



**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

*PEA - Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas*

## **Eletrotécnica Geral**

### **Lista de Exercícios 2**

- 1. Condutores e Dispositivos de Proteção**
- 2. Fornecimento e Tarifação de Energia Elétrica**
- 3. Motores Trifásicos de Indução**

**Novembro de 2005**

---

## 1. CONDUTORES E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

### Exercício 1.1

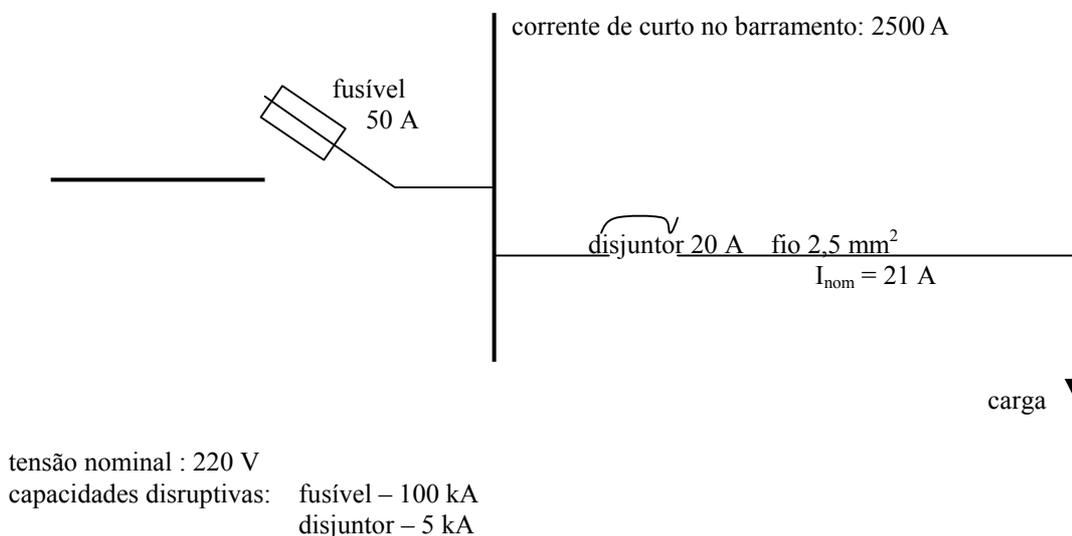
- Quais são os materiais utilizados como condutores?
- Quais são as bitolas padronizadas (métricas)?
- Quais são os materiais utilizados como isolantes extrudados? Quais são termo-plásticos? Quais são termo fixos?
- O que se entende por isolamento estratificado ?
- Qual é a diferença entre fio e cabo ?
- De que modo é calculada a corrente máxima em condutores isolados? (qualitativamente)
- Do que depende a corrente máxima destes condutores?
- Descubra consultando normas e/ou tabelas as correntes máximas dos seguintes condutores de cobre isolados com PVC, em eletrodutos embutidos, até três condutores por eletroduto, temperatura externa de 30° C:  $S (\text{mm}^2) = 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 95$ .

### Exercício 1.2

- Qual é o significado dos parâmetros impressos em um fusível: 10 A; 600 VAC; 100 kA?
- Quais são os dispositivos de atuação do disjuntor de baixa tensão ("quick-lag") ?
- Em quais condições são empregados ?

### Exercício 1.3

- No esquema abaixo, justifique a proteção do condutor pelo disjuntor, e a coordenação deste com o fusível.
- Justifique a existência de proteção de "backup" e a seletividade.



**Exercício 1.4**

Usando o gráfico da Figura 1.1, onde aparece a curva tempo x corrente de um disjuntor “no-fuse” genérico, responda:

- O que representa cada uma das regiões (1 e 2) indicadas no gráfico;
- Qual é o mecanismo de funcionamento do disjuntor em cada uma destas regiões;
- O que representam as correntes 15 e 50 (A)?
- No caso de uma sobrecarga de 40 A, este disjuntor protegeria um cabo que estivesse operando inicialmente à temperatura de 25 °C, cuja capa suportasse uma elevação de temperatura de 70 °C e que obedecesse à curva de elevação de temperatura dada abaixo?

$$\theta(t) = 0.013 \times I^2 \times 5.99 \times [1 - e^{-t/\tau}], \quad \text{onde } \tau = 74 \text{ (s)}$$

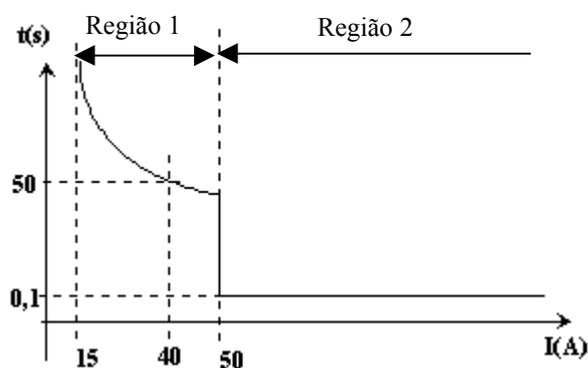


Figura 1.1 - Curva tempo x corrente de disjuntor

## 2. FORNECIMENTO E TARIFAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

### Exercício 2.1

- a) Desenhe os esquemas de ligação dos enrolamentos secundários dos transformadores de distribuição em cada um dos três sistemas mais utilizados:
- Delta com Neutro;
  - Estrela com Neutro;
  - Estrela sem neutro.
- b) Há 5 tipos de atendimento ao consumidor secundário (A, B, C, D e E). Dê a configuração de fios (nº de fases e neutro) que o consumidor recebe em cada um desses tipos de ligação.
- c) Quais os níveis de tensão normalmente empregados na distribuição em baixa tensão no Brasil? (indique  $V_{linha}/V_{fase}$ ).

### Exercício 2.2

Um consumidor industrial que apresentava a curva de demanda diária mostrada na Figura 2.1 (a), mediante uma modificação dos procedimentos de produção, conseguiu alterá-la para a curva mostrada na Figura 2.1 (b).

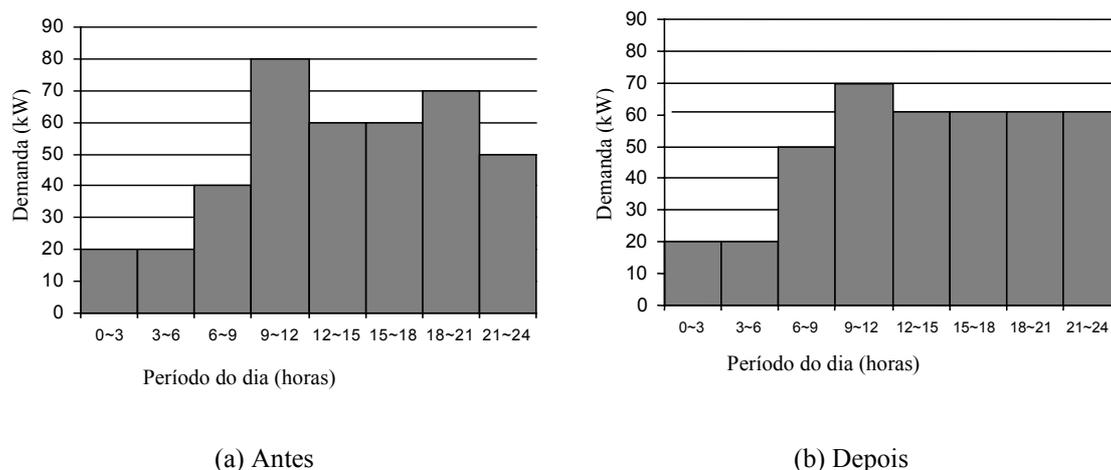


Figura 2.1 - Curvas de carga

Pede-se:

- a) Para cada uma das duas curvas acima determine a demanda máxima ( $D_{max}$ ) e a energia consumida em um mês ( $E_m$ ) (considerando mês de 30 dias úteis).  
**R.  $D_{max} a = 80 \text{ kW}$ ,  $D_{max} b = 70 \text{ kW}$ ,  $E_m a = 1200 \text{ kWh}$ ,  $E_m b = 1200 \text{ kWh}$**
- b) Determine o valor da fatura mensal da situação inicial deste consumidor (curva da Figura 2.1 (a)) caso ele pague uma tarifa Binômia conv. em que: Custo de energia:  $C_{en} = 82,00 \text{ R\$/MWh}$  e Custo da Demanda Máxima:  $C_{dem} = 5,80 \text{ R\$/kW}$  no mês. **Considerando mês de 30 dias e consumo igual todos os dias**  
**R. Fm inic. = R\$ 3.416,00**
- c) Determine o valor da fatura mensal da situação final deste consumidor (curva da Figura 2.1 (b)) caso ele pague a mesma tarifa Binômia conv. do item anterior.  
**R. Fm final. = R\$ 3.358,00**

**Exercício 2.3**

Para a curva de demanda diária dada a seguir de um consumidor alimentado em 13,8 kV, determinar:

Horário (h)	Demanda – úmido (kW)	Demanda – seco (kW)
0-6	80	60
6-12	120	100
12-15	100	80
15-18	140	120
18-21	170	150
21-24	80	60

- qual é a tarifa mais adequada nestas condições;
- proponha um rearranjo na curva de demanda que permita alcançar um custo menor que o obtido no item anterior mantendo a energia consumida.

O período de pico está entre 17 e 20 h. Os meses do período úmido vão de novembro a abril. Considerar a seguinte quantidade de dias para cada mês : janeiro: 31, fevereiro: 28, março: 31, abril: 30, maio: 31, junho: 30, julho: 31, agosto: 31, setembro: 30, outubro: 31, novembro: 30, dezembro: 31.

(Considerar curvas de carga iguais em todos os dias da semana)

Tarifa Convencional

$C_{dem}$ : 5,69 R\$/kW no mês

$C_{en}$ : 84,35 R\$/MWh

Tarifa Verde

$C_{dem}$ : 5,01 R\$/kW no mês

$C_{en}$  na ponta do período seco: 446,49 R\$/MWh

$C_{en}$  na ponta do período úmido: 439,16 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período seco: 46,91 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período úmido: 41,46 R\$/MWh

Tarifa Azul

$C_{dem}$  na ponta: 15,05 R\$/kW no mês

$C_{dem}$  fora de ponta: 5,01 R\$/kW no mês

$C_{en}$  na ponta do período seco: 98,68 R\$/MWh

$C_{en}$  na ponta do período úmido: 91,32 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período seco: 46,91 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período úmido: 41,46 R\$/MWh

R.: a) Fatura anual convencional= R\$ 85.678,30, Fatura anual Verde = R\$ 113.990,15, Fatura anual Azul = R\$ 82.781,05. Portanto a tarifa mais adequada é a Azul

**Exercício 2.4**

Dada a curva de demanda diária de um consumidor em 13,8 kV a seguir, nas seguintes condições:

- A curva é a mesma para todos os dias úteis;
- O consumo nos fins de semana é desprezível;
- O período de pico está entre 18 e 21 h;
- Os meses do período úmido vão de dezembro a abril;
- Considerar que todos os meses têm 30 dias (22 dias úteis mais 8 dias em fins de semana);
- Considerar que não há feriados,

Pede-se preencher a Tabela 2.1 e determinar qual a tarifa mais adequada, se a Convencional ou a Verde.

Tabela 2.1 - Energia e demanda máxima mensais

Parâmetro	Período Seco	Período Úmido
Energia Consumida fora da ponta (kWh)	1890	2250
Energia Consumida na ponta (kWh)	480	540
Energia Consumida Total (kWh)	2370	2790
Demanda máxima (kW)	160	180

Dados:

Tarifa Convencional

$C_{dem}$ : 5,69 R\$/kW no mês

$C_{en}$ : 83,35 R\$/MWh

Tarifa Verde

$C_{dem}$ : 5,01 R\$/kW no mês

$C_{en}$  na ponta do período seco: 446,49 R\$/MWh

$C_{en}$  na ponta do período úmido: 439,16 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período seco: 46,91 R\$/MWh

$C_{en}$  fora de ponta no período úmido: 41,46 R\$/MWh.

Curva de Demanda (ou Curva de Carga)

Horário (h)	Demanda – período úmido (kW)	Demanda – período seco (kW)
0-6	90	70
6-12	110	100
12-15	120	90
15-18	140	130
18-21	180	160
21-24	90	70

R.: a) Fatura anual convencional= R\$ 67.495,00, Fatura anual Verde = R\$ 93.125,82,  
Portanto a tarifa mais adequada é a Convencional

**Exercício 2.5**

Considerando um consumidor industrial que apresenta um consumo diário que varia da seguinte maneira:

das 0h às 6h: S = 1000 kVA;  
das 6h às 9h: S = 2000 kVA;  
das 9h às 12h: S = 5000 kVA;  
das 12h às 15h: S = 8000 kVA,  
das 15h às 18h: S = 12000 kVA;  
das 18h às 21h: S = 4000 kVA e  
das 21h às 24h: S = 2000 kVA.

(Considere  $\cos \phi = 0.95$  em todos os períodos).

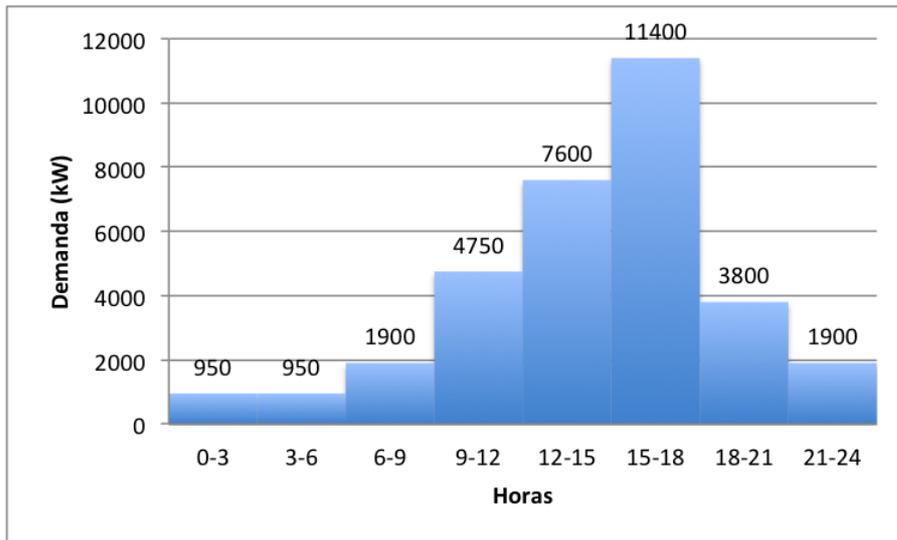
Pede-se:

- Desenhar a curva de carga diária deste consumidor;
- Determinar sua demanda máxima e a energia consumida por ele em um mês (considerando mês de 30 dias e que a curva diária é a mesma para todos os dias do mês);

- c) Determinar o valor da fatura mensal deste consumidor caso ele pague uma tarifa em que:  $C_{en} = 4,35$  R\$/MWh e  $C_{dem} = 3,00$  R\$/kW no mês.

R.:

a) Curva de Carga



b) DemMax = 11.400 kW, En mês = 2.992.500 kWh

c) Fat. mês = R\$ 47.217,38

### 3. MOTORES TRIFÁSICOS DE INDUÇÃO

#### Exercício 3.1

Dado um motor de indução trifásico de seis terminais numerados de 1 a 6, pede-se:

- Faça esquema das ligações para partida através de chave estrela-triângulo;
- Indique a seqüência das operações de partida;
- Que ligações o operador deve fazer para conectar os terminais do enrolamento rotórico para poder partir o motor?
- Como inverter a rotação do motor de indução trifásico?

#### Exercício 3.2

Explique:

- O princípio de funcionamento do campo girante trifásico.
- O que é velocidade síncrona?
- O que é escorregamento?
- O funcionamento do motor de indução trifásico.
- Desenhe uma curva característica torque vs. velocidade de um motor de indução trifásico indicando seus pontos notáveis.
- O que é potência nominal do motor de indução? Quais são suas unidades usuais?

#### Exercício 3.3

Um motor de indução trifásico tem os seguintes dados de placa:

- potência nominal: 20 HP
- tensão nominal: 220 V
- freqüência nominal: 60 Hz
- rotação nominal: 1776 RPM
- fator de potência nominal: 0,88 indutivo
- rendimento nominal: 0,87.

Sabe-se que está funcionando a plena carga, nas condições nominais. Pede-se calcular:

- escorregamento;  $s = 1.33\%$
- número de polos; **4 polos, N° de pares de pólos:  $p = 2$**
- corrente absorvida da rede; **Corrente de linha:  $I = 51.14 \text{ A}$**
- potências ativa, reativa e aparente;  **$P = 17149,43 \text{ W}$ ;  $Q = 9256,28 \text{ VAR}$ ;  $S = 19487,98 \text{ VA}$**
- se alguém disser que a potência aparente é igual a 20 kVA (isto é, igual numericamente à potência mecânica nominal), que erro estará cometendo? **O erro será de:  $Er = (19.487,98 - 20.000) / 19.487,98 = -2,63\%$**

#### Exercício 3.4

Um motor síncrono trifásico, 50 HP, 380 V, é alimentado por um transformador trifásico de relação de transformação igual a 34,5 e de tensão secundária nominal igual a 400 V. O motor opera com carga nominal, com rendimento igual a 74,6% e fator de potência igual a 0,5 indutivo, sendo alimentado com tensão nominal.

Sabendo que  $1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$ , responda:

- Qual a corrente solicitada pelo motor?  $I_{mot} = 153,17 \text{ A}$
- Qual é tensão nominal primária do transformador?  $V_{1n} = 13.800 \text{ V}$
- Quais são a tensão e a corrente de alimentação primárias do transformador?  $V_1 = 13.110 \text{ V}; I_1 = 4,44 \text{ A}$

### Exercício 3.5

Um motor de indução trifásico com rotor em gaiola possui um único enrolamento por fase, tensão nominal por enrolamento igual a 220 V, todos os terminais dos enrolamentos do estator disponíveis e, em partida direta, conjugado de partida igual a 50 N A m. Com relação a esse motor, responda:

- A partida estrela-triângulo é adequada ao acionamento desse motor se a fonte trifásica de alimentação possuir tensão nominal igual a 380 V? Por que?
- Qual será o conjugado de partida do motor se ele for acionado por uma chave compensadora que lhe forneça 60% da tensão nominal na partida?  $C_p' = 18 \text{ (N.m)}$

### Exercício 3.6

Um motor de indução trifásico tem os seguintes dados nominais:

- Tensão nominal: 220 V
- Potência nominal: 10 HP
- Fator de potência: 0,88 indutivo
- Rendimento: 0,90
- Rotação nominal: 1.720 RPM
- Frequência nominal: 60 Hz

Esse motor está funcionando nas condições nominais. Calcular:

- Corrente.  $I = 24,72 \text{ A}$
- Potências ativa, reativa e aparente.  $P = 8288,89 \text{ W}; Q = 4473,87 \text{ VAR}; S = 9419,19 \text{ VA}$

### Exercício 3.7

Um motor trifásico de indução, alimentado com tensão nominal na frequência de 60 Hz, fornece conjugado máximo quando  $N_{crit} = 720 \text{ rpm}$ . Sabendo-se que, ao acionar uma certa carga mecânica, este motor gira a uma velocidade de 855 rpm, determinar:

- A velocidade síncrona do motor em rad/s ( $\omega_s$ );  $N_s = 900 \text{ RPM}$
- O número de pares de pólos (p) do motor; **8 polos, N° de pares de pólos: p = 4**
- O escorregamento (s) nessas condições; **s = 5%**
- O que aconteceria ao motor, numa outra condição de equilíbrio (conjugado motor = conjugado de carga) em que  $N < 720 \text{ rpm}$ ? **Resp.: A condição de equilíbrio será instável, ou seja, se houver qualquer variação de conjugado (motor ou resistente) a velocidade ou irá para zero (se  $C_{motor} < C_{res}$ ) ou irá para a outra condição de equilíbrio, na qual  $N > 720 \text{ rpm}$ , (se  $C_{motor} > C_{res}$ ).**

### Exercício 3.8

Um motor de indução trifásico foi construído com 3 bobinas, 6 terminais, cada bobina projetada para 220 V. A Figura 3.1 mostra a curva de torque vs. rotação deste motor. Esta curva foi obtida com as bobinas do estator ligadas em delta ( $\Delta$ ) e tensão da alimentação trifásica de 220 V em 60 Hz. Podem ser acopladas ao motor acima descrito três diferentes cargas mecânicas (a, b e c), cujas curvas características de torque vs. rotação também são mostradas na mesma figura.

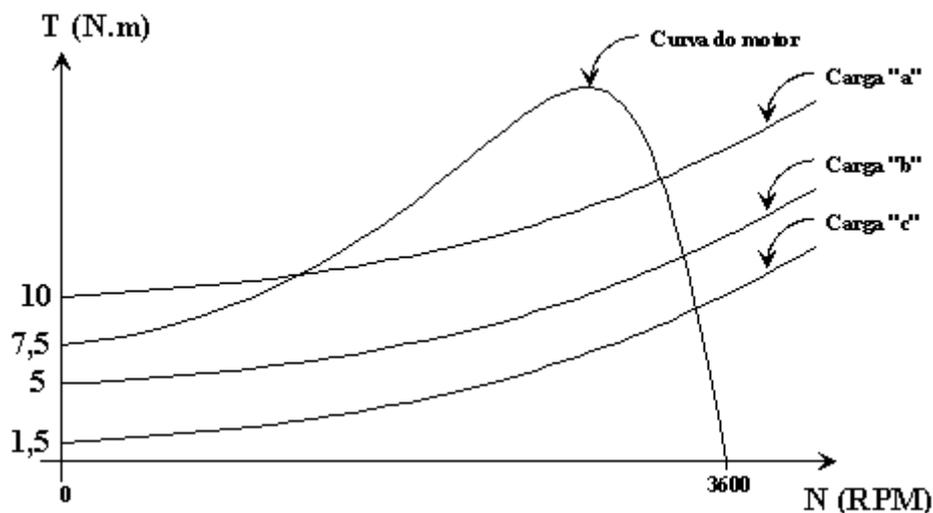


Figura 3.1 - Curvas torque vs. rotação

Pede-se:

- Dar o esquema com a numeração dos terminais e ligações do motor para operar delta ( $\Delta$ );
- Dar o esquema com a numeração dos terminais e ligações do motor para operar em estrela (Y);
- Qual (ou quais) das três cargas o motor pode partir ligado em  $\Delta$  ? Por que?
- Qual (ou quais) das três cargas o motor pode partir ligado em Y ? Por que?

**Respostas na próxima página**

### Exercício 3.9

Um motor de indução trifásico foi construído com 3 bobinas, 6 terminais, cada bobina projetada para 220 V. A Figura 3.2 mostra a curva de conjugado vs. rotação deste motor .

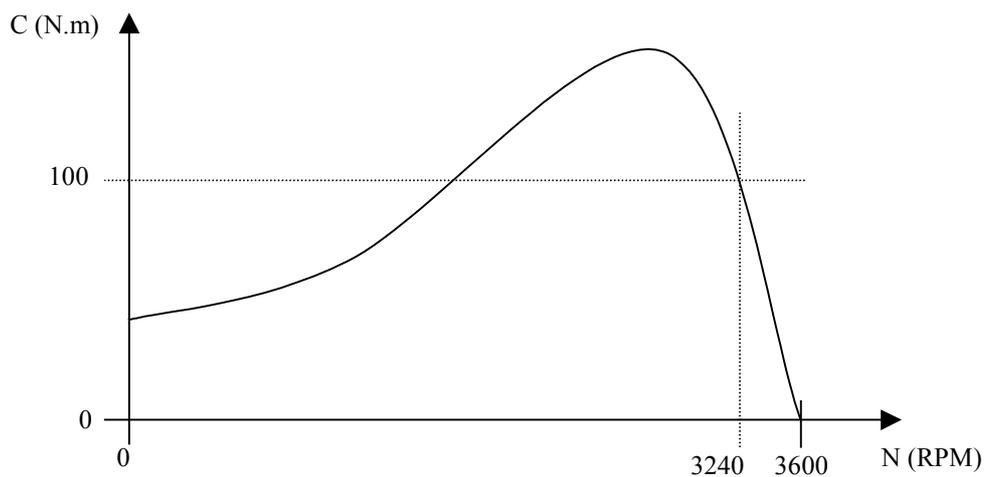


Figura 3.2 - Curva torque vs. rotação

Esta curva foi obtida com as bobinas do estator ligadas em delta ( $\Delta$ ) e tensão da alimentação trifásica de 220 V em 60 Hz. Para velocidades maiores que 3240 RPM pode-se considerar que o rendimento deste motor é igual a 0,92 e seu fator de potência é igual a 0,85 indutivo. Quando se acopla uma certa carga mecânica ao eixo deste motor ele passa a girar numa velocidade  $N_1$  correspondente a um escorregamento de 2%.

Pede-se:

- Quantos pares de pólos tem este motor? **2 pólos,  $p = 1$**
- Qual é a velocidade  $N_1$ ?  **$N_1 = 3528$  RPM**
- Qual é o conjugado  $C_1$  na velocidade  $N_1$ ?  **$C_1 = 20$  N.m**
- Qual é a potência elétrica absorvida pela máquina nas condições do item (c)?  **$P_{abs} = 8.031,55$  W**
- Qual é a corrente de linha absorvida pelo motor nas condições do item (d)?  **$I_{abs} = 24,80$  A**

**IMPORTANTE:**  $P$  (W) =  $C$  (N.m) .  $\omega$  (rad/seg)

- Para  $N > 3240$  rpm, considere que a curva de conjugado é linear;
- Despreze a corrente em vazio do motor.

Respostas do Exercício 3.8:

Respostas a e b) Figura 7.27, na página 195 da Apostila de teoria

Resp. c) As cargas b e c, pois nestes casos  $C_{pmot} > C_{pres}$

Resp. d) Só a carga a, pois  $C_{p\text{estrela}} = C_{p\text{delta}}/3$ , assim  $C_{p\text{estrela}} = 7,5/3 = 2,5 > C_{pres} = 1,5$  (N.m)