



# CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



## MODELAGEM DA CURVA DE CARGA DE TRANSFORMADORES DE DISTRIBUIÇÃO

**Alzenira da Rosa Abaide**

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria.  
alzenira@ufsm.br

**Giovana Bortoluzzi Brondani**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria.  
giovanagbb@yahoo.com.br

**Jordan Passinato Sausen**

Acadêmico de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Maria.  
jordansausen@hotmail.com

**Resumo.** *A inconstância do consumo elétrico ao longo do dia gera desafios no que tange ao planejamento e operação de sistemas de distribuição de energia elétrica. Neste artigo, é apresentada uma metodologia para a modelagem da curva de carga, baseada em medições reais a partir de valores médios de consumos diários fornecidos por uma concessionária de energia elétrica. Da posse dos dados que representam o consumo, foi possível estimar a curva de carga dos transformadores de distribuição com a associação desses dados, através de uma soma estatística de todos usuários conectados no lado de baixa tensão. Os resultados desse trabalho têm como propósito retratar o comportamento da carga analisando os hábitos de consumo em uma concessionária de distribuição.*

**Palavras-chave:** *Curva de carga. Unidade Consumidora (UC).*

### 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento do consumo de energia elétrica, é necessário que os governos busquem alternativas para atender esta demanda, com segurança e sustentabilidade, de forma a tornar o sistema

elétrico acessível, moderno e confiável para a sociedade e para a economia.

A modelagem da curva de carga é crucial para o planejamento estratégico de distribuição de energia, pois através dela é possível conhecer o perfil de demanda diária por energia elétrica das unidades consumidoras (UCs).

O objetivo deste artigo é desenvolver uma metodologia para modelar a curva de carga de transformadores de distribuição, baseada em dados disponibilizados por uma concessionária de energia elétrica da região sul do Brasil e segmentados pela potência de cada transformador.

### 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção 2, são apresentados os conceitos que facilitam o entendimento deste trabalho.

#### 2.1 Estratificação das UCs

De acordo com a ANEEL [1] UC de energia elétrica é qualquer pessoa física ou jurídica, ou comunitária de fato ou de direito, legalmente representada, que solicite o fornecimento de energia elétrica e/ou o uso do sistema elétrico à distribuidora e assume a responsabilidade pelo pagamento das

faturas e pelas demais obrigações fixadas em normas e regulamentos pela ANEEL.

Segundo a Ref. [1] as UCs conectadas ao sistema de distribuição de baixa tensão, são estratificadas em classes. As classes utilizadas neste trabalho são:

- a. Comercial;
- b. Residencial;
- c. Industrial.

Além da estratificação em classes, a partir do consumo médio mensal dos últimos doze meses, é realizada a divisão em faixas de consumo para cada classe. Na fig. 1, é possível verificar de forma sintética, como essa divisão ocorre.

Residencial	Comercial	Industrial
<ul style="list-style-type: none"><li>• Até 100 kWh</li><li>• Acima de 100 kWh até 220 kWh</li><li>• Acima de 220 kWh até 500 kWh</li><li>• Acima de 500 kWh até 1.000 kWh</li><li>• Acima de 1000 kWh</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Até 500 kWh</li><li>• Acima de 500 kWh até 2000 kWh</li><li>• Acima de 2000 kWh até 5000 kWh</li><li>• Acima de 5000 kWh</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Até 1000 kWh</li><li>• Acima de 1000 kWh até 3000 kWh</li><li>• Acima de 3000 kWh até 7000 kWh</li><li>• Acima de 7000 kWh</li></ul>

Figura 1. Estratificação das classes de acordo com a faixa de consumo [1].

## 2.2 Curva de carga

Segundo Kagan *et al* [3] a curva de carga de um consumidor, ou de um conjunto de consumidores, oferece todas as informações relacionadas ao comportamento da carga e à sua solicitação ao sistema que a supre. De acordo com CEPEL [2], a curva de carga é o gráfico que mostra a evolução no tempo da quantidade de potência solicitada por uma carga ou um conjunto de cargas.

Segundo a Ref. [3] curva de carga típica representa uma média de valores de demanda em cada instante do dia, extraída de uma amostra de medições em consumidores coletadas durante vários dias. Por exemplo, consumidores da classe residencial, com consumo mensal de 0 a 100 kWh, devem ter certos padrões e hábitos de consumo que permitem a sua representação

por alguma, ou mesmo uma única, curva de carga típica.

## 2.3 Transformadores de Distribuição

Segundo Simon [4] os transformadores de distribuição são os responsáveis pelo suprimento de energia elétrica aos consumidores da rede, sejam eles consumidores residenciais, rurais, industriais, comerciais, serviço público, iluminação pública e qualquer classe, classificada no subgrupo tarifário AS.

Os transformadores de distribuição devem ser constantemente monitorados, já que podem ser submetidos a condições de sobrecarga e poderão apresentar problemas de redução de vida útil e, em níveis mais extremos, danos irreparáveis nos equipamentos.

## 3. METODOLOGIA

A primeira etapa da metodologia consiste no levantamento de dados. Nela, são coletados os dados de uma concessionária de energia elétrica com informações das UCs como fase, nome, endereço, UC do prédio, medidor, e principalmente o seu consumo mensal, classe de consumo e potência do transformador.

Após, para cada classe e faixa de consumo, são obtidos os dados de consumo médio para cada UC, em um dia útil, segmentados para cada hora do dia.

Da etapa de levantamento de dados, é possível obter para cada potência do transformador, a quantidade de UCs em cada classe e em suas respectivas faixas de consumo.

Com os dados de consumo médio para cada UC e a discretização de quantas UCs conectadas em cada classe e faixa de consumo para cada transformador, é realizado um somatório para a totalidade de UCs presentes em cada transformador.

Essa metodologia é aplicada em um município brasileiro, localizado no estado

do Rio Grande do Sul que possui uma área de 689,82 km<sup>2</sup> e uma população de 78.915 habitantes. Essa cidade, é atendida por uma concessionária do serviço público para geração e distribuição de energia elétrica em uma área urbana com 45 km<sup>2</sup>, atende 33.000 consumidores, e o seu mercado de energia é da ordem de 130 GWh anuais.

#### 4. RESULTADOS

O primeiro transformador analisado é um transformador de 75kVA, que possui 12 UC conectadas a ele, sendo 2 UC residenciais e 10 comerciais, como pode ser visualizado na tabela 1.

Tabela 1. Estratificação das UC

Classe	Faixa de consumo (kWh)	Quantidade
Residencial	0 - 100	0
	100 - 220	0
	220 - 500	2
	500 - 1.000	0
	> 1000	0
Comercial	< 500	6
	500 - 2000	3
	2000 - 5000	1
	> 5000	0
Total		12

Na fig. 2 é apresentada a curva de carga modelada, após aplicação da metodologia.



Figura 2. Curva de Carga

Na fig. 2 há um predomínio de UC na classe comercial, o que exemplifica as

características de curva de carga comercial. Ou seja, há um maior consumo no horário comercial e com declínio nos outros horários, já que o restante é basicamente para suprir iluminação e refrigeração.

O segundo transformador analisado, possui estratificação nas UC conforme tabela 2, no qual há 42 UC conectadas a ele, sendo todas na classe residencial.

Tabela 2. Estratificação das UC

Classe	Faixa de consumo (kWh)	Quantidade
Residencial	0 - 100	12
	100 - 220	26
	220 - 500	4
Total		42

Na fig. 3 é apresentada a curva de carga modelada, após aplicação da metodologia.



Figura 3. Curva de Carga

Na fig. 3 é possível verificar a curva de carga residencial típica, que é caracterizada por um consumo constante durante todo o dia e uma ponta das 18 às 21 horas.

No terceiro transformador, que é de 150 kVA, há 92 UC conectadas a ele, sendo 79 na UC residencial, 12 na classe comercial e 1 na industrial. Sua estratificação, pode ser visualizada na tabela 3.

Tabela 3. Estratificação das UC

Classe	Faixa de consumo (kWh)	Quantidade
Residencial	0 - 100	13
	100 - 220	28
	220 - 500	31
	500 - 1.000	4
	> 1000	3
Comercial	> 500	8
	500 - 2000	4
	2000 -5000	0
Industrial	> 5000	0
	> 1000	1
	1000 - 3000	0
	3000 - 7000	0
	> 7000	0
Total		92

Na fig. 4 é apresentada a curva de carga modelada, após aplicação da metodologia, além disso, é possível verificar a contribuição de cada classe para a curva de carga total.

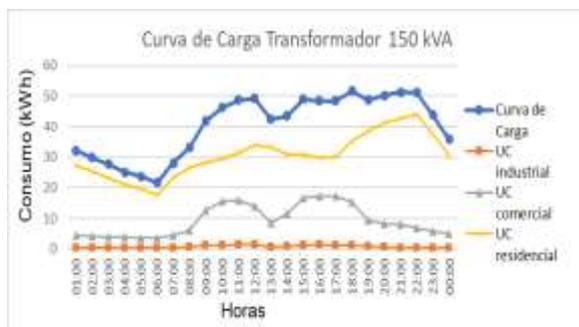


Figura 4. Curva de Carga

No transformador da fig. 4 é possível observar que as três classes estão presentes. Para a curva de carga, a maior participação é a residencial, com seu horário de ponta das 18 horas às 22, após a comercial com seu consumo maior em horário comercial e após a industrial com uma pequena contribuição para a curva de carga.

## 5. CONCLUSÃO

A curva de carga dos transformadores de distribuição é representada pelos tipos de consumidores conectados nele. A partir dos históricos de consumo de cada classe é possível modelar a curva do equipamento.

Com esse trabalho, foi possível verificar que quando o transformador possuía somente UC residenciais o consumo era baixo de madrugada, praticamente constante durante o dia inteiro, com um aumento no fim da tarde e uma ponta de consumo entre as 18 horas e as 21, quando as pessoas retornam para suas casas. Quando há a inserção de classes comerciais, essa curva de carga possui um consumo alto no horário comercial (das 8 às 12 horas e das 14 às 18 horas) e baixo fora do horário comercial, como no horário de almoço e de madrugada, já que as cargas utilizadas nesse horário são basicamente para suprir iluminação e refrigeração. Já a classe industrial não pode ser avaliada, pois a mesma possui uma gama de atividades desenvolvidas e as suas características não são fixas.

Os transformadores analisados neste trabalho, não estavam sobrecarregados, o que contribui para um aumento na vida útil do equipamento e redução das perdas.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 2 - Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição, Revisão 7, Resolução Normativa nº 730/2016.
- [2] CEPEL – DTE – CRESEB, Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos, Rio de Janeiro, março 2014.
- [3] N. Kagan; C. Oliveira; E. Robba, Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica, Ed. Blucher - SP, 2005.
- [4] E.C. Simon, Avaliação de impactos da recarga de veículos elétricos em sistemas de distribuição, 133p, Dissertação (mestrado em planejamento energético) – UFRJ, Rio de Janeiro, 2013.