

## 4

### Fator de carga e fator de demanda: conceituação

#### 4.1.

##### Fator de carga (FC)

Segundo a resolução a normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010 da ANEEL, o fator de carga é definido como sendo a razão entre a demanda média e a demanda máxima da unidade consumidora ocorridas no mesmo intervalo de tempo especificado [17]. Também se pode afirmar, que o fator de carga é a razão entre a energia ativa consumida e a energia máxima que poderia ser utilizada em um dado intervalo de tempo [9].

$$FC = \frac{\text{Demanda média}}{\text{Demanda máxima}} \quad (2)$$

Ou também,

$$FC = \frac{\text{Consumo de Energia Ativa (kWh)}}{\text{Demanda máxima (kW)} \times \text{Nº de horas}} \quad (3)$$

#### 4.2.

##### Fator de demanda (FD)

Segundo a resolução normativa nº 414 de 9 de setembro de 2010 da ANEEL, o fator de demanda é a razão entre a demanda máxima num intervalo de tempo especificado e a potência instalada na unidade consumidora [17].

$$FD = \frac{\text{Demanda máxima (kW)}}{\text{Potência Instalada}} \quad (4)$$

#### 4.3.

##### Definição ilustrativa do FC e do FD

Para simplificar o entendimento do fator de carga e fator de demanda, é apresentado abaixo um gráfico simbolizando o consumo de energia para um dia útil (e.g.: de terça a sexta feira) para um cliente do grupo A.

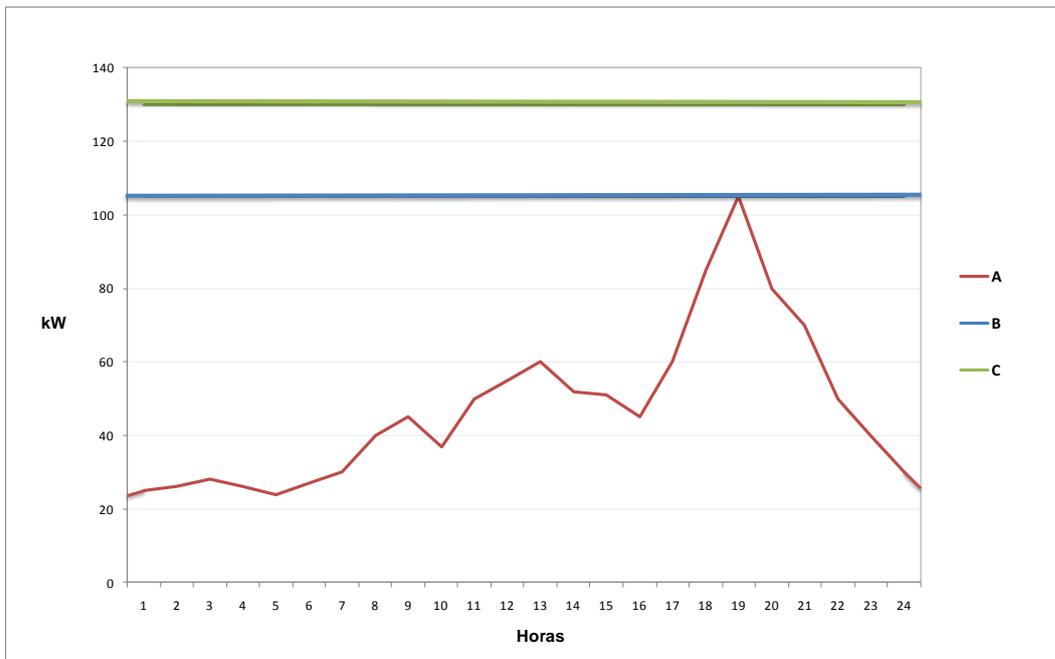


Figura 14 – Curva de carga residencial para um dia útil

Na figura temos:

- Curva de Carga diária (a integral da curva é o consumo diário)
- Demanda máxima
- Potência instalada

Na Figura 14, o consumo é o resultado da soma das demandas instantâneas de um determinado período. Ao juntarmos estes pontos obtemos um gráfico, cuja área abaixo do mesmo corresponde ao consumo de energia [9].

O consumo de energia atinge seu maior nível no horário de ponta, neste caso por volta das 19 horas, horário em que muitos aparelhos são ligados ao mesmo tempo. A linha na cor azul, identificada com a letra (B), representa o maior valor registrado no dia referente à demanda de energia, cujo valor máximo foi de 105 kW no horário das 19 horas. Digamos que para o período de 1 mês, o valor 105 kW foi a maior demanda registrada, nesse caso ao multiplicar esse valor por 30 dias, obtemos a energia elétrica que seria consumida caso a demanda máxima fosse utilizada ao longo de todo este período, caracterizando-se como o máximo de utilização da rede elétrica disponível [9]. A terceira linha, na cor verde, identificada com a letra (C) representa a soma das potências de todos os aparelhos elétricos existentes no estabelecimento. O levantamento desta potência instalada é feito contabilizando-se a potência de todos os equipamentos elétricos existente no estabelecimento, mesmo daqueles que não estejam sendo usados naquele momento, mas funcionariam caso fossem ligados na tomada. O objetivo por trás desse levantamento é saber o valor máximo que

esta carga atingiria caso todos os aparelhos fossem ligados ao mesmo tempo. No gráfico em questão, a potência instalada no estabelecimento seria de aproximadamente 130 kW.

O fator de carga pode ser então identificado como a razão entre as áreas A e B.

$$FC = \frac{A}{B} \leq 1 \quad (5)$$

Já o fator de demanda é ilustrado pela razão entre as áreas B e C

$$FD = \frac{B}{C} \leq 1 \quad (6)$$

O fator de carga (FC) é um índice adimensional que varia de 0 a 1, e quanto mais próximo de 1, melhor a eficiência energética da instalação. Para isso a diferença entre o consumo medido (numerador) e a demanda máxima registrada deve ser a menor possível. Este resultado próximo a 1 indica que as demandas instantâneas ao longo do dia são próximas da demanda máxima [9]. O FC é um bom indicador de como uma unidade consumidora utiliza a potência instalada no estabelecimento. Em outras palavras, permite verificar o quanto a energia está sendo utilizada de forma racional. Este índice não é tarifado pela concessionária.

Já para o fator de demanda, o que se procura conhecer é o quanto dos aparelhos existentes (seja ele residencial, comercial, industrial) é usado simultaneamente. Este fator é obtido pela razão entre a demanda máxima do cliente e seu potencial de uso, ou seja, a sua potência instalada. Se este valor for próximo de 1 significa que o cliente consegue utilizar simultaneamente toda a sua potência instalada.

Para melhor compreensão do que representa o Fator de Demanda (FD) são apresentados os exemplos na tabela 2, 3 e 4:

Tabela 2 – Levantamento da potência instalada em um apartamento residencial típico

Quantidade	Descrição	Potência (W)
10	Lâmpada fluorescente - 100 W	1.000
5	Lâmpada incandescente - 60 W	300
1	TV	100
1	Aparelho de som	60
1	Refrigerador	300
1	Ferro elétrico a vapor	1.000
1	Máquina de lavar roupa	600
1	Chuveiro elétrico (Ducha)	3.700
	<b>Total</b>	<b>7.060</b>
	<b>Maior demanda possível (em kW)</b>	<b>7,06</b>

Admitindo-se que as maiores necessidades (demanda por energia) sejam:

Tabela 3 – Demanda de energia diurna de um apartamento residencial típico

Item	Descrição	Potência (W)
1	Lâmpadas	200
2	Aparelho de som	60
3	Refrigerador	300
4	Chuveiro elétrico (Ducha)	3.700
5	Máquina de lavar roupa	600
	<b>Total</b>	<b>4.860</b>
	<b>Demanda exigida (em kW)</b>	<b>4,86</b>

Tabela 4 – Demanda de energia noturna de um apartamento residencial típico

Item	Descrição	Potência (W)
1	Lâmpadas	800
2	TV	100
3	Refrigerador	300
4	Chuveiro elétrico (Ducha)	3.700
5	Ferro elétrico	1.000
<b>Total</b>		<b>5.900</b>
<b><i>Demanda exigida (em kW)</i></b>		<b><i>5,90</i></b>

Com base nas simulações de carga ligada nos diferentes períodos (e.g.:diurno e noturno), calculamos, conforme tabela 5 os respectivos fatores de demanda.

Tabela 5 – Fator de demanda diurno e noturno para um apartamento residencial típico

Período	Cálculo dos Fatores de demanda	FD calculado
Diurno	$FD = 4.860/7.600$	0,69
Noturno	$FD = 5.900/7.600$	0,84
<b><i>FD a ser considerado (Máximo)</i></b>		<b><i>0,84</i></b>

#### 4.4.

#### Disponibilidade de informações nas distribuidoras

Conforme já mostrado no capítulo 2, as concessionárias de energia classificam seus clientes em dois grandes grupos: Grupo A e B. A tabela 6 apresenta de forma sumarizada as informações que as distribuidoras de energia possuem em relação a esses clientes:

Tabela 6 – Informações que a concessionária possui por tipo de cliente

	Possui	Não possui
<b>Grupo A</b>	Consumo e demanda	Potência instalada
<b>Grupo B</b>	Consumo	Demanda e potência instalada

Verificando a tabela 6, é possível estimar sem problemas o FC do grupo A, mas não podemos estimar o seu FD uma vez que não conhecemos a potência instalada. Na verdade, para este grupo de clientes, esta informação até existe, porém está muito desatualizada no cadastro das empresas, pois toda vez que um cliente solicita uma ligação nova, este deve informar qual será sua potência instalada no estabelecimento e qual o ramo de atividade irá exercer.

Os clientes do grupo B, que possuem tarifa monômnia, ou seja, são faturados apenas pelo consumo (kWh) no mês, não apresentam valores de demanda e tão pouco da carga. Dessa forma, o cálculo do fator de carga e fator de demanda para esses consumidores específicos só é possível caso tivessem a medição eletrônica ao invés da eletromecânica, além do levantamento da potência instalada.

A maneira mais usual de resolver este problema é através de “*campanhas de medidas, e pesquisas de posses e hábitos*”, onde solicita-se à concessionária fazer um estudo da posse e dos hábitos de uso de aparelhos elétricos nas instalações destes clientes pertencentes ao grupo B, de forma a poder ter uma estimativa da curva de carga diária típica, da potência instalada e até da demanda máxima destes consumidores. Para se obter maior precisão nas informações, geralmente solicita-se à concessionária instalar um aparelho de medição capaz de registrar e armazenar os mais diversos tipos de medidas elétricas (leituras de potências, tensão e corrente por fase, distorções harmônicas, demanda e fator de potência instantânea). Neste caso, estipula-se um intervalo de tempo para registro e armazenamento das leituras, que pode ser a cada 5, 10, 15, 30 minutos, ou mais. Durante todo o tempo em que o medidor eletrônico permanecer instalado, serão registradas diversas demandas de acordo com o intervalo escolhido. Ao final desse processo, na retirada do medidor, o maior valor da demanda ocorrido num destes intervalos será escolhido e vai representar a demanda máxima daquele cliente, mesmo que este valor tenha ocorrido apenas uma única vez.

Posteriormente, neste mesmo local onde foi feita a medição (de preferência no mesmo período em que acontecer a medição) deve-se fazer o

levantamento da potência instalada do cliente por meio de instrumento de coleta de dados da pesquisa de posses e hábitos. No entanto, quando estas medições de demanda ocorrem, normalmente estes aparelhos eletrônicos ficam instalados por um período muito curto, de 9 a 10 dias. O ideal seria que o aparelho ficasse instalado durante 30 dias, pois não se sabe se a demanda máxima irá ocorrer no período de 10 dias em que foi realizada a medição.

Sabe-se que o custo deste levantamento para o grupo B por parte da concessionária é alto, por isso, quando são feitas campanhas de medidas, o medidor fica instalado por um período de 9 a 10 dias apenas, por isso a crítica do autor se faz no sentido de melhorar esta precisão na apuração das demandas para o grupo B. Esta medição como é feita hoje reflete em parte a realidade. O uso da medição eletrônica continuamente contribuiria para uma melhora na qualidade da informação, entre outras coisas, mesmo sabendo que este procedimento onera sobremaneira as campanhas de medidas.

No exemplo que será apresentado em seguida, foi constatado uma fraude num estabelecimento de um cliente pertencente ao grupo B. A partir daí, buscou-se estimar o consumo deste cliente baseado nas tabelas de FC e FD típicos que a concessionária possui. O resultado mostrou um valor muito fora da realidade para a estimativa do consumo, o que acaba prejudicando a distribuidora de energia elétrica conforme descrito abaixo:

Primeiramente tomou-se o histórico de consumo:

- 1º mês: 212 kWh
- 2º mês: 555 kWh
- 3º mês: 786 kWh
- 4º mês: 720 kWh
- 5º mês: 800 kWh
- 6º mês: 1284 kWh
- 7º mês: 236 kWh (Neste mês foi feita a troca do padrão)
- 8º mês: 2005 kWh (Neste mês constatou-se a irregularidade)
- 9º mês: 4130 kWh (Primeiro ciclo completo posterior à irregularidade)
- 10º mês: 3606 kWh
- 11º mês: 2659 kWh
- 12º mês: 2473 kWh

Em seguida fez-se o levantamento da potência instalada no estabelecimento, cujo resultado foi de 13.340W Com base na tabela usada pela concessionária, que consta no apêndice 1, o FD típico para aquele ramo de atividade era 0,23 e o FC típico era 0,19.

Usando as fórmulas para cálculo do FD e FC temos:

$$FD = \frac{\text{Demanda máxima (kW)}}{\text{Potência Instalada}} \quad (4)$$

Onde neste caso temos:

FD = 0,23 (Tabelado)

Potência instalada = 13,34 kW

Logo:

$$0,23 = \frac{\text{Demanda máxima (kW)}}{13,34}$$

Demanda medida = 3,07 kW

$$FC = \frac{\text{Consumo de Energia Ativa (kWh)}}{\text{Demanda máxima (kW)} \times N^{\circ} \text{ de horas}} \quad (3)$$

Nesta expressão,

FC = 0,19 (Tabelado)

Demanda medida = 3,07 kW (calculado anteriormente)

Nº de horas = Para um período de leitura de 30 dias o número de horas no mês equivale a 730 horas.

Então:

$$0,19 = \frac{\text{Consumo de Energia Ativa (kWh)}}{3,07 \times 730}$$

Consumo de Energia Ativa (kWh) estimado = 419,98 kWh

No entanto, o consumo real medido foi de 4.130 kWh

#### 4.5. Cálculo do FC e FD para um cliente selecionado

Para o cálculo do FC de um cliente do grupo A, primeiramente analisamos seu histórico de consumo e demanda de pelo menos 12 meses, que formam séries temporais<sup>16</sup> que podem ser estudadas por diversos métodos de análise [32]. A análise desta série temporal permitirá conhecer os fatores sazonais, que fornecem um indicativo da forma de consumo da energia elétrica do cliente. Por exemplo, se o fator sazonal dos meses de verão for alto, isto quer dizer que estamos diante de um cliente sazonal, e como tal, deve-se evitar as medições nestes períodos devido a estas distorções. A esta série de dados mensais, aplica-se o Critério de Chauvenet, cuja descrição encontra-se no apêndice 5 desta dissertação, com o objetivo de detectar possíveis outliers. Como o

<sup>16</sup> Uma série temporal é um conjunto de observações de uma dada variável, ordenado segundo o parâmetro tempo, geralmente em intervalos equidistantes. As séries temporais podem ser classificadas em: Discretas, Contínuas, Determinísticas, Estocásticas, Multivariadas e Multidimensional [32]

histórico de consumo apresentava apenas 1 ano de informação, esta análise não pôde ser feita.

Para um cliente do grupo B, a única série temporal disponível é o consumo médio mensal. Neste caso, procede-se a mesma análise dos fatores sazonais e da detecção de outliers para esta única série que permitirá a estimativa do consumo médio mensal. As demais informações necessárias, ou seja, demanda máxima e potência instalada só poderão ser obtidas através da medição eletrônica de 10 dias e por levantamento via PPH, que permitirão a estimativa do FC e FD destes clientes.

Para um cliente do grupo A, o cálculo do fator de carga dependerá do tipo de tarifa ao qual ele está enquadrado: Convencional<sup>17</sup> ou horossazonal<sup>18</sup>.

Caso a sua tarifa seja do tipo Convencional, o fator de carga é calculado com base na fórmula abaixo:

$$FC = \frac{\text{Consumo de Energia Ativa (kWh)}}{\text{Demanda máxima (kW)} \times N^{\circ} \text{ de horas}} \quad (3)$$

Na própria conta de energia do cliente do grupo A, o seu consumo e a sua demanda são apresentados na fatura, e o tempo corresponderá a um número aproximado de horas dentro do período de faturamento. Considerando-se 30,42 dias para um intervalo de leitura mensal de energia, multiplicando-se esse valor pelas 24 horas de um dia, obtém-se para a variável “número de horas” da fórmula acima, o valor de 730.

Caso a tarifa do cliente do grupo A seja horossazonal, existirão dois fatores de carga, um para o horário de ponta<sup>19</sup> e outro para o horário fora de ponta. A seguir são apresentadas fórmulas para o cálculo destes dois valores:

$$FC \text{ (na ponta)} = \frac{\text{Consumo de Energia Ativa na ponta (kWh)}}{\text{Demanda máxima na ponta (kW)} \times N^{\circ} \text{ de horas ponta}} \quad (7)$$

$$FC \text{ (fora de ponta)} = \frac{\text{Consumo de Energia Ativa fora de ponta (kWh)}}{\text{Demanda máxima fora de ponta (kW)} \times N^{\circ} \text{ de horas fora de ponta}} \quad (8)$$

<sup>17</sup> Modalidade caracterizada pela aplicação de tarifas de consumo de energia elétrica e demanda de potência, independentemente das horas de utilização do dia e dos períodos do ano. [17]

<sup>18</sup> Modalidade caracterizada pela aplicação de tarifas diferenciadas de consumo de energia elétrica e de demanda de potência, de acordo com os postos horários, horas de utilização do dia, e os períodos do ano. [17]

<sup>19</sup> Horário constituído por três horas diárias consecutivas em que o consumo de energia atinge o máximo do sistema, com exceção dos sábados, domingos e feriados nacionais. [9]

Para o tempo em horas do período “na ponta”, considera-se o valor do ciclo de medição compreendido por 22,31 dias, (uma vez que o período de ponta é constituído por 3 horas diárias consecutivas, exceto sábados, domingos e feriados nacionais) sendo assim, multiplicando-se os 22,31 dias por 3 horas resulta em 66,93 horas para o período “na ponta”. Para o período “fora de ponta”, o cálculo é feito subtraindo-se às 730 horas do mês pelas 66,93 horas do período “na ponta”, obtendo-se 663,07 horas para o período “fora da ponta” [9].

Este problema deixaria de existir quando for instituído tarifas do tipo binômia (medição de consumo e demanda) nos clientes do grupo B, pois neste caso teremos as informações destes clientes da mesma forma que temos no grupo A.

Para o cálculo do fator de demanda de um cliente, procede-se da mesma maneira, aplicando-se a fórmula:

$$FD = \frac{\text{Demanda máxima (kW)}}{\text{Potência Instalada}} \quad (4)$$

Pode-se, portanto, obter o FD mensal do cliente, seu valor na ponta e fora de ponta.

#### **4.6. Cálculo do FC e FD típicos para grupo de clientes do mesmo ramo**

Para o cálculo do FD típico, a partir do histórico de 12 meses de demanda dos clientes do grupo selecionado, escolhe-se a maior demanda registrada ao longo dos 12 meses para cada cliente. A demanda máxima do grupo será a soma das demandas individuais máximas que cada cliente obteve ao longo daquele ano. Com a informação atualizada da potência instalada de cada estabelecimento pertencente ao grupo, soma-se o valor da potência instalada de todos os membros do grupo, para se obter a potência instalada total. Aplicando a fórmula (4) chega-se ao valor do fator de demanda típico do grupo.

Para o cálculo do FC típico de um grupo de clientes, faz-se o somatório do consumo dos mesmos em cada mês. Ao final de 12 meses, tem-se o consumo total anual de cada cliente do grupo. A demanda máxima total é calculada conforme descrito no parágrafo anterior, e o número de horas é dado por:

$$\text{Número de horas anual} = 24 \text{ horas} \times 30,42 \text{ dias} \times 12 \text{ meses} = 8.760.$$

Aplicando a fórmula (3) chega-se ao valor do fator de carga típico do grupo.