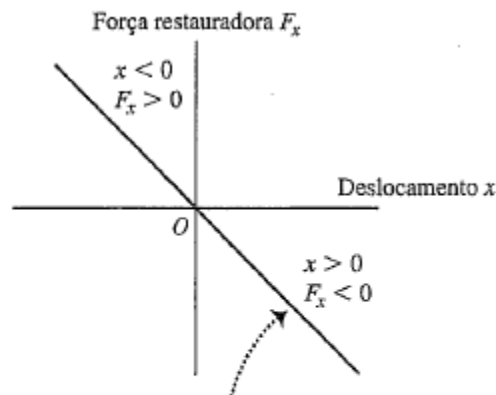


(c)

$x < 0$ : o corpo é deslocado para a esquerda da posição de equilíbrio.  $F_x > 0$ , então  $a_x > 0$ : a mola comprimida empurra o corpo para a posição de equilíbrio.



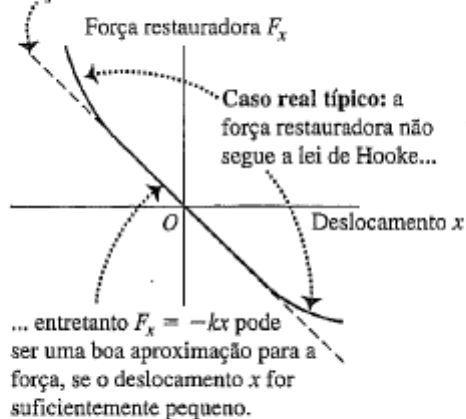
**Figura 13.2** Exemplo de um movimento periódico. Quando o corpo é deslocado de sua posição de equilíbrio em  $x = 0$ , a mola exerce uma força restauradora que o leva de volta à posição de equilíbrio.



A força restauradora exercida por uma mola ideal é diretamente proporcional ao deslocamento (lei de Hooke,  $F_x = -kx$ ): o gráfico de  $F_x$  em função de  $x$  é uma linha reta.

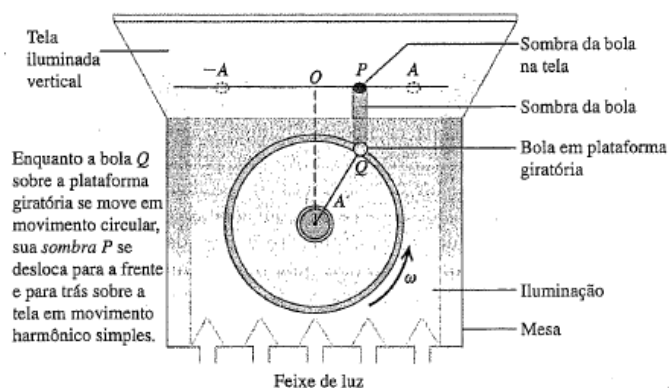
**Figura 13.3** Uma mola ideal exerce uma força restauradora que obedece à lei de Hooke,  $F_x = -kx$ . Uma oscilação com uma força restauradora desse tipo é chamada de movimento harmônico simples.

**Caso ideal:** a força restauradora obedece à lei de Hooke ( $F_x = -kx$ ), então o gráfico  $F_x$  em função de  $x$  é uma linha reta.

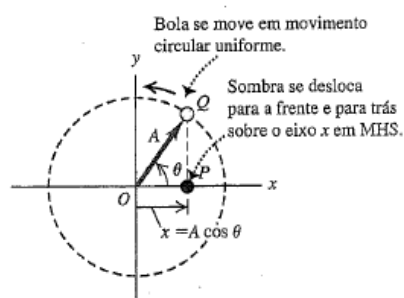


**Figura 13.4** Em muitas oscilações reais, a lei de Hooke se aplica desde que o corpo não se afaste muito da posição de equilíbrio. Em tal caso, as oscilações de pequena amplitude podem ser consideradas aproximadamente como harmônicas simples.

(a) Aparelho para criar um círculo de referência.

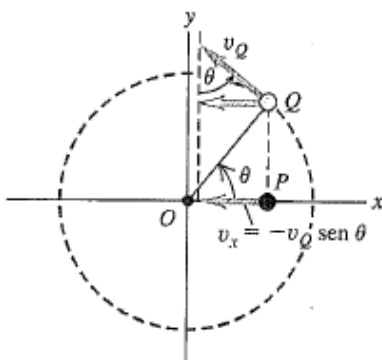


(b) Uma representação abstrata do movimento em (a).

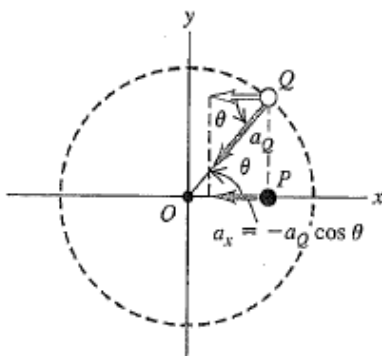


**Figura 13.5** (a) Relacionando o movimento circular uniforme e o movimento harmônico simples. (b) A sombra da bola se move exatamente como um corpo oscilando em uma mola ideal.

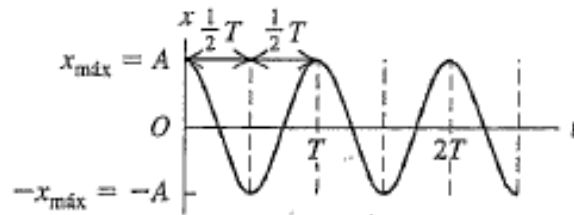
(a) Usando o círculo de referência para determinar a velocidade ao longo do eixo  $Ox$  do ponto  $P$ .



(b) Usando o círculo de referência para determinar a aceleração ao longo do eixo  $Ox$  do ponto  $P$ .



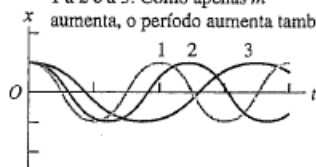
**Figura 13.6** A (a) velocidade e (b) a aceleração da sombra da bola  $P$  (veja a Figura 13.5) são os componentes  $x$  respectivamente dos vetores velocidade e aceleração da bola  $Q$ .



**Figura 13.9** Gráfico de  $x$  em função de  $t$  [(ver Equação (13.13)] em um movimento harmônico simples. No caso mostrado,  $\phi = 0$ .

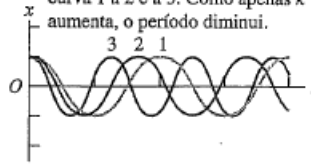
(a)  $m$  aumenta;  $A$  e  $k$  não variam.

A massa  $m$  aumenta da curva 1 a 2 e a 3. Como apenas  $m$  aumenta, o período aumenta também.



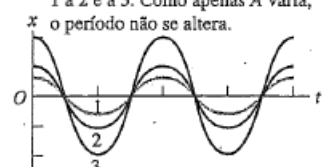
(b)  $k$  aumenta;  $A$  e  $m$  não variam.

A constante da mola  $k$  aumenta da curva 1 a 2 e a 3. Como apenas  $k$  aumenta, o período diminui.



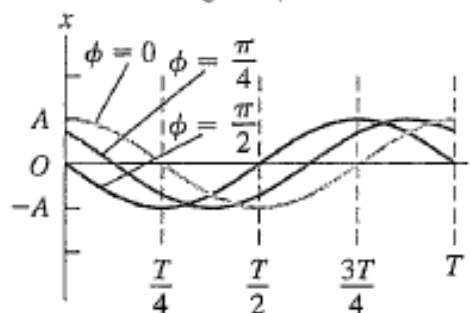
(c)  $A$  aumenta;  $k$  e  $m$  não variam.

A amplitude  $A$  aumenta da curva 1 a 2 e a 3. Como apenas  $A$  varia, o período não se altera.



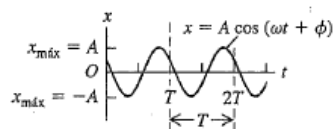
**Figura 13.10** Variações em um movimento harmônico simples. Todos os casos indicados são para  $\phi = 0$ .

Essas três curvas mostram MHS com o mesmo período  $T$  e amplitude  $A$ , mas com ângulos  $\phi$  de fase diferentes.

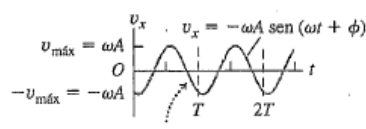


**Figura 13.11** Variações do MHS: deslocamento em função do tempo para o mesmo oscilador harmônico com diferentes ângulos  $\phi$  de fase.

(a) Deslocamento  $x$  em função do tempo  $t$ .

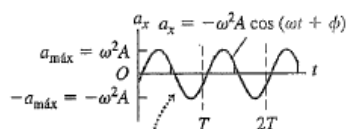


(b) Velocidade  $v_x$  em função do tempo  $t$ .



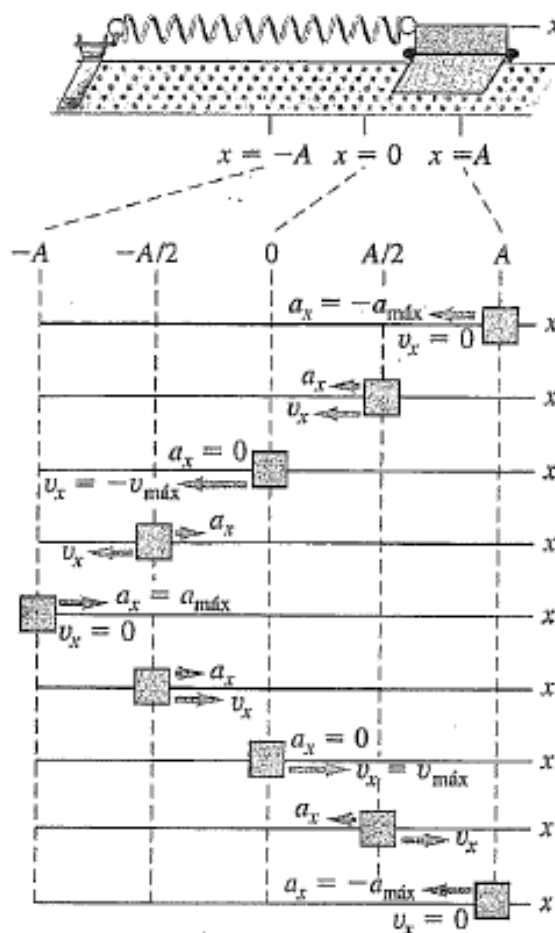
O gráfico  $v_x-t$  está deslocado de  $\frac{1}{4}$  de ciclo em relação ao gráfico  $x-t$ .

(c) Aceleração  $a_x$  em função do tempo  $t$ .

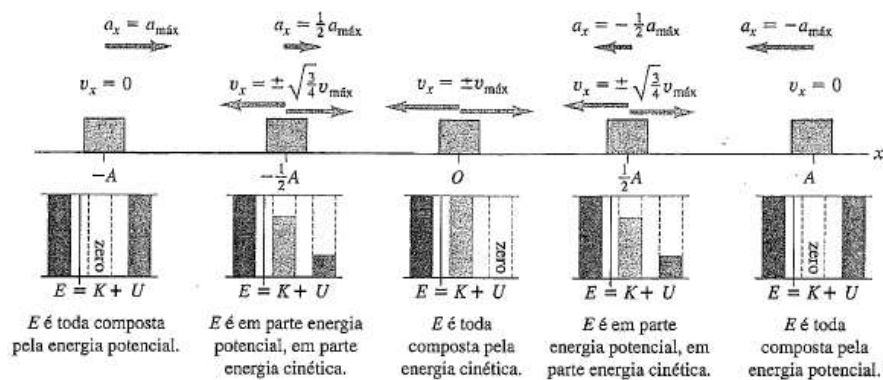


O gráfico  $a_x-t$  está deslocado de  $\frac{1}{4}$  de ciclo em relação ao gráfico  $v_x-t$  e de  $\frac{1}{2}$  ciclo em relação ao gráfico  $x-t$ .

**Figura 13.12** Gráficos de (a)  $x$  em função de  $t$ , (b)  $v_x$  em função de  $t$  e (c)  $a_x$  em função de  $t$  para um corpo em MHS. Para o movimento descrito nestes gráficos,  $\phi = \pi/3$ .



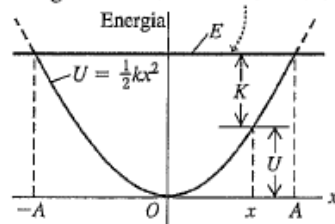
**Figura 13.13** Como a velocidade  $v_x$  e a aceleração  $a_x$  ao longo do eixo  $Ox$  variam durante um ciclo de MHS.



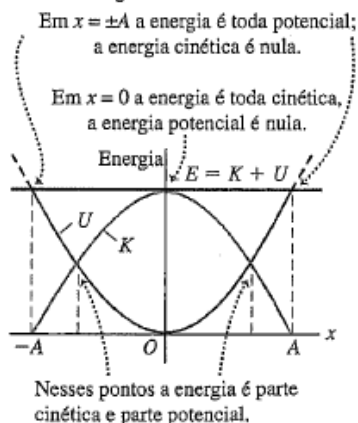
**Figura 13.14** Gráficos de  $E$ ,  $K$  e  $U$  em função do deslocamento em MHS. A velocidade do corpo *não* é constante, portanto essas imagens do corpo em posições com intervalos espaciais iguais entre si *não* estão colocadas em intervalos iguais no tempo.

(a) A energia potencial  $U$  e a energia mecânica total  $E$  de um corpo em MHS em função do deslocamento  $x$ .

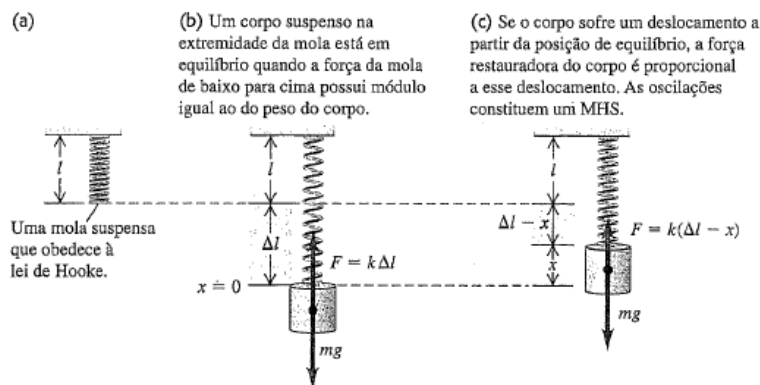
A energia mecânica total  $E$  é constante.



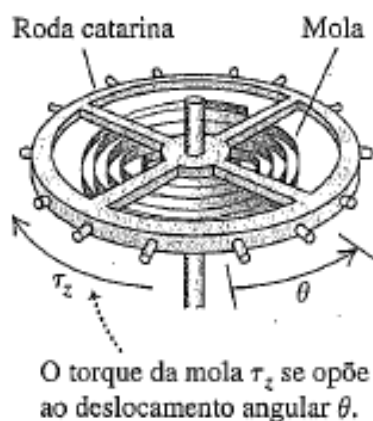
(b) O mesmo gráfico do item (a), mostrando também a energia cinética  $K$ .



**Figura 13.15** Energia cinética  $K$ , energia potencial  $U$  e energia mecânica total  $E$  em função da posição no MHS. Em cada ponto  $x$  a soma dos valores de  $K$  e de  $U$  é sempre igual ao valor constante  $E$ . Você consegue demonstrar que a energia é em parte cinética e em parte potencial em  $x = \pm \frac{1}{2}A$ ?



**Figura 13.17** Um corpo suspenso na extremidade de uma mola.

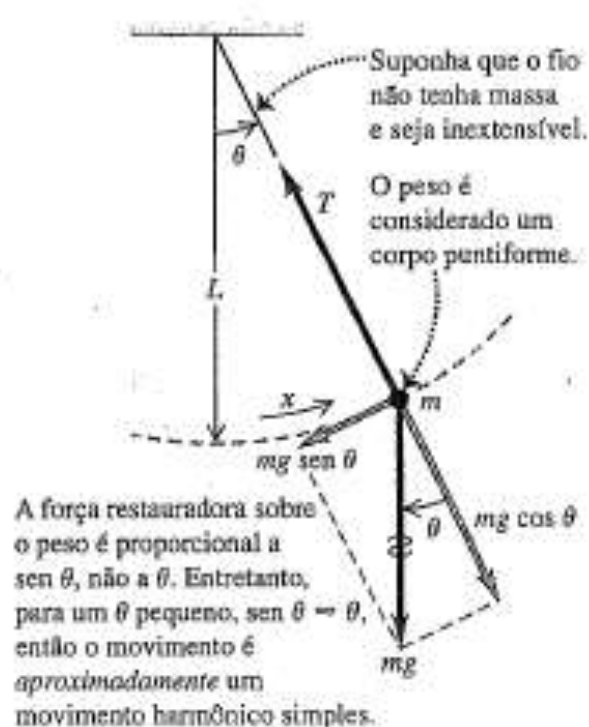


**Figura 13.19** A roda catarina de um relógio mecânico. A mola helicoidal exerce um torque restaurador proporcional ao deslocamento angular  $\theta$  a partir da posição de equilíbrio. Logo, o movimento é um MHS.

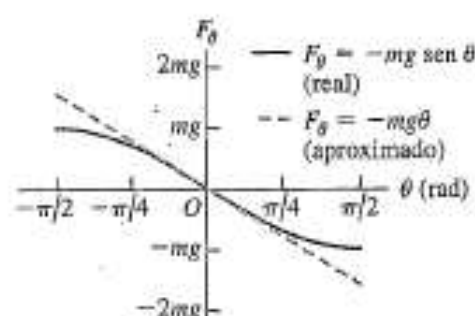
(a) Um pêndulo real.



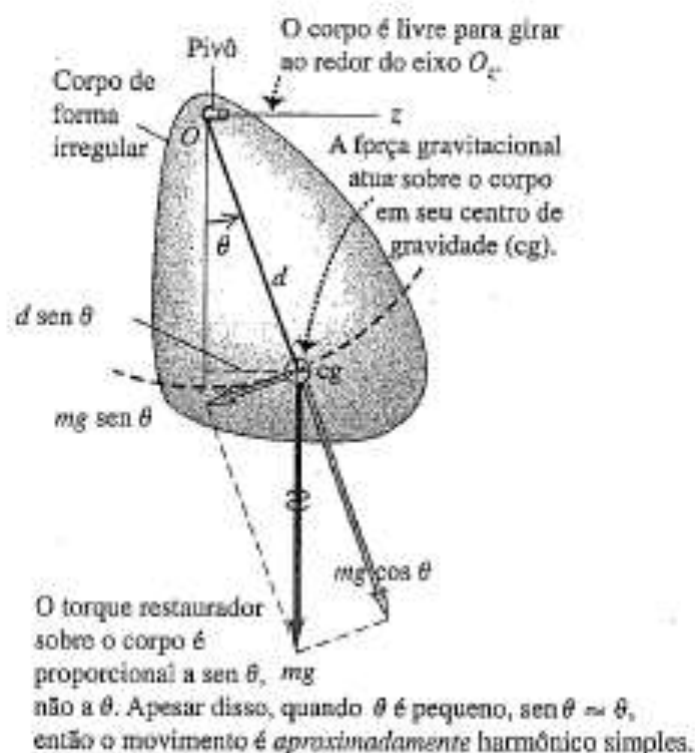
(b) Um pêndulo ideal simples.



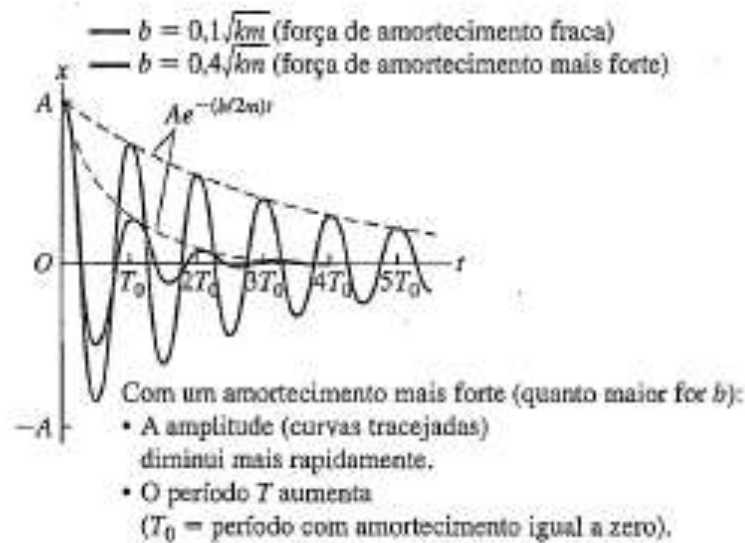
**Figura 13.21** A dinâmica de um pêndulo simples.



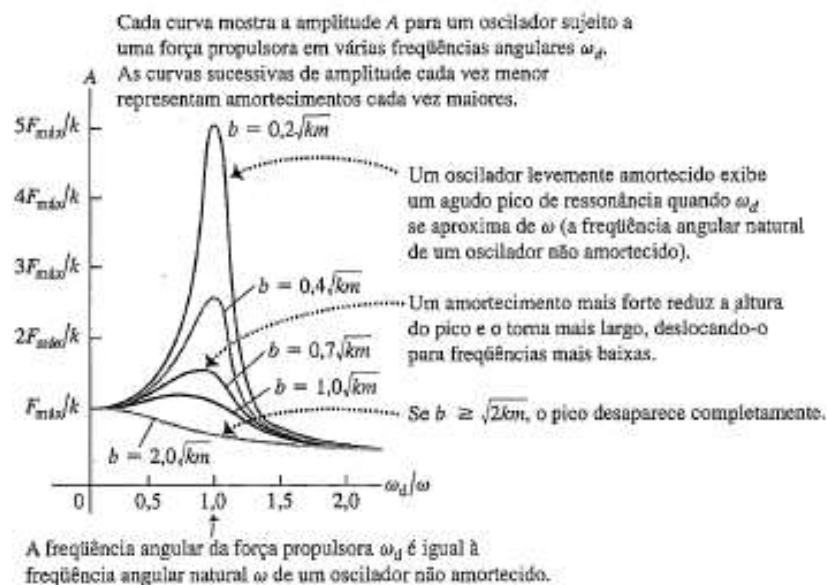
**Figura 13.22** Em deslocamentos angulares pequenos  $\theta$ , a força restauradora  $F_\theta = -mg \sin \theta$  sobre um pêndulo simples é aproximadamente igual a  $-mg \theta$ , isto é, é aproximadamente proporcional ao deslocamento  $\theta$ . Assim, para ângulos pequenos, as oscilações são movimentos harmônicos simples.



**Figura 13.23** Dinâmica de um pêndulo físico.



**Figura 13.26** Gráfico do deslocamento em função do tempo de um oscilador com leve amortecimento (ver Figura 13.42) e com um ângulo de fase  $\phi = 0$ . As curvas mostram dois valores da constante de amortecimento  $b$ .



**Figura 13.28** Gráfico da amplitude  $A$  da oscilação forçada de um oscilador harmônico amortecido em função da frequência angular  $\omega_d$  da força propulsora. O eixo horizontal indica a razão entre a frequência angular  $\omega_d$  e a frequência angular  $\omega = \sqrt{k/m}$  da oscilação natural não amortecida. Cada curva apresenta um valor diferente da constante de amortecimento  $b$ .