Queda com Resistência e Velocidade Terminal

12.º Ano | Física | 4 páginas | 12 exercícios

Competências que desenvolve: ler o gráfico v(t) de uma queda com resistência do ar, extrair a velocidade terminal e o instante de cada regime, calcular o coeficiente de resistência e o coeficiente de viscosidade a partir da velocidade terminal e justificar fisicamente cada região da curva.

Revisão rápida

- **Queda com resistência:** a resistência cresce com v, logo $a = g - F_{res}/m$ vai **diminuindo** — a curva $v(t)$ é côncava e achata-se.
- **Velocidade terminal:** quando $F_{res} = P$ (com o corpo a cair), $a = 0$ e v fica constante = **assíntota**. Não é repouso: é movimento a velocidade constante.
- **Modelo linear** ($F_{res} = kv$): $v_t = mg/k$ e $a(v) = g(1 - v/v_t)$ — a aceleração cai linearmente até zero.
- **Leituras do gráfico:** ponto da curva = (t, v) · **declive da tangente = aceleração** · declive inicial = g · assíntota = v_t.

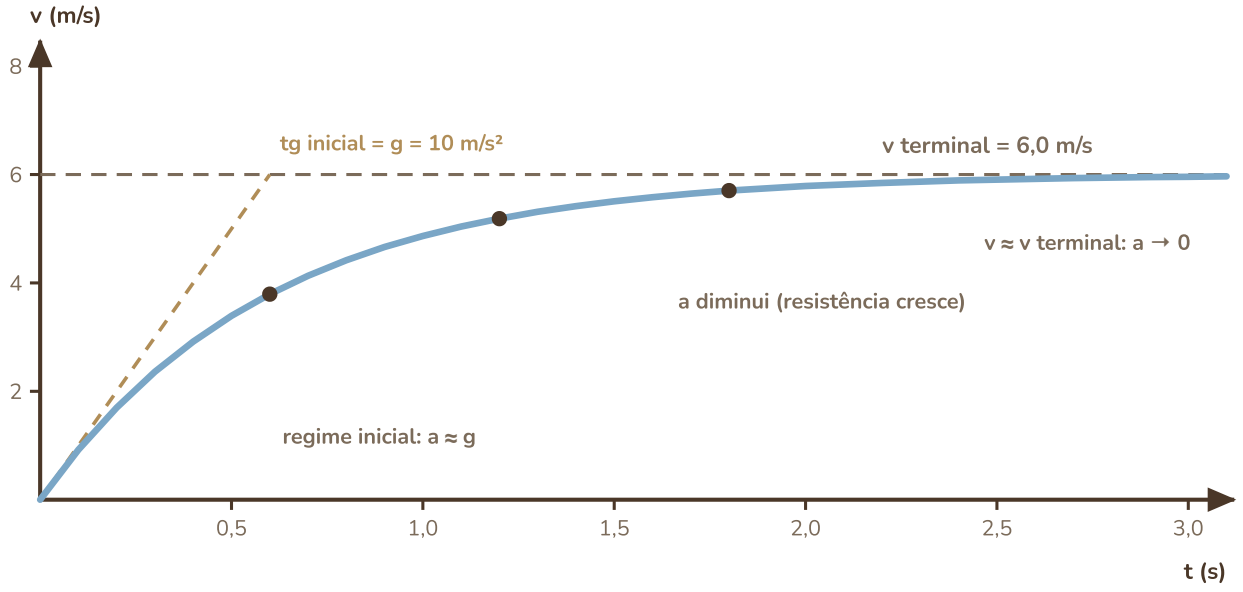


Figura 1 — Queda com resistência proporcional à velocidade: $v(t)$ parte de zero com declive inicial g = 10 m/s² (tangente tracejada, τ = 0,6 s) e aproxima-se da assíntota **v terminal = 6,0 m/s** sem a cruzar. Pontos marcados a t = 0,6 · 1,2 · 1,8 s.

Exercícios — leitura do gráfico

1. V/F — justifica com a Figura 1: a) A tangente tracejada tem declive g = 10 m/s² — é a aceleração no instante em que v = 0. ( ) b) Em t = 3,0 s a velocidade é praticamente 6,0 m/s. ( ) c) Dado tempo suficiente, a curva cruza a assíntota. ( ) d) Depois de t = 2,0 s o corpo continua a acelerar como no início. ( )

2. Velocidade terminal: lê na assíntota v_t = ____ m/s. A que instante é que a curva atinge os 95% de v_t (isto é, $v \geq 5{,}7$ m/s)? t ≈ ____ s (leitura).

3. Porque existe v_t: escreve a aceleração $a = g - F_{res}/m$ e explica o que se passa quando $F_{res} = P$. Para um paraquedista de 60 kg, que força de resistência é necessária? F_{res} = mg = ____ N. É um estado de repouso?

4. Coeficiente de resistência: com $F_{res} = kv$ e v_t = mg/k, deduz k = mg/v_t = 600/6 = ____ N·s/m.

5. Aceleração a meio caminho: quando v = 3,0 m/s (metade de v_t): a = g(1 − v/v_t) = 10 × (1 − ½) = ____ m/s². Leitura no gráfico: esse instante está entre ____ s e ____ s (perto de 0,42 s).

6. Os três declives: descreve o declive da curva (a aceleração) em cada uma das três regiões rotuladas — porque é que diminui e porque é que vai a zero?

© 2026 Estudantices

7. Viscosidade (Stokes): uma esfera de m = 0,002 kg e raio r = 0,004 m atinge v_t = 0,25 m/s num líquido. Usando $F = 6\pi\eta r v_t$ = mg (força de Stokes), calcula η = mg/(6πr v_t) = ____ Pa·s.

8. Massa a mais: se o paraquedista de 60 kg (mesmo k = 100) tiver 120 kg, a nova v_t = mg/k = ____ m/s — ou seja, ____ vezes maior. O que isto explica em saltos reais?

9. Leituras com os pontos marcados: v(0,6 s) = ____ m/s · v(1,2 s) = ____ m/s · v(1,8 s) = ____ m/s. O que é que o aumento destas leituras revela sobre a aceleração?

10. Nunca «chega»: porque é que a curva se aproxima da assíntota mas não a toca exatamente? O que acontece a F_{res} quando $v \to v_t$? E porque é que na prática se diz que o corpo «atinge» a velocidade terminal?

11. Esboço: um corpo de 30 kg com o mesmo k = 100 tem v_t = ____ m/s. Desenha (rascunho) onde ficaria a nova curva e a sua assíntota na figura — acima, abaixo ou em cima da atual?

12. Desenvolvimento. Conta a história da curva $v(t)$ usando os três elementos da figura — tangente inicial, concavidade e assíntota — ligando cada um a uma força: o que domina no início, o que muda a meio e o que se equilibra no fim.

© 2026 Estudantices

Soluções — Queda com Resistência e Velocidade Terminal

1. a) **V** — com $v = 0$ não há resistência, logo a = g: o declive da curva no origem é 10 m/s². b) **V** — $v(3{,}0) = 5{,}97 \approx 6{,}0$ m/s (praticamente na assíntota). c) **F** — a exponencial aproxura-se mas nunca atinge a assíntota. d) **F** — depois de 2,0 s o declive é quase nulo: $a \approx 0$, muito menor que no início.

2. v_t = **6,0 m/s** · 95% de 6 = 5,7 m/s → leitura na curva: **t ≈ 1,8 s** (= 3τ ✓).

3. a = g − F_{res}/m: no início v pequena ⇒ resistência pequena ⇒ $a \approx$ g; à medida que v cresce, F_{res} cresce e a cai; quando $F_{res} = P$ → $a = 0$ e v = constante. Com 60 kg: F_{res} = 60 × 10 = **600 N**. **Não** é repouso — é movimento uniforme (v = 6,0 m/s constante).

4. k = mg/v_t = 600/6 = **100 N·s/m** (cada m/s de velocidade «pede» 100 N de resistência).

5. a = 10 × (1 − 0,5) = **5,0 m/s²** (metade de g) · instante: leitura da curva entre **0,4 s** e **0,5 s** (exatamente 0,42 s — $t = \tau \cdot \ln 2$).

6. Inicial: declive ≈ 10 m/s² — só o peso conta, $a \approx$ g (quase queda livre). Meio: o declive diminui — a resistência cresce com v e rouba aceleração (curva côncava). Final: declive ≈ 0 — $F_{res} = P$, resultante nula, v constante na assíntota.

7. η = 0,002 × 10/(6π × 0,004 × 0,25) = 0,02/0,01885 = **1,06 Pa·s ≈ 1,1 Pa·s** (um líquido viscoso, tipo óleo — a água seria 0,001).

8. v_t = 120 × 10/100 = **12 m/s** = **2×** a anterior ($v_t \propto m$ para k fixo): quem pesa mais precisa de mais velocidade (mais resistência) para equilibrar o peso — por isso o tamanho do paraquedas é ajustado à massa.

9. v(0,6) = **3,8 m/s** · v(1,2) = **5,2 m/s** · v(1,8) = **5,7 m/s** — os saltos entre leituras encurtam (1,4 m/s e depois apenas 0,5 m/s nos intervalos de 0,6 s): a aceleração diminui continuamente.

10. A curva é exponencial: aproxura-se a 6,0 m/s por valores cada vez menores, sem a alcançar em tempo finito. Quando $v \to v_t$, $F_{res} = kv \to mg$ (resultante → 0). Na prática diz-se que «atinge» porque a diferença torna-se desprezível muito cedo (a 1,8 s já lá estão 95%).

11. v_t = 30 × 10/100 = **3 m/s** — a nova assíntota fica a **metade da altura** da atual (linha a v = 3, metade entre 0 e 6) e a curva atinge-a mais depressa (τ = v_t/g = 0,3 s).

12. (modelo) No **início**, $v = 0$: sem resistência, só o peso — daí a tangente ter declive exatamente g = 10 m/s² (regime de quase queda livre). A **meio**, a velocidade já é grande e a resistência (kv) cresce com ela: a resultante $mg - kv$ encolhe, a aceleração cai e a curva afasta-se da tangente (concavidade para baixo). No **fim**, $kv = mg$: resultante nula, $a = 0$ e a velocidade estabiliza na assíntota v_t = 6,0 m/s — o equilíbrio dinâmico entre peso e resistência que a figura desenha.