

## Metodologia para Estimação de Curvas de Carga de Unidades Consumidoras Individuais

### Methodology for Estimating Load Curves of Individual Consumer Units

<sup>1</sup>Izadora Soares Cardoso, <sup>2</sup>Edson Guedes da Costa, <sup>3</sup>Jalberth Fernandes de Araújo,  
<sup>4</sup>Ariel de Sousa Leitão;  
<sup>1,2,3,4</sup>Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil

**Resumo:** Neste trabalho é apresentada uma metodologia bottom-up para estimar curvas de carga horárias de unidades consumidoras individuais. A metodologia é baseada nos dados de uso dos equipamentos elétricos presentes na Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial, elaborada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica do ano 2019. Na elaboração da metodologia, foram considerados dados históricos de consumo de energia, bem como de fatores climáticos relacionados ao uso de equipamentos de aquecimento e resfriamento. Com o objetivo de validar a metodologia proposta, foi realizado um estudo de caso a partir da elaboração da curva de carga de unidades consumidoras de uma região do estado da Paraíba-Brasil. A curva de carga horária obtida com o estudo de caso foi comparada com a pesquisa de posses e hábitos, obtendo um percentual de erro menor que 3%. Com a validação da metodologia, torna-se possível gerar curvas de carga horária para unidades consumidoras de diferentes regiões, estados e classes econômicas. A curva de carga que pode se obter a partir da pesquisa e posses e hábitos representa um valor médio, o qual deve ser considerado para todo o ano. Com a metodologia proposta é possível se obter curvas de carga para todos os meses do ano, considerando a sazonalidade das estações do ano na influência do perfil de consumo das unidades consumidoras. Além disso, a metodologia permite avaliar os impactos de diferentes tipos de equipamentos elétricos no perfil de consumo em unidades consumidoras residenciais.

**Palavras-chave:** Curva de carga, Estimação de curvas, Método *bottom-up*, Distribuição de energia elétrica.

**Abstract:** In this paper, a bottom-up methodology for estimating hourly load curves of individual consumer units is presented. The methodology is based on the household appliances usage data presented in the Survey of Ownership and Usage Habits of Electrical Equipment in the Residential Class, developed by the National Electric Energy Conservation Program in 2019. In the development of the methodology the methodology, historical data on energy consumption were considered, as well as climatic factors related to the use of heating and cooling equipment. In order to validate the proposed methodology, a study case was carried out based on elaboration of the load curve of

consumer units in a region of the state of Paraíba-Brazil. The hourly load curve obtained with the study case was compared to the survey of ownership and usage habits, resulting in an error percentage lower than 3%. With the validation of the methodology, it becomes possible to generate hourly load curves for consumer units in different regions, states and economic classes. The load curve obtained from the survey of ownership and usage habits represents an average value, which must be considered for the entire year. The proposed methodology makes it possible to obtain load curves for all months of the year, considering that the seasons of the year influences the consumption profile of consumer units. Furthermore, the methodology permits the evaluation of the impacts of different types of household appliances on the consumption profile of residential consumer units. **Keywords:** Load curve, Curve estimation, Bottom-up method, Electric power distribution.

## Introdução

Os sistemas elétricos de potência são constituídos pelos sistemas de geração, transmissão e de distribuição de energia, tendo como principal função fornecer energia elétrica dentro dos parâmetros adequados de corrente, tensão e frequência necessários às unidades consumidoras e predeterminados pelos órgãos competentes. Para garantir o fornecimento de energia em condições adequadas, é necessário que o sistema elétrico seja bem planejado de acordo com as especificidades de cada tipo de unidade consumidora de modo a atender às características referentes a demanda de potência elétrica, sejam as unidades consumidoras de classe residencial, comercial ou industrial [1].

Nas unidades consumidoras de classe residencial, a demanda de potência elétrica está relacionada aos equipamentos elétricos utilizados nas residências e varia de acordo com alguns fatores, os principais são as condições climáticas e socioeconômicas da região. A temperatura ambiente e o poder aquisitivo dos consumidores influenciam na posse de equipamentos elétricos,

bem como no uso dos equipamentos que são utilizados para climatização de ambientes. Como consequência, a demanda total de energia elétrica varia entre as regiões [2].

De acordo com os dados apresentados na Pesquisa de Posse e Hábitos de Uso de Equipamentos Elétricos (PPH) elaborada pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), unidades consumidoras da classe residencial de regiões com temperatura ambiente mais baixas possuem um maior número e fazem uso com maior frequência de equipamentos destinados ao aquecimento de água, tais como chuveiros e torneiras elétricas, quando comparados com unidades consumidoras de regiões temperatura ambiente mais elevadas [3]. Tendo em vista a variabilidade dos hábitos de consumo e das condições climáticas e socioeconômicas das diferentes regiões, é necessário que se faça um planejamento e análise periódica adequada do sistema elétrico [4].

O planejamento e análise periódica do sistema elétrico torna possível manter o atendimento à demanda de potência das unidades consumidoras dentro dos parâmetros adequados. Desta forma, é de grande importância

conhecer ou prever a demanda de potência das unidades consumidoras, pois é a partir dela que se torna possível planejar a elaboração de um sistema de distribuição de energia elétrica para uma nova região, bem como realizar manutenções nas redes de distribuição existentes [5]. Para conhecer o perfil de carga de uma região é necessário que sejam realizados estudos das curvas de carga das unidades consumidoras.

As curvas de carga são gráficos da variação de demanda de potência em função do tempo. Com a elaboração das curvas de carga de uma região, torna-se possível analisar o comportamento individual dos consumidores ou de uma região, possibilitando a adoção de medidas que garantam o funcionamento adequado do sistema no que se refere à eficiência energética [6].

Para se conhecer as curvas de carga de uma região, é necessário que sejam realizadas estimativas de consumo de energia elétrica para os diferentes tipos de consumidores. Há na bibliografia dois métodos principais de estimativa do consumo de energia elétrica: o método *top-down* e o método *bottom-up* [6].

No método *top-down* são utilizados parâmetros desagregados para estimar o perfil de consumo de uma região a partir de variáveis como o consumo total de energia da região, o histórico do perfil de consumo das unidades consumidoras, indicadores macroeconômicos e características climáticas. Além disso, não é necessário que se tenha dados detalhados relacionados aos hábitos dos consumidores e aos equipamentos que eles possuem. Por outro lado, como desvantagem existe a necessidade de possuir um histórico do perfil de consumo dos indivíduos [7].

Na metodologia *bottom-up* as curvas de carga das unidades consumidoras são estimadas por meio

da análise de dados agregados como posses, hábitos de consumo e características de funcionamento dos equipamentos elétricos presentes nas instalações. Por essa razão, ao contrário do método *top-down*, não é necessário o conhecimento do histórico de consumo das unidades consumidoras. As características de elaboração das curvas de carga a partir dessa metodologia fazem com que os resultados obtidos tenham um elevado grau de detalhamento. No entanto, esse tipo de estimativa necessita de grandes bases de dados para que seja realizada [8].

Sabe-se que as concessionárias de energia brasileiras geralmente não possuem dados de histórico de variação de consumo das unidades residenciais ao longo dos dias, pois a cobrança de energia consumida é feita apenas pelo acumulado dos consumos diários [9]. Desta forma, a metodologia *bottom-up* se apresenta como uma possível solução quando se deseja gerar curvas de carga de unidades consumidoras da classe residencial. No Brasil, uma das formas de estimar a curva de carga de unidades consumidoras de uma região é a partir da utilização dos dados da PPH, elaborada pelo PROCEL anualmente. Porém, uma limitação das curvas de carga elaboradas apenas com base nos dados da PPH é que só é possível obter uma curva média para todo o ano, não considerando as variações sazonais de consumo das regiões.

Devido às possíveis variações no consumo de energia, de acordo às mudanças das estações do ano, é necessário que sejam propostas metodologias de geração das curvas de carga com um nível de detalhamento cada vez maior. Uma forma de aumentar o nível de detalhamento das informações sobre a curva de carga de uma dada região é a partir da geração

da curva considerando a sazonalidade no consumo de energia, o que pode ser feito a partir da utilização dos dados apresentados na PPH do PROCEL em conjunto com outras bases de dados, como por exemplo as da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Desta forma, este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia do tipo *bottom-up* para estimação de curvas de carga de unidades consumidoras residenciais individuais a partir da análise de suas posses e hábitos de consumo. Além disso, estão incorporadas na metodologia as variações de consumo de energia ao longo do ano, baseando-se principalmente nos dados apresentados na PPH na Classe Residencial da PROCEL em conjunto com os dados disponibilizados pela ANEEL também para a classe residencial.

## Metodologia

Como a metodologia de estimação de curvas de carga de unidades consumidoras individuais proposta neste trabalho é do tipo *bottom-up*, para o desenvolvimento foi utilizada a base de dados da PPH elaborada pelo PROCEL em conjunto com os dados de pesquisas da ANEEL. A PPH utilizada neste trabalho foi realizada entre julho de 2018 e abril de 2019, na qual estão contidas informações referentes a 59 equipamentos elétricos divididos em 7 categorias distintas: cozinha, serviço, ambiente, eletrônicos, ferramentas, área externa e outros [3]. Além disso, também são disponibilizados dados referentes à classe econômica dos entrevistados, aos tipos de equipamentos utilizados, frequência e tempo de uso dos equipamentos e, em caso de equipamentos de uso não-constante tais como chuveiros elétricos e condicionadores de ar, por exemplo, variação de uso ao longo do ano. O nível

de confiança da PPH é de 95% e erro de amostragem é de 1,0% no Brasil, 3,0% nas regiões geográficas e 4,0% nos estados e no Distrito Federal [3]. A partir da utilização dos dados das pesquisas, foi realizada uma série de etapas para compor a curva de carga final de uma unidade consumidora residencial típica ao longo do ano. As etapas realizadas bem como os passos de cada etapa estão descritas nas subseções a seguir.

### 1. Estudo de caso

Para a geração da curva de carga das unidades consumidoras, é necessário conhecer a potência consumida pelos equipamentos contidos nas residências dos consumidores da região na qual se deseja obter as informações. Os equipamentos considerados nas estimativas e análises realizadas neste trabalho foram os equipamentos elétricos descritos na PPH de 2019 e declarados pelos entrevistados para o estado da Paraíba – Brasil, totalizando 16 equipamentos. A potência determinada para cada equipamento foi calculada a partir da ponderação dos valores típicos de consumo de cada variação do equipamento, conforme Equação (1).

$$PC_i = \frac{\sum PM_k \cdot P_k}{PM_i} \quad (1)$$

Em que,

$PC_i$  – Potência considerada do equipamento “i” [em Watts];

$PM_i$  – Posse média do equipamento “i” considerando todas as variações;

$PM_k$  – Posse média do equipamento da variação “k”;

$P_k$  - Potência típica do equipamento da variação “k” [em Watts];

Para exemplificar o modo de calcular a potência de um dado equipamento a partir da Equação (1), os dados referentes às variações de lâmpadas e a potência nominal considerada estão apresentados na Tabela (1).

Tabela 1. Posse e potência de diferentes variações de lâmpadas no estado da Paraíba – Brasil.

Variação	Posse média declarada	Potência típica (W)
Incandescente	0,09	60
Fluorescente compacta	3,67	15
Fluorescente tubular	0,1	20
LED	1,98	8
Dicrónica	0,03	7
<b>Total</b>	<b>5,87</b>	<b>13,35</b>

Fonte: Adaptado de [3].

Na Tabela (1) estão apresentadas as informações de posse e potência das diferentes variações de lâmpadas que estão presentes nas unidades consumidoras residenciais dos entrevistados da região de estudo. As informações relativas ao consumo típico dos equipamentos foram obtidas por meio de tabelas de consumo/eficiência energética do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) e de catálogos de fabricantes que comercializam os produtos na região em estudo. Considerando a posse média de cada variação de lâmpada por residência, foi considerado que se existe uma média de 5,87 lâmpadas por unidade consumidora residencial. A partir da aplicação da Equação (1), foi obtido que a potência a ser considerada para o equipamento lâmpada na elaboração da curva de carga é de 13,35 W.

Os valores de potência para os demais equipamentos foram obtidos de maneira similar ao apresentado na Tabela 1. Na Tabela 2 estão apresentados todos os equipamentos considerados na elaboração da curva de carga do estudo de caso, bem como sua posse média e potência considerada calculada a partir da Equação (1).

Tabela 2. Equipamentos considerados na estimativa de curva de carga do estudo de caso.

Equipamento	Posse média por residência	Potência considerada (W)
Bebedouro	0,06	30,00
Chuveiro elétrico	0,06	4988,60
Computador	0,16	300,00
Condicionador de ar	0,05	888,89
Congelador	0,10	94,44
Ferro elétrico a seco	0,62	1000,00
Ferro elétrico a vapor	0,13	1200,00
Lâmpada	5,88	13,35
Máquina de lavar	0,49	25,36
Notebook	0,14	45,00
Refrigerador	1,00	55,42
Secadora de roupas	0,02	1200,00
Som/Rádio	0,36	6,00
Televisor	1,32	108,42
Ventilador	1,12	40,00
Videogame	0,04	80,00

Fonte: Adaptado de [3].

Após calcular a potência a ser considerada para cada equipamento, é necessário que seja feita uma estimativa do consumo de cada um dos equipamentos ao longo do dia. Estas considerações estão apresentadas na subseção a seguir.

## 2. Estimativa de consumo horário

As formas de estimar o consumo horário para os equipamentos estão subdivididas em duas: Equipamentos em geral e refrigeradores e congeladores, que estão apresentadas a seguir.

## Equipamentos em geral

Os valores estimados de consumo individual de cada equipamento e de consumo total da unidade consumidora para cada hora do dia são obtidos a partir das Equações (2), (3) e (4), nas quais os índices “i” e “h” representam respectivamente o equipamento e a hora do dia (entre 0h00 e 23h00).

Nas equações, os parâmetros referentes às taxas de uso dos equipamentos em cada hora do dia ( $TU_{i,h}$ ) bem como às taxas de uso eventual dos equipamentos ( $TE_i$ ) são porcentagens relacionadas ao total de entrevistados. O parâmetro  $TE_i$  está relacionado com a quantidade de consumidores que alegaram utilizar o equipamento em uma dada hora do dia, enquanto que  $TU_{i,h}$  está relacionado com a quantidade de consumidores que alegam utilizar o equipamento de modo eventual, sem horário definido. Na equação (2) está apresentada a forma de calcular o consumo eventual do equipamento em um dado horário, na equação (3) está apresentada a forma de calcular o consumo do equipamento em um dado horário incluindo também o seu uso eventual e na equação (4) está apresentada a forma de calcular o consumo total do equipamento ao longo de todo o dia. As equações e a definição dos seus parâmetros foram modeladas neste trabalho e estão apresentadas abaixo.

$$E_{i,h} = TE_i \cdot PM_i \cdot PC_i \cdot \frac{TU_{i,h}}{100} \cdot \frac{FU_i}{7} \cdot \frac{C_{i,h}}{\sum_{h=0}^{23} C_{i,h}} \quad (2)$$

$$C_{i,h_{total}} = PM_i \cdot PC_i \cdot t_i \cdot \frac{TU_{i,h}}{100} \cdot \frac{FU_i}{7} + E_{i,h} \quad (3)$$

$$C_h = \sum_{i=1}^N \left( PM_i \cdot PC_i \cdot t_i \cdot \frac{TU_{i,h}}{100} \cdot \frac{FU_i}{7} + E_{i,h} \right) \quad (4)$$

Em que,

$E_{i,h}$  - Consumo eventual do equipamento “i” na hora “h” [em Watts];

$TE_i$  - Taxa de uso eventual do equipamento “i” relativa ao total de entrevistados [em percentual];

$PM_i$  - Posse média do equipamento “i” por domicílio;

$PC_i$  - Potência considerada do equipamento “i” [em Watts];

$TU_{i,h}$  - Taxa de uso do equipamento “i” na hora “h” relativa ao total de entrevistados [em percentual];

$FU_i$  - Frequência de uso média do equipamento “i” [em dias por semana];

$C_{i,h}$  - Consumo do equipamento “i” na hora “h”, desconsiderando o uso eventual [em Watts];

$C_{i,h_{total}}$  - Consumo do equipamento “i” na hora “h” considerando uso eventual [em Watts.h];

$t_i$  - Tempo de uso médio do equipamento “i” [em horas];  $C_h$  - Consumo total da unidade consumidora na hora “h” [em Watts];

Para exemplificar a estimativa de consumo horário por equipamento, na Tabela 3 estão apresentados os valores estimados de consumo eventual e total de lâmpadas para cada hora do dia, calculadas conforme as Equações (2), (3) e (4), considerando os valores de posse média e de potência destacados na Tabela (1).

Tabela 3. Consumo estimado de lâmpadas ao longo do dia para uma unidade consumidora.

Hora	Lâmpadas ligadas (%)	Consumo eventual (W)	Consumo total (W)
00:00	1,50	0,02	1,20
01:00	1,06	0,01	0,85
02:00	0,90	0,01	0,72
03:00	0,87	0,01	0,69
04:00	0,76	0,01	0,61
05:00	1,60	0,02	1,28
06:00	3,32	0,05	2,65
07:00	3,15	0,04	2,52
08:00	1,60	0,02	1,28
09:00	0,82	0,01	0,65
10:00	0,73	0,01	0,58
11:00	0,82	0,01	0,65
12:00	2,45	0,03	1,96
13:00	1,99	0,03	1,59
14:00	0,54	0,01	0,43
15:00	0,49	0,01	0,39
16:00	0,98	0,01	0,78
17:00	9,17	0,13	7,32
18:00	56,68	0,78	45,27
19:00	78,43	1,08	62,64
20:00	73,32	1,00	58,56
21:00	51,56	0,71	41,18
22:00	25,75	0,35	20,57
23:00	5,66	0,08	4,52
<b>Uso eventual</b>		<b>5,66%</b>	

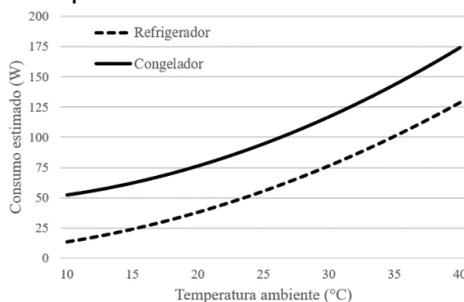
Fonte: Adaptado de [3].

O consumo dos demais equipamentos contidos nas unidades consumidoras foi calculado de maneira similar à forma de cálculo das lâmpadas apresentado anteriormente, modificando os parâmetros referentes ao tipo do equipamento. Porém, para os equipamentos do tipo refrigeradores e congeladores, a estimativa de consumo é realizada a partir de considerações diferentes. A metodologia de estimação de consumo para estes tipos de equipamentos está descrita na subseção B.

### Refrigeradores e congeladores

Apesar dos equipamentos refrigeradores e congeladores serem utilizados durante todo o dia, o valor do consumo não é constante ao longo das 24 horas, pois o consumo destes equipamentos varia com a variação da temperatura ambiente a qual estão submetidos [10]. Deste modo, a estimativa de consumo desse tipo de equipamento foi feita com base na variação da temperatura média de cada hora do dia na região do estudo de caso. Assim, o parâmetro ( $PC_i$ ) é baseado no consumo dos refrigerados ou congeladores em função da temperatura ambiente. Na Figura 2 e Figura 3 estão apresentadas as curvas que relacionam o consumo dos refrigeradores e congeladores variando de acordo com a temperatura ambiente.

Fig.2: Consumo dos refrigeradores e congeladores considerados em função da temperatura.



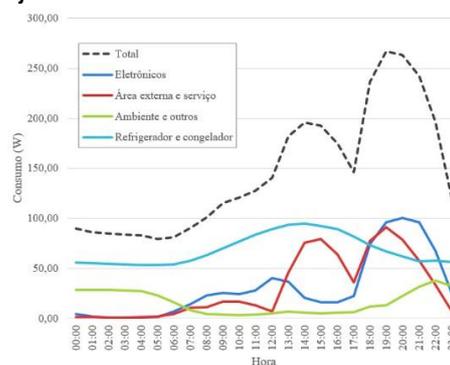
Fonte: Adaptado de [10].

Na Figura 2 estão apresentadas curvas de consumo de refrigeradores e congeladores em função variação da temperatura ambiente. Os dados apresentados nestas curvas são utilizados como base nas Equações (2), (3) e (4) para compor a curva de carga final destes equipamentos, de maneira similar ao procedimento descrito na subseção A.

### 3. Sazonalidade

Os procedimentos descritos anteriormente foram empregados para todos os equipamentos que compõem a unidade consumidora. As curvas individuais dos equipamentos foram somadas para resultar na curva de carga de uma unidade consumidora residencial típica no mês de janeiro, mês este escolhido como base por ser o primeiro mês do ano. A curva de carga total para um dia qualquer do mês de janeiro está apresentada na Figura 3.

Fig. 3: Curva de carga de um dia do mês de janeiro



Com o objetivo de gerar curvas de cargas de um dia de cada mês do ano, os resultados obtidos para um dia de janeiro foram replicados nos demais meses, considerando um coeficiente de variação de consumo para cada mês.

Para calcular os coeficientes de variação de consumo de cada mês, foram utilizados dados da ANEEL

relativos ao consumo total da classe residencial no estado da Paraíba [11]. Para o cálculo do coeficiente de variação de consumo para cada mês, foram consideradas as variações de consumo médio diário por unidade consumidora entre os anos de 2015 e 2019. A partir da variação de cada mês, o coeficiente de variação de consumo para cada mês foi calculado com base no quanto o consumo de um dado mês varia em relação ao mês base (janeiro). A forma de calcular o coeficiente está apresentado na Equação (5) e os resultados dos cálculos estão apresentados na Tabela 4.

$$V_m = \frac{1}{5} \sum_{2015}^{2019} \frac{C_{m,a} C_{m-1,a}}{C_{m,a}} \times 100 \quad (5)$$

Em que,  
 $V_m$  - Variação média do mês "m" relativa ao mês anterior [em percentual];  
 $C_{m,a}$  - Consumo diário do mês "m" no ano "a" [em kWh];

Tabela 4. Consumo diário por unidade consumidora entre os anos de 2015 e 2019 no estado da Paraíba – Brasil.

Mês	Consumo diário por unidade (kWh)					Média da variação relativa a jan(%)
	2015	2016	2017	2018	2019	
<b>Jan</b>	4,34	4,03	3,99	4,10	4,36	-
<b>Fev</b>	4,56	4,11	4,22	4,40	4,42	+4,03
<b>Mar</b>	4,07	4,00	4,33	4,11	4,11	-1,11
<b>Abr</b>	4,12	4,10	4,08	4,19	4,27	-0,33
<b>Mai</b>	3,95	3,86	4,05	3,84	4,17	-4,86
<b>Jun</b>	3,98	3,94	4,01	3,88	3,96	-5,32
<b>Jul</b>	3,47	3,76	3,51	3,63	3,78	-14,88
<b>Ago</b>	3,60	3,61	3,63	3,64	3,56	-15,49
<b>Set</b>	3,90	3,95	3,69	3,61	3,78	-10,10
<b>Out</b>	3,71	3,72	3,72	3,91	3,91	-9,77
<b>Nov</b>	3,85	4,11	4,11	4,24	4,17	-1,84
<b>Dez</b>	3,82	4,00	3,87	3,93	4,25	-4,88

A partir da obtenção dos valores da variação percentual para cada mês com relação ao mês base, tornou-se possível obter as curvas de carga para todos os meses do ano.

#### 4. Validação dos resultados

Com o objetivo de verificar se a partir do uso da metodologia proposta é possível obter curvas de carga que representem bem o consumo real da região do estudo de caso, foram calculados o coeficiente de determinação e o erro com relação ao consumo médio dos entrevistados em cada mês do ano da pesquisa do PROCEL. Esta etapa foi realizada como forma de validação dos resultados perante a uma metodologia de estimação já utilizada.

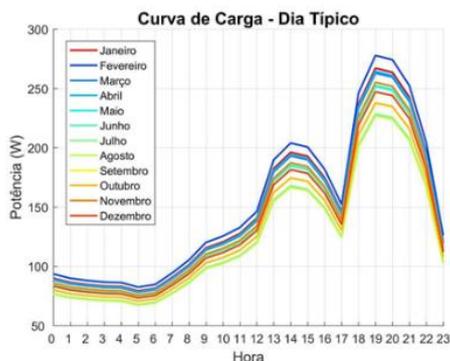
O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) assume valores entre 0 e 1 e foi utilizado para analisar a correlação entre as curvas de carga de cada equipamento e a curva de carga total da unidade consumidora. Desta forma, quanto mais próximo de 1 é o valor de  $R^2$ , indica um maior ajuste dos valores estimados aos valores reais [12]. A metodologia de estimação de curvas de carga proposta neste artigo resultou em um coeficiente de determinação igual a 0,8026, calculado conforme apresentado em [14]. O erro percentual absoluto médio (MAPE) mede a precisão de um sistema com base na média dos erros absolutos percentuais observados [13]. O erro percentual absoluto médio obtido com a metodologia proposta neste artigo foi de 3,67%, calculado conforme apresentado em [15].

#### Resultados e Discussões

Nesta seção estão apresentados os resultados obtidos após a realização dos procedimentos descritos na seção 2. Na Figura 4 estão apresentadas as curvas de carga de um dia típico para cada um dos 12 meses do ano, obtidas

a partir da composição das estimativas individuais de cada equipamento descrito na Tabela 2.

Fig. 4: Curvas de cargas de um dia típicos dos 12 meses do ano.



A partir das curvas apresentadas na Figura 4, é possível constatar que existe uma variação entre os valores de demanda horária para cada mês do ano, pois apesar do perfil da curva se manter o mesmo, em alguns meses os valores de demanda de energia ao longo do dia são maiores do que em outros. Também é possível constatar que o consumo de energia elétrica é maior entre os meses de janeiro e abril, meses que compreendem o verão no hemisfério Sul, e menor entre os meses de julho agosto, durante o inverno, conforme os dados presentes na Tabela 4.

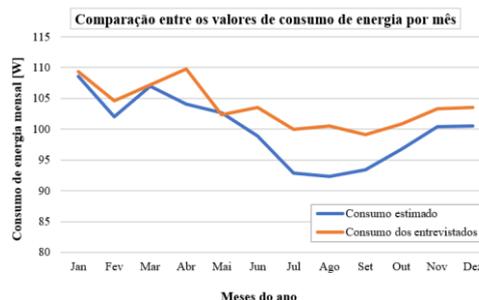
Dentre os meses de maior consumo de energia nas unidades consumidoras, o que se destaca é o mês de fevereiro, sendo este o mês de maior demanda de energia por parte das unidades consumidoras. Em contrapartida, dentre os meses de menor demanda de energia, o que se destaca é o mês de agosto, sendo este o mês de menor demanda de energia por parte das unidades consumidoras durante os dias.

Ao analisar a curva de um dia, é possível constatar que existe um menor consumo nas primeiras horas do dia, por volta das 05 horas, seguido por um aumento nos períodos da manhã e tarde, e atingindo os valores máximos

de demanda durante o início da noite, às 19 horas.

Com o objetivo de verificar se a metodologia proposta para a composição da curva de carga total é válida, foram calculados o erro percentual absoluto médio (MAPE) e o coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Ambos os coeficientes foram calculados em comparação aos dados referentes à média do consumo mensal verificado na fatura de energia elétrica dos consumidores entrevistados na PPH na região de estudo. Assim, este valor de consumo das faturas de energia elétrica foi comparado com a estimativa do consumo total para cada mês do ano realizado com base na metodologia proposta de geração de curvas de carga, sendo estas as apresentadas na Figura 4. Os valores médios de consumo descritos nas faturas de energia das unidades consumidoras e os valores médios de consumo estimado com base na metodologia estão apresentados na Figura 5.

Fig. 5: Curvas de cargas de dias típicos dos 12 meses do ano.



De acordo com os dados apresentados na Figura 7, o consumo mensal estimado a partir da metodologia segue o mesmo perfil do consumo médio dos entrevistados, pois as curvas possuem formato similar ao longo dos meses. Além disso, os valores entre os meses são próximos, tendo a maior diferença no mês de agosto, existindo uma diferença de apenas 8 kW.

Ainda com base nos valores de consumo dos meses apresentados na

<sup>1</sup>izadora.cardoso@ee.ufcg.edu.br

Figura 7, foram calculados o coeficiente de determinação e o MAPE entre as curvas. Os valores obtidos foram de 0,8026 para o coeficiente de determinação e 3,67% para MAPE.

O valor do coeficiente de determinação obtido indica um bom ajuste dos valores estimados aos valores reais, enquanto o MAPE inferior ao limite de 20% estabelecido pela ANEEL indica que as curvas estimadas são aceitáveis em comparação com as reais [16].

### Considerações Finais

A partir dos resultados apresentados é possível concluir que a metodologia de geração de curvas de carga baseada no modelo bottom-up se apresenta como uma solução quando não se tem conhecimento do histórico de consumo das unidades consumidoras. O uso de metodologias do tipo bottom-up torna possível a geração de curvas a partir do estudo dos dados de posse e hábitos de consumo dos equipamentos elétricos da unidade consumidora que se deseja analisar. Desta forma, pode-se concluir que a metodologia proposta neste trabalho se apresenta como uma boa solução quando não se tem dados históricos de consumo de uma dada região e se faz necessário gerar as curvas de carga das unidades consumidoras locais. Também é possível concluir que as curvas de carga obtidas a partir da metodologia proposta representam bem a realidade da localidade estudada, visto que o erro obtido foi de 3,64% e o coeficiente de determinação calculado foi de 0,8026. Por fim, é possível concluir que ao se utilizar a metodologia desenvolvida, torna-se possível gerar curvas de carga horária para unidades consumidoras de diferentes regiões, estados e classes econômicas que se queira, desde que se conheça os dados de posse e hábitos

de uso de equipamentos, o que pode ser obtido através de entrevistas com os próprios consumidores locais.

### Referências

- [1] Grandjean, A., Adnot, J., Binet, G., A review and an analysis of the residential electric load curve models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012. 16(9): p.6539-6565. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.08.013>
- [2] Sunardi, C., Hikmat, Y, Margana, A., Sumeru, K., Sukri, M., Effect of room temperature set points on energy consumption in a residential air conditioning. *AIP Conference Proceedings*, 2020: p.1-8. <https://doi.org/10.1063/5.0018806>
- [3] PROCEL. Pesquisa de Posse e Hábitos de uso de Equipamentos Elétricos na Classe Residencial. Portal Procel Info, 2019.
- [4] Kagan, N.; Oliveira, C.; Robba, E. *Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica*. São Paulo: Blucher, 2005.
- [5] Swan, L., Ugursal, V., Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009. 13(8): p.1819-1835. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2008.09.033>
- [6] Proedrou, E., A Comprehensive Review of Residential Electricity Load Profile Models. *IEEE Access*, 2021. 9(1): p. 12114-12133. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3050074>
- [7] Shi, Y., Yu, T., Liu, Q., Zhu, H., Li, F., Wu, Y., An Approach of Electrical Load Profile Analysis Based on Time Series

Data Mining. IEEE Access, 2020. 8(1): p.209915-209925.

<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3019698>

[8] Streicher, K., Padey, P., Parra, D., Bürer, M., Schneider, S., Patel, M., Analysis of space heating demand in the Swiss residential building stock: Element-based bottom-up model of archetype buildings. Energy and Buildings, 2019. 184(1): p.300-322.

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.011>

[9] Issi, F., Kaplan, O., The Determination of Load Profiles and Power Consumptions of Home Appliances. Energies, 2018. 11(3): p.1-18. <https://doi.org/10.3390/en11030607>

[11] <https://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>

[10] Harrington, L., Aye, L., Fuller, B., Impact of room temperature on energy consumption of household refrigerators: Lessons from analysis of field and laboratory data. Applied Energy, 2018. 211(1): p.346-357.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.060>

[11] <https://www.aneel.gov.br/relatorios-de-consumo-e-receita>

[12] Cornell, J., Berger, R., Factors that Influence the Value of the Coefficient of Determination in Simple Linear and Nonlinear Regression Models. Phytopathology, 1987. 77(1): p.63-70.

<https://doi.org/10.1094/Phyto-77-63>

[13] Myttenaere, A., Golden, B., Grand, B., Rossi, F., Mean Absolute Percentage Error for regression models. Neurocomputing, 2016. 192(1): p.38-48.

<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2015.12.114>

[14] FENG, W. et al. An expert recommendation algorithm based on Pearson correlation. Cluster Computing, n. 22, p. 7401–7412, Maio 2019.

[15] MYTTENAERE, A. et al. Mean Absolute Percentage Error for regression models. Neurocomputing, n. 192, p. 38-48, 2017.

[16] ANEEL. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2018.