

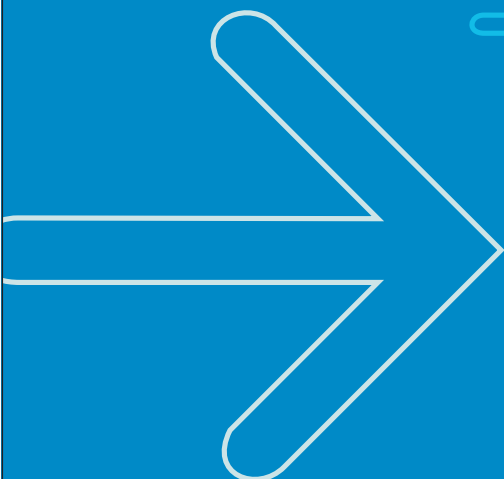
Unidade de estudo 1

Seções de estudo

Seção 1 – Carga e demanda industrial

Seção 2 – Fator de potência

Seção 3 – Consumidores e tarifação



Demanda e Carga Instalada

SEÇÃO I

Carga e demanda industrial

Nesta seção você conhecerá grandezas usadas para indicar potência, fatores, relacionados ao ramo industrial, que interferem na demanda e aprenderá como calcular essa demanda.

Em uma indústria, estão presentes diversos tipos de cargas, como máquinas operatrizes, fresadoras, tornos, dobradeiras, máquinas de solda ponto, prensas excêntricas e fornos resistivos, entre outras. Contudo, a maioria das cargas presentes na indústria é do tipo indutivo, principalmente motores monofásicos e trifásicos.

Veja um exemplo de motor na figura a seguir:



Figura 1 - Exemplo de motor de uso industrial

Fonte: WEG (2004).

Nem sempre estes motores apresentam sua potência nominal especificada em W. Podem ainda ser especificados em HP ou CV.

A seguir, é apresentada a relação entre estas grandezas.

Grandeza	Descrição	Conversão para W (aproximada)
CV	Cavalo Vapor indica a potência mecânica no eixo de um motor.	1 CV = 736 W
HP	Horse Power, também indica a potência mecânica no eixo de um motor, porém é mais usada por países de língua Inglesa.	1 HP = 746 W

Quadro 1 – Relação entre HP e CV com o W

Fonte: Creder (2000, p. 231).

Quanto à demanda, seu cálculo determinará as especificações dos materiais que compõe o alimentador de energia. Caso o alimentador de energia tenha sido projetado utilizando apenas a informação da carga, o custo do alimentador tornaria inviável a execução do projeto.

Assim como numa instalação elétrica de uma edificação para fins comerciais e/ou residenciais, a instalação elétrica de uma edificação industrial precisa ser dimensionada conforme sua demanda máxima, ou seja, depende essencialmente da carga instalada e do fator de demanda associado.

Alguns exemplos de fator de demanda, relacionados com o ramo de atividade, são apresentados na tabela a seguir:

Tabela 1 - Exemplos de fatores de demanda conforme o ramo da atividade comercial

Ramo de atividade	Código do ramo	Fator de demanda típico	Fator de carga típico
Extração de carvão de pedra, xistos betuminosos e outros.	1000	56,82	59,73
Abate de aves e outros pequenos animais e preparação de produtos de carne.	1512	63,45	56,19
Fabricação de produtos de laticínios.	1542	55,08	58,23
Tecelagem de algodão.	1731	52,52	36,38
Fabricação de tecidos de malha (malharia) e fabricação de tecidos elásticos.	1771	67,66	34,02
Fabricação de artigos de material plástico para embalagem e acondicionamento.	2529	68,46	54,31
Fabricação de ferramentas manuais.	2843	49,12	24,97
Fabricação de máquinas, ferramentas, máquinas operatrizes e aparelhos industriais.	2940	23,90	20,68

Fonte: CELESC (2007, p. 84).

DICA

Mais informações referentes ao cálculo da demanda de uma edificação poderão ser consultadas na CELESC por meio da Norma I-321.0023, Apêndice II.

D_m → Somatório da demanda de máquinas elétricas.

A demanda dos pontos de luz e força poderá ser obtida pela regra geral (MOURA, 2006, p. 18):

- 100% da carga instalada para os primeiros 20kW;
- 70% da carga instalada para o excedente de 20kW.

Além do dimensionamento utilizando o critério do fator de demanda, também é possível calcular a demanda a partir da seguinte fórmula:

$$D_t = D_p + D_m$$

Fórmula – demanda de uma unidade consumidora industrial.

Fonte: CELESC, 1997, p. 16.

Onde:

D_t → Demanda da unidade consumidora industrial;

D_p → Somatório da demanda dos pontos de luz e força de uso geral;

Já a demanda de máquinas elétricas, quando se tratar apenas de motores, poderá ser calculada considerando as tabelas A seguir, (considerando um fator de diversidade para cada grupo de motores de mesma potência e mesmo tipo de instalação); sendo a primeira tabela a ser aplicada a grupos de motores trifásicos e a segunda tabela para grupos de motores monofásicos.

Tabela 2 - Motores trifásicos

Potência do motor (CV)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	→ (1)
	1	1,5	1,9	2,3	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	→ (2)
1/3	0,65	0,98	1,24	1,50	1,76	1,95	2,15	2,34	2,53	2,73	
1/2	0,87	1,31	1,65	2,00	2,35	2,61	2,87	3,13	3,39	3,65	
3/4	1,26	1,89	2,39	2,90	3,40	3,78	4,16	4,54	4,91	5,29	
1	1,52	2,28	2,89	3,50	4,10	4,56	5,02	5,47	5,93	6,38	
1 .1/2	2,17	3,26	4,12	4,99	5,86	6,51	7,16	7,81	8,46	9,11	
2	2,70	4,05	5,13	6,21	7,29	8,10	8,91	9,72	10,53	11,34	
3	4,04	6,06	7,68	9,29	10,91	12,12	13,33	14,54	15,76	16,97	
4	5,03	7,55	9,56	11,57	13,58	15,09	16,60	18,11	19,62	21,13	
5	6,02	9,03	11,44	13,85	16,25	18,06	19,87	21,67	23,48	25,28	
7.1/2	8,65	12,98	16,44	19,90	23,36	25,95	28,55	31,14	33,74	36,33	
10	11,54	17,31	21,93	26,54	31,16	34,62	38,03	41,54	45,01	48,47	
12.1/2	14,09	21,14	26,77	32,41	38,04	42,27	46,50	50,72	54,95	59,18	
15	16,65	24,98	31,63	33,29	44,96	49,95	54,95	59,94	64,93	69,93	
20	22,10	33,15	41,99	50,83	59,67	66,30	72,93	79,56	86,19	92,82	
25	25,83	38,75	49,08	59,41	69,74	77,49	85,24	92,99	100,74	103,49	
30	30,52	45,78	57,99	70,20	82,40	91,56	100,72	109,87	119,03	128,18	

Fonte: CELESC (1997, p. 57).

Notas:

(1) → Quantidade de motores.

(2) → Fator de diversidade.

DICA

Os fabricantes de máquinas e motores elétricos fornecem catálogos com especificações detalhadas das características elétricas e mecânicas de seus produtos. Cabe ao projetista consultar estas informações para garantir um dimensionamento correto de condutores, proteções e dutos que compõe a instalação elétrica.

Tabela 3 - Motores monofásicos e demanda (até 1CV)

Potência do motor (CV)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	→ (1) → (2)
	1	1,5	1,9	2,3	2,7	3	3,3	3,6	3,9	4,2	
1/4	0,66	0,99	1,254	1,518	1,782	1,98	2,178	2,376	2,574	2,772	
1/3	0,77	1,155	1,463	1,771	2,079	2,31	2,541	2,772	3,003	3,234	
1/2	1,18	1,77	2,242	2,714	3,186	3,54	3,894	4,248	4,602	4,956	
3/4	1,34	2,01	2,246	3,032	3,618	4,02	4,422	4,824	5,226	5,628	
1	1,56	2,34	2,964	3,588	4,212	4,68	5,148	5,616	6,084	6,552	
1.1/2	2,35	3,525	4,465	5,405	6,345	7,05	7,755	8,460	9,165	9,870	
2	2,97	4,455	5,643	6,831	8,019	8,91	9,801	10,692	11,583	12,474	
3	4,07	6,105	7,733	9,361	10,989	12,21	13,431	14,652	15,873	17,094	
5	6,16	9,24	11,704	14,168	16,632	18,48	20,328	22,176	24,024	25,872	

Fonte: CELESC (1997, p. 57).

Notas:

(1) → Quantidade de motores

(2) → Fator de diversidade

O fator de diversidade está relacionado à simultaneidade do acionamento dos motores. Máquinas de solda tipo motor-gerador devem ser consideradas como motores.

Ainda é possível calcular a demanda de máquinas através de um estudo detalhado da sequência de funcionamento das máquinas durante os turnos de um dia de trabalho. Desta forma, a demanda poderá ser dimensionada em função da maior carga instantânea registrada durante o dia de trabalho (MOURA, 2006, p. 16).

Todavia, esta técnica exige que a linha de produção não apresente variações bruscas em relação à sequência de acionamento das máquinas, pois poderia causar um eventual subdimensionamento da instalação elétrica, causando interrupções indesejadas no fornecimento de energia elétrica.

Quando a demanda de máquinas elétricas for associada a máquinas de solda ponto ou qualquer outro tipo de máquina não motora de alta potência, então, sugere-se que seja considerada a demanda igual a 100% da potência nominal da máquina.

SEÇÃO 2

Fator de potência

Na seção 2, você aprenderá quais as formas de calcular a potência dos diversos tipos de motor.

Sabe-se que a potência elétrica é expressa através do produto entre a tensão elétrica (U) e a corrente elétrica (I), como mostrado a fórmula:

$$P = U \times I$$

Fórmula – Expressão geral de potência

Fonte: Creder (2000, p. 44).

Contudo, esta expressão somente pode ser utilizada quando se trata de circuitos de corrente contínua ou de circuitos resistivos em corrente alternada (lâmpadas incandescentes, fornos resistivos, chuveiros elétricos etc).

Quando se tratar de motores ou qualquer carga com características indutivas ou capacitivas, surge a potência reativa. (CREDER, 2000, p. 45). Desta forma, a nova fórmula para cálculo de potência, para estes casos é apresentada A seguir,;

$$N = P + Q$$

Fórmula – Potência considerando a presença de reativos

Fonte: CREDER, 2000, p. 45.

Onde:

N → Potência aparente, especificada em kVA;

P → Potência ativa, especificada em kW;

Q → Potência reativa, especificada em kVAr.

Em um motor, apenas a parcela da potência ativa (P) é convertida em energia mecânica sendo a parcela de potência reativa (Q) responsável apenas pelas trocas de energia entre o gerador e a carga (CREDER, 2000, p. 45).

Em outras palavras, no caso de um motor monofásico, a forma de onda da tensão que está sobre os terminais de um motor permanece adiantada certo ângulo θ em relação à forma de onda da corrente que entra neste motor.

Veja a representação a seguir:

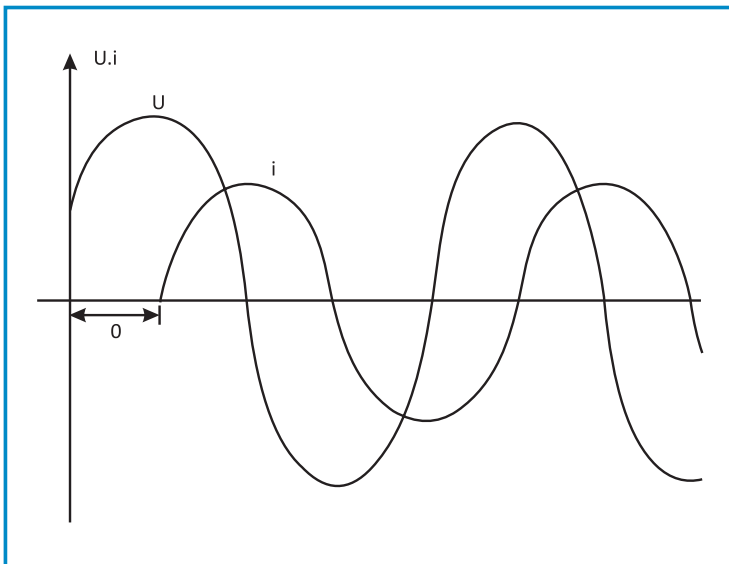


Figura 2 - Tensão adiantada em relação à corrente, forma de onda

Fonte: Creder (2000, p. 45).

Diz-se que neste caso, o fator de potência (FP) é dado pelo cosseno do ângulo θ , como pode ser observado na próxima fórmula:

$$FP = \cos \theta$$

Fórmula – Fator de potência para uma carga puramente indutiva com forma de onda senoidal

Fonte: Creder (2000, p. 45).

Desta forma, o cálculo da potência passa a ser:

$$P = U \times I \times FP$$

Fórmula – Potência ativa para motores monofásicos

Fonte: Creder (2000, p. 45).

$$P = 1,73 \times U \times I \times FP$$

Fórmula – Potência ativa para motores trifásicos

Fonte: Creder (2000, p. 46).

Onde:

P → Potência ativa consumida pelo motor;

U → Tensão de fase aplicada ao motor;

I → Corrente de fase aplicada ao motor;

FP → Fator de potência.

Há outra maneira de se visualizar o efeito do fator de potência sobre a potência consumida pelo circuito. Veja a representação a seguir: considere que o comprimento de cada vetor equivalha ao valor da potência em questão.

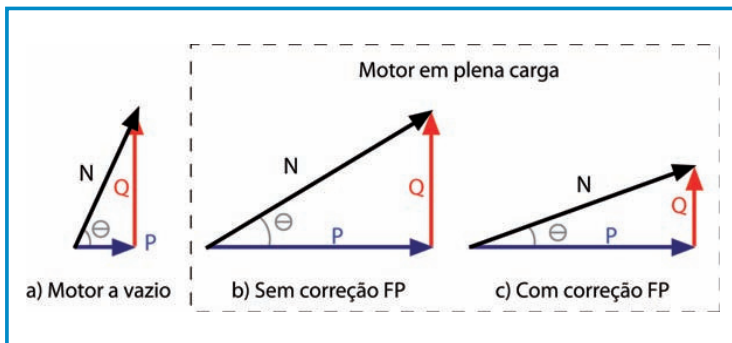


Figura 3 - Representação das variações das componentes de potências de uma carga indutiva

Note na figura anterior, que a representação “a” apresenta um caso de motor a vazio. Observe que o comprimento do vetor Q (potência reativa) é maior que o comprimento do vetor P (potência ativa) e que o ângulo entre P e N é maior do que o mostrado nas representações “b” e “c”. Neste caso, a potência aparente consumida pela máquina será bem maior que a potência ativa requerida por esta máquina.

Agora observe a representação “b”, nesta situação, o motor está operando em plena carga. Comparando com a representação “a” é possível notar que o comprimento do vetor Q é praticamente o mesmo, porém o vetor P possui maior comprimento do que antes, caracterizando um melhor aproveitamento da potência ativa em relação à potência aparente fornecida ao circuito.

Já na representação “c”, note que houve uma correção no fator de potência, ocasionando uma redução no comprimento do vetor “Q”, que aumentou ainda mais o aproveitamento da potência aparente consumida pelo circuito.

Principais consequências do baixo fator de potência são (WEG, 2007, p. 9):

- Acréscimo na conta de energia elétrica;
- Limitação da capacidade dos transformadores de alimentação;
- Quedas e flutuações de tensão nos circuitos de distribuição;
- Sobrecarga nos equipamentos de manobra, limitando sua vida útil;
- Aumento das perdas elétricas na linha de distribuição por efeito Joule;
- Necessidade de aumento da seção dos condutores;
- Necessidade de aumento da capacidade dos equipamentos de manobra e de proteção.

Principais causas do baixo fator de potência (WEG, 2007, p. 9):

- Motores de indução trabalhando a vazio;
- Motores superdimensionados para sua necessidade de trabalho;
- Transformadores trabalhando a vazio ou com pouca carga;
- Reatores de baixo fator de potência no sistema de iluminação;
- Fornos de indução ou a arco;
- Máquinas de tratamento térmico;
- Máquina de solda;

- Nível de tensão acima do valor nominal provocando um aumento no consumo de energia reativa.

DICA

Quanto à correção do fator de potência para cargas indutivas (como transformadores e motores), recomenda-se a instalação de bancos de capacitores próximos da carga indutiva em questão, além da eliminação ou minimização de superdimensionamentos.

Para formas de onda não senoidais, para o cálculo do Fator de potência (FP), deve-se considerar também a taxa de distorção harmônica (THD) como é mostrado na fórmula:

$$FP = (1/\sqrt{1+THD^2}) \times (\cos \theta)$$

Fórmula – Fator de potência com harmônicas

Fonte: WEG (2007, p. 15).

Na próxima seção, você estudará os diversos tipos de tarifa, as características do contrato estabelecido entre a concessionária de energia elétrica e o consumidor, além da classificação dos grupos de consumidores em relação ao valor da tensão de fornecimento.

SEÇÃO 3

Consumidores e tarifação

Quanto à modalidade tarifária, existem duas modalidades. Os consumidores do Grupo B são cobrados pela energia que consomem. Já os consumidores do Grupo A são cobrados pela demanda contratada e pela energia que consomem (PROCEL, 2001, p. 7).

Normalmente os consumidores industriais são classificados conforme a tensão de fornecimento da concessionária de energia elétrica da região (PROCEL, 2001, p. 6).

A resolução 456, de 29 de novembro de 2000, estabeleceu alterações nas condições gerais de fornecimento de energia elétrica, visando aprimorar o relacionamento entre os agentes responsáveis pela prestação do serviço público de energia elétrica e consumidores (ANEEL, 2000, p. 1).

A próxima tabela classifica os consumidores em subgrupos do Grupo A, segundo o valor da tensão de fornecimento.

Tabela 4 - Classificação dos subgrupos do grupo A

Subgrupos	Tensão de Fornecimento
A1	Superior a 230kV
A2	De 88kV a 138kV
A3	Igual a 69kV
A3a	De 30kV a 44kV
A4	De 2,3kV a 25kV
AS	Inferior a 2,3kV, atendida a partir de sistema subterrâneo de distribuição e faturada no Grupo A excepcionalmente.

Fonte: ANEEL (2008, p. 22).

Antes de apresentar os tipos de tarifação de energia e as características de contrato é interessante estabelecer as seguintes definições (ANEEL, 2000, p. 2):

- **Demanda contratada:** demanda de potência ativa a ser obrigatória e continuamente disponibilizada pela concessionária, no ponto de entrega, conforme valor e período de vigência fixados no contrato de fornecimento e que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada durante o período de faturamento, expressa em quilowatts (kW).
- **Horário de ponta:** período definido pela concessionária e composto por 3 (três) horas diárias consecutivas, exceção feita aos sábados, domingos e feriados nacionais.
- **Horário fora de ponta:** período composto pelo conjunto das horas diárias consecutivas e complementares àquelas definidas no horário de ponta.
- **Período seco:** período de sete meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de maio a novembro.
- **Período úmido:** período de cinco meses consecutivos, compreendendo os fornecimentos abrangidos pelas leituras de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.

A seguir, são mostrados os tipos de tarifação e as características do contrato estabelecido entre concessionária de energia elétrica e consumidor.

Tabela 5 - Alternativa tarifária e características do contrato

Alternativa tarifária	Características do contrato com a concessionária
Tarifação Convencional	São enquadrados os consumidores do grupo A com demanda inferior a 300kW. No contrato, pactua-se um único valor de demanda (demanda contratada), independente da hora do dia (ponta ou fora de ponta) e do período do ano (seco ou úmido).
Tarifação Horo-sazonal Verde	O enquadramento é opcional para os consumidores do grupo A, subgrupos A3a, A4 e AS. No contrato, pactua-se a demanda contratada pretendida pelo consumidor independente da ponta ou fora da ponta. A resolução 456 permite que sejam contratadas duas demandas diferentes: uma para o período seco e outra para o período úmido.
Tarifação Horo-sazonal Azul	O enquadramento é obrigatório para os consumidores do grupo A, subgrupos A1, A2 e A3. No contrato, pactuam-se duas demandas contratadas: uma para o horário de ponta e outra para o horário fora de ponta. A resolução 456 permite que sejam contratadas duas demandas diferentes: uma para o período seco e outra para o período úmido.

Fonte: PROCEL (2001, p. 7).

A conta de energia elétrica dos consumidores alimentados em alta tensão é composta pela soma das parcelas de consumo, demanda e ultrapassagem, caso ocorra (PROCEL, 2001, p. 10). Assim, os consumidores do Grupo A podem se enquadrar em uma das seguintes alternativas tarifárias (PROCEL, 2001, p. 7). A tabela a seguir, apresenta uma relação entre estas alternativas tarifárias e as parcelas que a compõe.

Tabela 6 - Tipos de tarifação de energia elétrica para consumidores do Grupo A

Tipo de Tarifação	Parcela do Consumo	Parcela da Demanda	Parcela da Ultrapassagem
Convencional.	O consumo medido é multiplicado pela tarifa de consumo.	A maior demanda do período (sem a ultrapassagem) é multiplicada pela tarifa de demanda.	A demanda excedente (10% acima da demanda contratada) custará 3 vezes o valor da demanda no horário normal.
Horo-sazonal Verde.	Há tarifas diferentes para o consumo dependendo do horário do dia e do período do ano. O consumo também é separado em duas parcelas: medidas no horário de ponta e fora do horário de ponta.	A tarifa de demanda é única e deve ser multiplicada pela maior demanda contratada.	A demanda excedente (10% acima da demanda contratada).
Horo-sazonal Azul.	Segue o mesmo modelo que o usado para o cálculo da parcela de consumo para Tarifação Horo-sazonal Verde.	Segue o mesmo modelo que o usado para o cálculo da parcela de consumo para Tarifação Horo-sazonal Verde: há variações na tarifa de demanda conforme o horário e o período do ano.	Segue o mesmo modelo que o usado para o cálculo da parcela de consumo para Tarifação Horo-sazonal Verde: há variações na tarifa de ultrapassagem conforme o horário, o período do ano e o grupo do consumidor.

Fonte: PROCEL (2001, p. 7).

A demanda medida é a máxima verificada ao longo do mês. Se todas as máquinas permanecerem ligadas por um período de 15 minutos, será cobrado um valor de demanda equivalente ao caso em que estas máquinas permanecerem ligadas ininterruptamente o mês inteiro (PROCEL, 2001, p. 11).

Outro fator importante relacionado à cobrança de energia é o consumo associado à potência reativa. A resolução 456 de 2000 estabelece que as instalações industriais devem apresentar um fator de potência não inferior a 0,92 (capacitivo ou indutivo). Os consumidores pertencentes ao Grupo A são cobrados pelo mesmo método (da energia ativa) para a energia reativa (PROCEL, 2001, p. 14). Portanto, fica claro que se for realizada a correção do fator de potência, conseqüentemente será reduzido o valor da conta de energia.