

Unidade IV

③ Uma certa bateria de automóvel de 12V pode fazer passar uma carga de 84 A.h (amperes - hora) por um circuito, de um terminal para o outro da bateria. (a) A quantos coulombs corresponde essa quantidade de carga? (b) Se toda essa carga sofre uma variação de potencial elétrico de 12V. qual energia envolvida

$$U = \frac{E_{el}}{q}$$

$$E_{el} = U \cdot q$$

$$1 \text{ AH} \text{ ————— } 3600 \text{ C}$$

$$84 \text{ AH} \text{ ————— } q$$

$$q = 3600 \cdot 84$$

$$q = 302400 \text{ C}$$

U = Tensão elétrica (V)

E_{el} = Energia elétrica (J)

q = Quantidade de carga eletrizada (C)

$$E_{el} = 12 \cdot 302400$$

$$E_{el} = 3,628,800 \text{ J}$$

⑥ Duas placas paralelas condutoras de grande extensão estão separadas por uma distância de 12 cm e possuem densidades superficiais de carga de mesmo valor absoluto e sinais opostos nas faces internas. Uma força eletrostática de $3,9 \times 10^{-15} \text{ N}$ age sobre um elétron colocado na ~~região~~ região entre as duas placas. (Despreze o efeito de borda). (a) Determine o campo elétrico na posição do elétron. (b) Determine a diferença de potencial entre as placas.

$$a) E = \frac{F}{q}$$

$$E = \frac{3,9 \times 10^{-15}}{1,6 \times 10^{-19}}$$

$$E = 2,44 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$b) V = E \cdot d$$

$$V = 2,44 \times 10^4 \cdot 0,12$$

$$V = 2928 \text{ V}$$

⑦ Quando o ônibus espacial atravessa a ionosfera da Terra, formado por gases rarefeitos e ionizados o potencial da nave varia de aproximadamente $-1,0 \text{ V}$ a cada revolução. Supondo que o ônibus espacial é uma esfera com 10 m de raio, estime a carga elétrica recolhida a cada revolução.

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \sum \frac{q_i}{r_i} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{\sum q_i}{R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{R}$$

$$Q = R \cdot V \cdot 4\pi\epsilon_0 \Rightarrow 10 \cdot (-1) \cdot 4\pi \cdot 8,85 \times 10^{-12}$$

$$Q = -11 \times 10^{-9} \text{ C}$$

19) Uma gota d'água esférica com uma carga de 30 pC tem um potencial de 500 V na superfície (com $V=0$ no infinito). (a) Qual é o raio da gota (b) Se duas gotas de mesma carga e raio se combinam para formar uma gota esférica, qual é a potencial na superfície da nova gota?

A)

$$V = \frac{K \cdot Q}{R}$$

$$R = \frac{K \cdot Q}{V}$$

$$R = \frac{9 \times 10^9 \cdot 30 \times 10^{-12}}{500}$$

$$R = 5,4 \times 10^{-4} \text{ m}$$

b) - aglutinando as duas esferas a carga duplicada, $Q = 60 \times 10^{-12}$ os volumes somam:

$$\frac{4}{3} \pi R^3 + \frac{4}{3} \pi R^3 = \frac{4}{3} \pi R_m^3$$

- cortando as constantes

$$R^3 + R^3 = R_m^3$$

$$2R^3 = R_m^3$$

$$R_m = R^3 \sqrt{2} = 5,4 \times 10^{-4} \cdot \sqrt{2} = 6,8 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$V' = \frac{(9 \times 10^9) \cdot (60 \times 10^{-12})}{6,8 \times 10^{-4}}$$

$$V' = 794,1 \text{ V}$$

21) A molécula de amoníaco (NH_3) possui um dipolo elétrico permanente de $1,47 \text{ D}$, onde $1 \text{ D} = 1 \text{ debye} = 3,34 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$. Calcule o potencial elétrico produzido por uma molécula de amoníaco em um ponto sobre o eixo a uma distância de $52,0 \text{ nm}$. (tome $V=0$ no infinito).

$$p = 1,47 \cdot D$$

$$p = 1,47 \cdot 3,34 \times 10^{-30} \text{ C} \cdot \text{m}$$

$$r = 52 \times 10^{-9} \text{ m}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p \cdot \cos\theta}{r^2}$$

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{p}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1,47 \cdot 3,34 \times 10^{-30}}{(52 \times 10^{-9})^2}$$

$$V = 1,63 \times 10^{-5} \text{ V}$$

(41) Uma partícula de carga q é mantida fixa no ponto P e uma segunda partícula de massa m , com a mesma carga q , é mantida inicialmente a uma distância r_1 de P. A segunda partícula é liberada. Determine a velocidade da segunda partícula quando se encontra a uma distância r_2 de ponto P. Supondo que $q = 3,1 \mu\text{C}$, $m = 20 \text{ mg}$, $r_1 = 0,90 \text{ mm}$ e $r_2 = 2,5 \text{ mm}$.

$$q = 3,1 \times 10^{-6} \text{ C}$$

$$m = 20 \times 10^{-6} \text{ kg}$$

$$r_1 = 0,9 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$r_2 = 2,5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r}$$

$$U_1 = U_2 + K$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q}{r_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot q}{r_2} + \frac{mV^2}{2}$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q^2}{r_2} = \frac{m \cdot V^2}{2}$$

$$\sqrt{\frac{2}{m} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot q^2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)} = V$$

$$\sqrt{\frac{2}{20 \times 10^{-4}} \cdot 8,99 \times 10^9 \cdot (3,1 \times 10^{-6})^2 \cdot \left(\frac{1}{0,9 \times 10^{-3}} - \frac{1}{2,5 \times 10^{-3}} \right)}$$

$$\approx 2,5 \times 10^3 \text{ m/s}$$

113) A Fig 24-71 mostra três partículas carregadas situadas sobre um eixo horizontal. Para pontos (como P) sobre o eixo a com $r > d$, mostre que o potencial elétrico $V(r)$ é dado por: $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \left(1 + \frac{2d}{r}\right)$.

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r-d} + \frac{1}{r} - \frac{1}{r+d} \right]$$

$$\frac{1}{r-d} = (r-d)^{-1} \approx (r)^{-1} - (r)^{-2}(-d) = \frac{1}{r} + \frac{d}{r^2}$$

$$\frac{1}{r+d} \approx \frac{1}{r} - \frac{d}{r^2}$$

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r} + \frac{d}{r^2} + \frac{1}{r} - \frac{1}{r} + \frac{d}{r^2} \right] = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1}{r} + \frac{2d}{r^2} \right] \Rightarrow$$

$$V = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \left[\frac{1 + \frac{2d}{r}}{r} \right]$$

Unidade V

① O Capacitor da Fig 25-26 possui uma Capacidade de $25 \mu\text{F}$ e está inicialmente descarregado. A bateria produz uma diferença de potencial de 120 V . Quando a chave S é fechada, qual é a carga total que passa por ela?

$$C = 25 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$\Delta V = 120 \text{ V}$$

$$Q = C \cdot \Delta V$$

$$Q = 25 \times 10^{-6} \cdot 120$$

$$Q = 3 \times 10^{-3} \text{ C}$$

⑤ Um capacitor de placas paralelas possui placas circulares com um raio de $8,20 \text{ cm}$, separadas por uma distância de $1,30 \text{ mm}$. (a) Calcule a capacitância. (b) Qual é a carga das placas se uma diferença de potencial de 120 V é aplicada ao capacitor?

$$R = 8,2 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$$d = 1,3 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Delta V = - \int \vec{E} \cdot d\vec{s} = - \int -E \cdot ds = \int E \cdot ds$$

$$\Delta V = E \int ds = E \cdot d$$

$$\Delta V = E \cdot d$$

$$C = \frac{Q}{\Delta V} = \frac{\epsilon_0 \cdot E \cdot A}{E \cdot d} \Rightarrow C = \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d} \quad A = \pi R^2$$

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \pi \cdot R^2}{d} = \frac{8,85 \times 10^{-12} \cdot \pi \cdot (8,2 \times 10^{-2})^2}{1,3 \times 10^{-3}}$$

$$C \approx 1,44 \times 10^{-10} \text{ F}$$

$$Q = C \cdot \Delta V$$

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E \oint dA = \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$EA = \frac{Q}{\epsilon_0} \Rightarrow Q = \epsilon_0 \cdot E \cdot A$$

$$D) Q = C \cdot \Delta V = 1,44 \times 10^{-10} \cdot 120$$

$$Q = 1,73 \times 10^{-8} \text{ C}$$

⑧ Determine a capacidade equivalente do circuito da Fig 25-28 para $C_1 = 10,0 \mu F$, $C_2 = 5,00 \mu F$ e $C_3 = 4,00 \mu F$.

$$C_1 = 10 \times 10^{-6} F$$

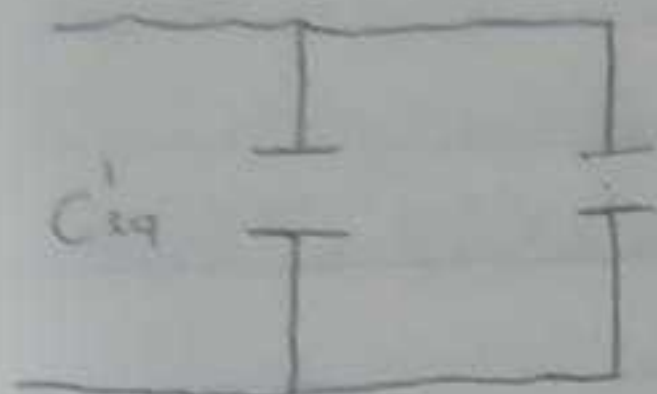
$$C_2 = 5 \times 10^{-6} F$$

$$C_3 = 4 \times 10^{-6} F$$

$$\frac{1}{C'_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}$$

$$\frac{1}{C'_{eq}} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 \cdot C_2}$$

$$C'_{eq} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 + C_2}$$



$$C_{eq} = C'_{eq} + C_3 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_3$$

$$C_{eq} = \frac{10 \times 10^{-6} \cdot 5 \times 10^{-6}}{10 \times 10^{-6} + 5 \times 10^{-6}} + 4 \times 10^{-6}$$

$$C_{eq} = 7,33 \times 10^{-6} F$$

⑨ Quantos capacitores de $1,00 \mu F$ devem ser ligados em paralelo para armazenar uma carga de $1,00 C$ com uma diferença de potencial de $110 V$ entre as placas dos capacitores?

$$Q = C \cdot \Delta V$$

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

$$N \cdot C_1 = C_{eq}$$

$$N = \frac{C_{eq}}{C_1} = \frac{1}{110} \cdot \frac{1}{10^{-6}} = 9,09 \times 10^3$$

$$C_{eq} = \frac{1}{110}$$

$$C_1 = 1 \times 10^{-6} F$$

11) Os três capacitores da Fig. 25-30 estão inicialmente descarregados e têm uma capacidade de $25,0 \mu\text{F}$. Uma diferença de potencial $V = 4200 \text{ V}$ entre as placas dos capacitores é estabelecida quando a chave é fechada. Qual é a carga total atravessando o medidor A?

$$C_1 = 25 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$\Delta V = 4200 \text{ V}$$

$$Q = ?$$

$$C_{\text{eq}} = C + C + C = 3C_1$$

$$Q = C \cdot \Delta V \rightarrow Q = C_{\text{eq}} \cdot \Delta V$$

$$Q = 3C_1 \cdot 4200 = 3 \cdot 25 \times 10^{-6} \cdot 4200$$

$$Q = 0,315 \text{ C}$$

19) Um Capacitor de $2,0 \mu\text{F}$ e um Capacitor de $4,0 \mu\text{F}$ são ligados em paralelo a uma fonte com uma diferença de potencial de 300 V . Calcule a energia total armazenada nos capacitores.

$$C' = C_1 + C_2$$

$$C' = 2 + 4 = 6 \mu\text{F} = 6 \times 10^{-6} \text{ F}$$

$$1 \text{ F} \xrightarrow{96500 \text{ C}}$$

$$6 \times 10^{-6} \text{ F} \xrightarrow{X}$$

$$X = 0,579 \text{ C}$$

$$E = \frac{C' V^2}{2}$$

$$E = \frac{0,579 \cdot (300)^2}{2}$$

$$E = 26055 \text{ J}$$

43) Um Cabo coaxial usado em uma linha de transmissão tem um raio interno de 0,10 mm e um raio externo de 0,60 mm. Calcule a capacidade por metro do Cabo, supondo que o espaço entre os condutores seja preenchido com poliestireno.

$$C = \frac{2\pi \cdot \epsilon_0 L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$\frac{C'}{L} = \frac{2\pi \cdot K \cdot \epsilon_0}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$= \frac{2 \cdot \pi \cdot 2,6 \cdot 8,85 \times 10^{-12}}{\ln\left(\frac{0,6 \times 10^{-3}}{0,1 \times 10^{-3}}\right)}$$

$$C' = \frac{2\pi \cdot K \cdot \epsilon_0 L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)}$$

$$\frac{C'}{L} = 8,1 \cdot 10^{-11} \frac{F}{m}$$

Unidade VI

① Durante 4:0 min em que uma corrente de 5,0 A atravessa um fio, (a) quantos coulombs e (b) quantos elétrons passam por uma seção reta do fio?

a) $SA = 5C/s$ b) $n = \frac{1200}{1,6 \times 10^{-19}}$

4 min = 4.600 = 2400

$n = 4,5 \times 10^{21}$ elétrons

$240 \cdot 5 = 1200C$

② Uma esfera condutora isolada tem 10 cm de raio. Um fio leva até ela uma corrente de 1,000 002 0 A. Outro fio retira dela uma corrente de 1,000 00 0 A. Quanto tempo é necessário para que o potencial da esfera aumente de 1000 V?

$$\Delta t = \frac{\Delta q}{(i_c - i_s)} \Rightarrow \frac{4 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \pi \cdot R \cdot \Delta V}{(i_c - i_s)}$$

$$\Delta t = \frac{(0,10 \text{ m}) \cdot (1000 \text{ V})}{(8,99 \times 10^9 \text{ Nm}) \cdot (1,0 \text{ A} - 1,0 \text{ A})}$$

$$\Delta t = 5,6 \times 10^{-10} \text{ s}$$

⑤ O fusível de um circuito elétrico é um fio projetado para fundir, abrindo o circuito, se a corrente ultrapassar um certo valor. Suponha que o material a ser usado em um fusível funde quando a densidade de corrente ultrapassa 440 A/cm^2 . Que diâmetro de fio cilíndrico deve ser usado para fazer um fusível que limite a corrente a $0,50 \text{ A}$? $J = 440 \text{ A/cm} = 440 \times 10^4 \text{ A/m}^2$

$$i = 0,5 \text{ A}$$

$$i = J \cdot A \Rightarrow A = \frac{i}{J}$$

$$A = J \cdot \tilde{\pi} \cdot R^2$$

$$R = \sqrt{\frac{i}{J \cdot \tilde{\pi}}} = \sqrt{\frac{0,5}{440 \times 10^4 \cdot \tilde{\pi}}} = 1,9 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$D = 2 \cdot R = 3,8 \times 10^{-4} \text{ m}$$

⑩ Perto da Terra, a densidade de prótons no Vento Solar (uma corrente de partículas proveniente do Sol) é $8,70 \text{ cm}^{-3}$ e a velocidade dos prótons é 470 km/s . (a) Determine a densidade de corrente dos prótons do Vento Solar. (b) Se o campo magnético da Terra não desviasse os prótons, qual seria a corrente recebida pela Terra devido aos prótons do Vento Solar?

$$J = n \cdot v$$

$$J = (8,70 \times 10^{-6} \text{ m}^{-3}) \cdot (1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \cdot (470 \times 10^3 \text{ m/s})$$

$$J = 6,54 \times 10^{-7} \text{ A/m}^2$$

$$b) i = A \cdot J = \tilde{\pi} \cdot R^2 \cdot E$$

$$i = \tilde{\pi} \cdot (6,37 \times 10^6)^2 \cdot (6,54 \times 10^{-7})$$

$$i = 8,34 \times 10^4 \text{ A}$$

15) Um fio de nichrome (uma liga de níquel, cromo e ferro muito usado em elementos de aquecimento) tem 1,0 m de comprimento e $1,0 \text{ mm}^2$ de seção reta e conduz uma corrente de 4,0 A quando uma diferença de potencial de 2,0 V é aplicada a suas extremidades. Calcule a condutividade σ do Nichrome.

$$\sigma = 1/P = \frac{L}{RA} = \frac{L}{\left(\frac{V}{I}\right) \cdot A} = \frac{L \cdot I}{V \cdot A}$$

$$\frac{L \cdot I}{V \cdot A} = \frac{(1,0) \cdot (4,0)}{(2,0) \cdot (1 \times 10^{-6})} \Rightarrow 2,0 \times 10^6 \Omega \cdot \text{m}$$

17) Um fio elétrico tem 1,0 mm de diâmetro, 2,0 m de comprimento e uma resistência de $50 \text{ m}\Omega$. Qual é a resistividade do material?

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$R = \frac{\rho \cdot l_0}{A}$$

$$A = \pi \cdot (5 \times 10^{-4})^2$$

A

$$A = 7,85 \times 10^{-7}$$

$$R \cdot A = \rho \cdot l_0$$

$$\rho = \frac{(50 \cdot (7,85 \times 10^{-7}))}{2}$$

$$\rho = 1,96 \times 10^{-5}$$

42) Um resistor dissipa uma potência de 100 W quando a corrente é de 3,00 A. Qual é a resistência?

$$P = R \cdot i^2$$

$$100 = R \cdot 3^2$$

$$9R = 100$$

$$R = 11,1 \Omega$$

51) Uma lâmpada de 100 W é ligada a uma tomada de parede de 120 V. (a) Quanto custa deixar a lâmpada ligada continuamente durante um mês de 31 dias? Suponha que o preço da energia elétrica é \$ 0,06 KWh. (b) Qual é a resistência da lâmpada? (c) Qual é a corrente na lâmpada?

$$a) P = \frac{E}{\Delta T}$$

$$E = 100 \cdot (31 \cdot 24)$$

$$E = 74,4 \text{ KJ}$$

$$\text{Custo} = R\$ 44,64$$

$$b) P = i \cdot V$$

$$i = \frac{100}{120} = \frac{5}{6}$$

$$P = i^2 \cdot R$$

$$R = \frac{100}{\left(\frac{5}{6}\right)^2}$$

$$R = 144 \, \Omega$$

$$c) i = \frac{5}{6} \text{ A} \approx 0,8334 \text{ A}$$

Unidade V II

④ Na Fig 27-26 as fontes ideais tem forças eletromotricas $\mathcal{E}_1 = 12\text{ V}$ e $\mathcal{E}_2 = 6,0\text{ V}$ e os resistores tem resistencia $R_1 = 4,0\ \Omega$ e $R_2 = 8,0\ \Omega$. Determine (a) a corrente no circuito, (b) a potencia dissipada no resistor 1, (c) a potencia dissipada no ~~resistor~~ resistor 2, (d) a potencia fornecida pela fonte 1, (e) a potencia fornecida pela fonte 2 (f) A fonte 1 esta fornecendo ou recebendo energia? (g) A fonte 2 esta fornecendo ou recebendo energia?

$$\text{a) } \mathcal{E}_1 - R_2 \cdot i - R_1 \cdot i - \mathcal{E}_2 = 0$$

$$\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = R_2 i + R_1 i$$

$$\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = i \cdot (R_2 + R_1)$$

$$i = \frac{\mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2}{R_2 + R_1} = \frac{12 - 6}{8 + 4} = \frac{6}{12} = 0,5\text{ A}$$

$$\text{b) } P = i \cdot V \Rightarrow P = R \cdot i^2 \Rightarrow P = \frac{V^2}{R}$$

$$P_1 = R_1 \cdot i^2 = 4 \cdot 0,5^2 = 1\text{ W}$$

$$\text{c) } P_2 = R_2 \cdot i^2 = 8 \cdot 0,5^2 = 2\text{ W}$$

$$\text{d) } P = i \cdot \mathcal{E}$$

$$P_{F_1} = i \cdot \mathcal{E}_1 = 0,5 \cdot 12 = 6\text{ W}$$

$$\text{e) } P_{F_2} = i \cdot \mathcal{E}_2 = 0,5 \cdot 6 = 3\text{ W}$$

f) \mathcal{E}_1 esta fornecendo

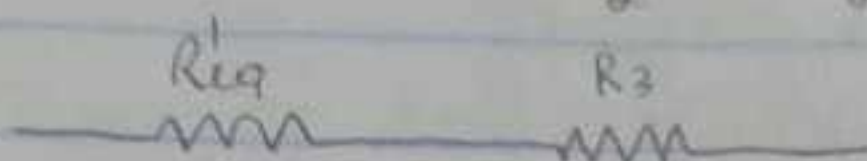
g) \mathcal{E}_2 esta recebendo

23) Na figura 24-38, $R_1 = R_2 = 4,00 \, \Omega$ e $R_3 = 2,5 \, \Omega$. Determine a resistência equivalente entre os pontos D e E. (Sugestão: Imagine que entre os dois pontos é ligado uma fonte.)

$$R_{eq} = \sum R \quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum \frac{1}{R}$$

$$R'_{eq} = \frac{R_0}{2} = \frac{4}{2} = 2 \, \Omega$$



$$R_{eq} = R'_{eq} + R_3 = 2 + 2,5 = 4,5 \, \Omega$$

57) Que múltiplo da constante de tempo τ é o tempo necessário para que um capacitor inicialmente descarregado em um circuito RC série seja carregado com 99,0% da carga final?

$$q = C \cdot \mathcal{E} \cdot (1 - e^{-t/RC}) = C \mathcal{E} (1 - e^{-t/\tau})$$

$$Q_0 = CV = C \mathcal{E}$$

$$Q_0 = C \cdot \mathcal{E}$$

$$Q_0 = 0,99 C \cdot \mathcal{E}$$

$$0,99 C \mathcal{E} = C \mathcal{E} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

$$0,99 = 1 - e^{-t/\tau}$$

$$0,99 - 1 = -e^{-t/\tau}$$

$$\ln(0,01) = \ln(e^{-t/\tau})$$

$$\ln(0,01) = \frac{-t}{\tau}$$

$$t = -\tau \cdot \ln(0,01)$$

$$t = \tau (-\ln(0,01))$$

$$t = 4,61 \cdot \tau$$

61) A Chave S da Fig 24-63 é fechada no instante $t=0$ fazendo com que um Capacitor inicialmente descarregado de capacitância $C = 15,0 \mu\text{F}$ comece a se carregar através de um resistor de resistência $R = 20,0 \Omega$. Em que instante a diferença de potencial entre os terminais do resistor?

$$V_C = \mathcal{E} \cdot (1 - e^{-t/RC})$$

$$V_R = \mathcal{E} e^{-t/RC}$$

$$\mathcal{E} \cdot (1 - e^{-t/RC}) = \mathcal{E} e^{-t/RC}$$

$$1 - e^{-t/RC} = e^{-t/RC}$$

$$1 = 2 e^{-t/RC}$$

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = \ln(e^{-t/RC})$$

$$\ln \frac{1}{2} = \frac{-t}{RC}$$

$$t = -RC \ln\left(\frac{1}{2}\right)$$

$$t = -20 \cdot 15 \times 10^{-6} \ln \frac{1}{2}$$

$$t = 0,209 \times 10^{-3} \text{ s}$$