

Construção da tipologia de curvas de cargas harmônicas residenciais

Vanildo R. Neves Jr*, José Rubens Macedo Junior**, Raquel Cristina Filiagi Gregory***

*Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, RO, Brasil (e-mail: vanildo.neves@unir.br)

**Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil (e-mail:jrubens@ufu.br)

***Núcleo de Estudos e Pesquisas do Norte e Nordeste, São Luís, MA, Brasil (e-mail: raquel.filiagi@nepen.org.br)

Abstract: This paper presents the results of applying a clustering methodology to obtain the harmonic typology of residential loads, considering both amplitude and phase angle for different orders of harmonic currents. For this purpose, the k-means clustering methodology was used, as well as the results of a measurement campaign carried out in the concession area of a large electric utility. The results obtained allowed the temporal characterization of the harmonic flow direction in the connection branches of residential low voltage consumers, duly stratified into different consumption classes.

Resumo: Este artigo apresenta os resultados da aplicação de uma metodologia de clusterização para a definição da tipologia de cargas harmônicas residenciais, contemplando amplitude e ângulo de fase para diferentes ordens de correntes harmônicas. Para este propósito, utilizou-se a metodologia de agrupamento denominada *k-means*, assim como os resultados de uma campanha de medições realizada na área de concessão de uma grande distribuidora de energia elétrica. Os resultados obtidos possibilitaram a caracterização temporal do sentido e da intensidade do fluxo harmônico nos ramais de ligação de consumidores de baixa tensão residenciais devidamente estratificados em diferentes classes de consumo.

Keywords: Typology of residential load curves; harmonic distortion; power quality; classification techniques; technical losses, billing measurement.

Palavras-chaves: Tipologia de curvas de carga residenciais; distorção harmônica; qualidade da energia elétrica; técnicas de classificação; perdas técnicas, medição de faturamento.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, com a evolução da eletrônica de potência, as cargas residências vêm apresentando características predominantemente não lineares. Este fato tem contribuído para o aumento das distorções harmônicas nas redes elétricas, além de provocar alteração na característica das cargas dos consumidores. Atualmente, o cálculo do consumo de energia baseia-se somente na utilização da tensão e corrente em frequência fundamental (Instituto Nacional de Metrologia, 2007), ou seja, considerando condições ideais de operação. Porém, com o aumento da penetração harmônica, fica evidente a contribuição das componentes não-fundamentais na potência total (Emanuel, 2010).

Além do impacto no consumo de energia, as correntes harmônicas contribuem para o aumento das perdas técnicas e também prejudicam a qualidade da energia elétrica. Por essa razão, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL estabelece limites para as distorções harmônicas de tensão (PRODIST – Módulo 8 ANEEL, 2021).

Para o monitoramento dos indicadores de qualidade da energia elétrica, via de regra, as orientações nacionais se baseiam nos protocolos estabelecidos nos padrões IEC 61000-4-7 (International Electrotechnical Commission, 2002) e IEC 61000-4-30 (International Electrotechnical Commission, 2008). Muito embora as orientações contidas nestes documentos sejam amplamente difundidas para o monitoramento e gestão de harmônicos nas instalações elétricas, para o cálculo da contribuição das correntes harmônicas no faturamento, perdas técnicas e na qualidade de

energia, é fundamental o conhecimento da magnitude e ângulo de fase das componentes harmônicas integralizadas ao longo de um período de medição. Nesse sentido, uma vez que não há padrão nacional e/ou internacional que forneça um procedimento de cálculo para a agregação dos ângulos de fase das componentes harmônicas, neste trabalho, utiliza-se a metodologia de agregação temporal dos ângulos de fase estabelecida em Xavier & Macedo, (2021).

Utilizando os protocolos de medição e a teoria da agregação temporal dos ângulos de fase, o principal objetivo desse trabalho é definir a tipologia do módulo e do ângulo das componentes harmônicas das cargas residenciais. Essas informações podem ser adicionadas no fluxo de potência, e portanto será possível verificar o comportamento da energia elétrica mais próximo do real, analisando parâmetros de faturamento, perdas técnicas e de qualidade de energia elétrica.

Os dados coletados são de uma campanha de medição de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com uma concessionária de distribuição de energia elétrica e foi definido, para análise deste artigo, as cargas residenciais, aplicando as metodologias já citadas.

Para definir a metodologia para o cálculo da tipologia da curva de carga, tanto da corrente quanto do ângulo, analisou-se cinco métodos (*k-means*, Ward, NUDYC-DESCR2, rede de kohonen e classificação *fuzzy* – FCM) e constatou-se que os resultados entregues pelos métodos são bem semelhantes (Pessanha, et al., 2002).

Sendo assim optou-se pelo método estatístico não hierárquico *k-means*, que é um dos mais populares (Johnson & Wichern,

2007) para definir a tipologia do módulo e do ângulo das correntes fundamental e harmônicas ímpares até a nona ordem.

Nesse sentido, este artigo está dividido em quatro seções. A primeira é a introdução; a segunda é a metodologia para o cálculo da tipologia; a terceira é a apresentação dos resultados e a quarta é a conclusão do perfil das correntes harmônicas encontradas nas cargas residenciais.

2. METODOLOGIA PARA DEFINIR A TIPOLOGIA

2.1 Definição do escopo

Para iniciar a construção da tipologia, é necessário obter medições de clientes por meio de campanhas de medidas. Para a agregação das magnitudes harmônicas, todas as medições utilizadas neste trabalho foram feitas empregando-se instrumentos de medição Classe A que utilizam os protocolos estabelecidos na IEC 61000-4-7, (2002) e IEC 61000-4-30, (2008). Para o cálculo do ângulo, foi incorporada, ao medidor, a metodologia da agregação temporal do ângulo de fases definida em Xavier & Macedo, (2021). A Fig. 1 ilustra o medidor empregado nas medições.



Fig 1. Medidor Instalado na Campanha de Medidas

Para a definição do perfil de consumidores da amostra, optou-se pela classe residencial de baixa tensão - BT, pois além desta representar o maior quantitativo na região analisada, possui comportamento menos uniforme se comparado com cargas de média e alta tensão (Pessanha, et al., 2002). Além disso, optou-se por caracterizar somente uma fase e, para este artigo, foi definida a fase A.

Para este artigo foram utilizados 218 medições residenciais. Destas medições, coletadas entre os meses de junho e novembro de 2021, 23 apresentaram dados inválidos e foram desconsideradas. Abaixo, na Tabela 1, está detalhado o quantitativo de medições por faixa de consumo.

Tabela 1. Quantitativo de clientes x faixa de consumo

Cargas Residenciais	
Faixa de Consumo (kWh)	Quantidade de clientes
0 - 100	10
101 - 200	34
201 - 300	36
301 - 400	46
401 - 500	26
501 - 1000	32
>10001	11

2.2 Tratamento dos dados

As medições disponibilizadas estão com intervalo de medição de 10 minutos e, após a disponibilização delas, fez-se um tratamento nos dados verificando se há dados que apresentam registros com ocorrência de variações de tensão de curta duração – VTCD e interrupções de longa duração (ANEEL, 2021), sendo estes expurgados e substituídos pelo mesmo número de leituras válidas de forma a contemplar 1008 registros.

Além da análise dos registros válidos, é necessário separar as medições em três curvas típicas: uma para dias úteis; uma para os sábados e uma para os domingos e feriados.

2.3 k-means

O algoritmo k-means inicia-se com a definição do parâmetro k, correspondente ao número de clusters desejados e particiona o conjunto de n vetores em k classes, de tal forma que a similaridade intragrupo seja minimizada. A similaridade intragrupo é avaliada considerando o valor médio dos objetos em um grupo, que pode ser visto como o seu centro de gravidade ou o centroide (Castro & Ferrari, 2016).

O k-means inicia o centroide dos k clusters aleatoriamente ou selecionando alguns objetos da base de dados. Após definição dos primeiros centroides, é calculada a distância entre cada ponto do vetor em relação aos k centroides e associados os pontos do vetor aos centroides mais próximos. Depois, os centroides são calculados novamente usando a média dos pontos associados a cada cluster e isso pode levar à alteração dos centroides e à uma mudança dos pontos em relação ao cluster associado. O cálculo é finalizado quando os centroides não se alteram mais e, portanto, os pontos dos vetores não mudam seu posicionamento em relação ao grupo associado.

Para determinar a similaridade intragrupo, é utilizada a dispersão interna das classes (Pessanha, et al., 2002), que é a soma dos quadrados intraclasse (SQIntra). Para o cálculo da distância entre o ponto do vetor e o centroide da classe, é utilizado o quadrado da distância euclidiana conforme pode ser visto na equação (1).

$$SQIntra = \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i, x_i \in c_j} |x_i - c_j|^2 \right) \quad (1)$$

Após a definição dos elementos pertencentes em cada classe, é calculada a média com todos os elementos e definido os novos centroides (2).

$$c_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i, x_i \in c_j} x_i \quad (2)$$

Essas etapas são repetidas até que o SQIntra fique menor que o anterior ou até que se defina um limite para o valor do SQIntra.

Portanto, para implementar o algoritmo k-means, deve-se seguir os seguintes passos (Johnson & Wichern, 2007):

- I. Dividir os vetores em k clusters iniciais;
- II. Calcular os centroides iniciais aleatoriamente para os k clusters;

III. Prosseguir, atribuindo cada vetor ao cluster cujo centroide (média) é mais próximo. A distância é calculada usando a distância euclidiana (Equação 1);

IV. Recalcular o centroide para o cluster que está recebendo o novo item e para o cluster que está perdendo o item (Equação 2);

V. Repetir, a partir de III, até que não ocorram mais alterações.

2.4 Agregação dos valores

Como a metodologia dos medidores é de coletar dados a cada 10 minutos, as tipologias definidas estão com 144 valores. Para realizar a transformação para 24 valores, utilizou-se o conceito de soma fasorial decompondo a corrente em parte ativa e reativa.

Sendo assim, para cada hora, tem-se seis valores de corrente com seus respectivos ângulos, portanto, foi feito o cálculo para identificar a parte real e imaginária, realizado a soma separadamente da parte ativa e reativa. Após isso, calculou-se o módulo da corrente elétrica e seu ângulo, chegando nos valores da curva típica, conforme pode ser visto na Fig.2.

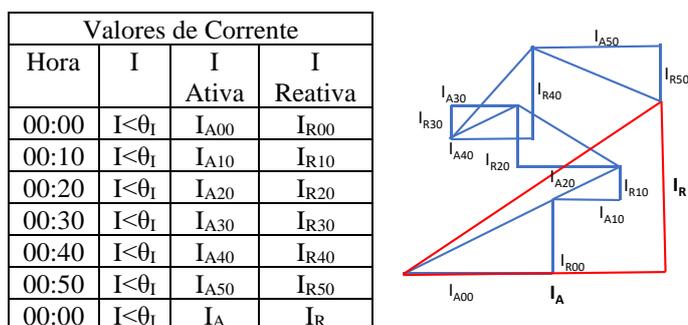


Fig. 2 Cálculo do valor resultante no intervalo de uma hora

Para caracterizar o perfil da carga, foram seguidas as etapas abaixo:

- Etapa 1: Disponibilização dos dados da campanha de medidas;
- Etapa 2: Tratamento dos dados e segregação em sábado, domingo/feriado e dias úteis;
- Etapa 3: Construção da tipologia para cada classe de consumo utilizando o algoritmo *kmeans*;
- Etapa 4: Ajuste da tipologia através da agregação dos dados para definir valores horários;

Portanto, no próximo item é necessário aplicar a sequência citada para obter as tipologias das cargas harmônicas ímpares até a nona ordem.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item, além da definição da curva típica do módulo, será definido também a curva típica do ângulo de cada ordem para dias úteis. Todas essas tipologias serão segregadas por faixa de consumo.

3.1 Faixa de Consumo de 0 a 100 kWh.

Com relação a esta faixa de consumo, foram utilizados dados de medição de 10 consumidores e todos os dados seguiram a metodologia da IEC 61000-4-30 para a medição da amplitude. Para o ângulo, utilizou-se a metodologia de agregação temporal do ângulo de fases desenvolvida pela Universidade Federal de Uberlândia - UFU.

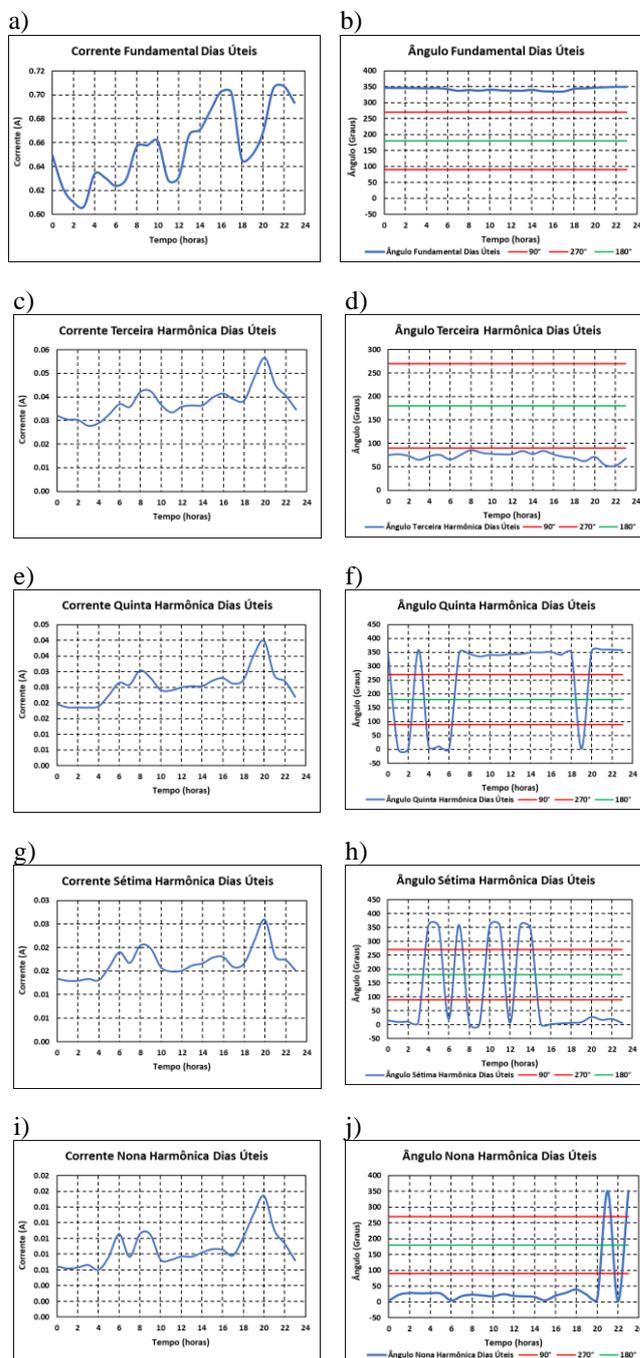


Fig 3. Tipologia de 0 a 100kWh. (a) corrente fundamental; (b) ângulo fundamental; (c) corrente de 3ª; (d) ângulo de 3ª; (e) corrente de 5ª; (f) ângulo de 5ª; (g) corrente de 7ª; (h) ângulo de 7ª; (i) corrente de 9ª e (j) ângulo de 9ª ordens harmônicas.

Nos gráficos com as tipologias dos ângulos, é possível identificar o sentido do fluxo da corrente (carga-fonte ou fonte-carga). Caso o ângulo medido esteja entre as linhas vermelhas, o fluxo é sentido carga-fonte; caso esteja fora da

região delimitada pelas linhas vermelhas, o sentido do fluxo é fonte-carga. Além disso, a linha verde traz informação em relação ao fluxo de potência reativa, pois caso o ângulo esteja acima da linha verde, a potência é indutiva, por outro lado, se estiver abaixo da linha verde, a potência é capacitiva.

Assim, pode-se observar nas tipologias da Fig. 3 que a fundamental tem o fluxo no sentido fonte-carga com perfil totalmente indutivo como indica a Fig. 3(b). A 3ª ordem o fluxo também é fonte-carga e a potência reativa é totalmente capacitiva de acordo com a Fig. 3(d). A 5ª ordem tem o fluxo predominante fonte-carga, e em relação a energia reativa há uma alternância entre indutiva e capacitiva conforme Fig. 3(f). A 7ª harmônica também predomina o fluxo fonte-carga, e a potência reativa também alterna entre capacitiva e indutiva conforme pode ser visto na Fig. 3(h). Por fim, a 9ª ordem tem o principal fluxo sentido fonte-carga com característica de potência reativa capacitiva - Fig. 3(j).

3.2 Faixa de Consumo de 101 a 200 kWh.

Com relação a esta faixa de consumo foram coletadas medições de 34 consumidores.

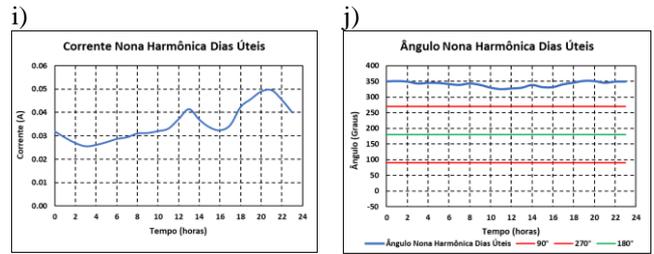
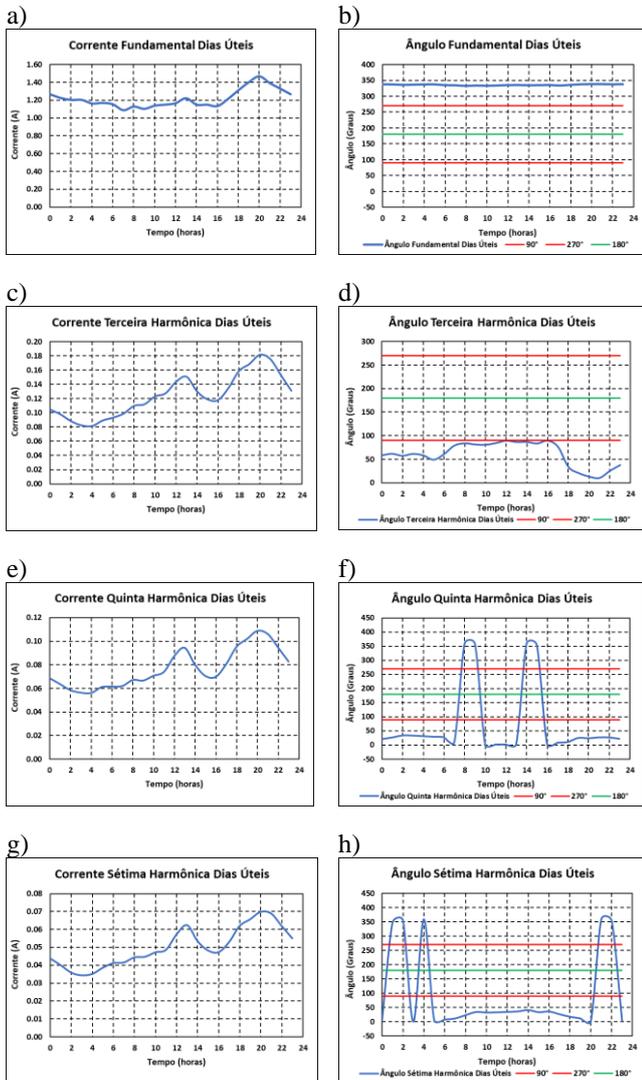
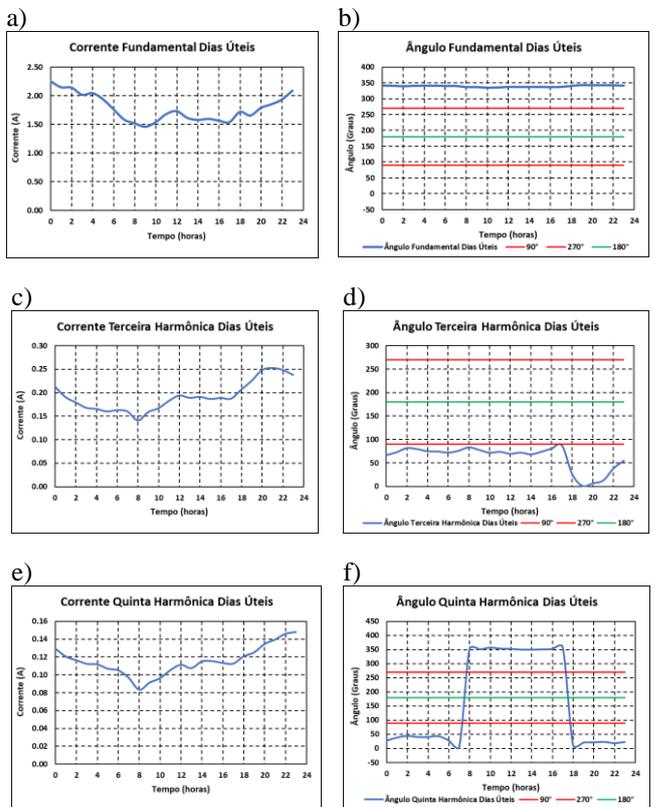


Fig 4. Tipologia de 101 a 200kWh. (a) corrente fundamental; (b) ângulo fundamental; (c) corrente de 3ª; (d) ângulo de 3ª; (e) corrente de 5ª; (f) ângulo de 5ª; (g) corrente de 7ª; (h) ângulo de 7ª; (i) corrente de 9ª e (j) ângulo de 9ª ordens harmônicas.

Nas tipologias da Fig. 4, observa-se que a fundamental tem o fluxo no sentido fonte-carga com perfil totalmente indutivo - Fig. 4(b). A 3ª ordem predomina o fluxo fonte-carga e a potência reativa capacitiva é a predominante - Fig. 4(d). A 5ª ordem tem o fluxo sentido fonte-carga com característica capacitiva prevalecendo - Fig. 4(f). A 7ª harmônica alterna o sentido do fluxo, porém o sentido fonte-carga é o que se mantém na maior parte do tempo e a potência reativa alterna entre capacitiva e indutiva - Fig. 4(h). A 9ª ordem tem o fluxo sentido fonte-carga e, por fim, a potência reativa é indutiva - Fig. 4(j).

3.3 Faixa de Consumo de 201 a 300 kWh.

Neste item foram consideradas 36 medições.



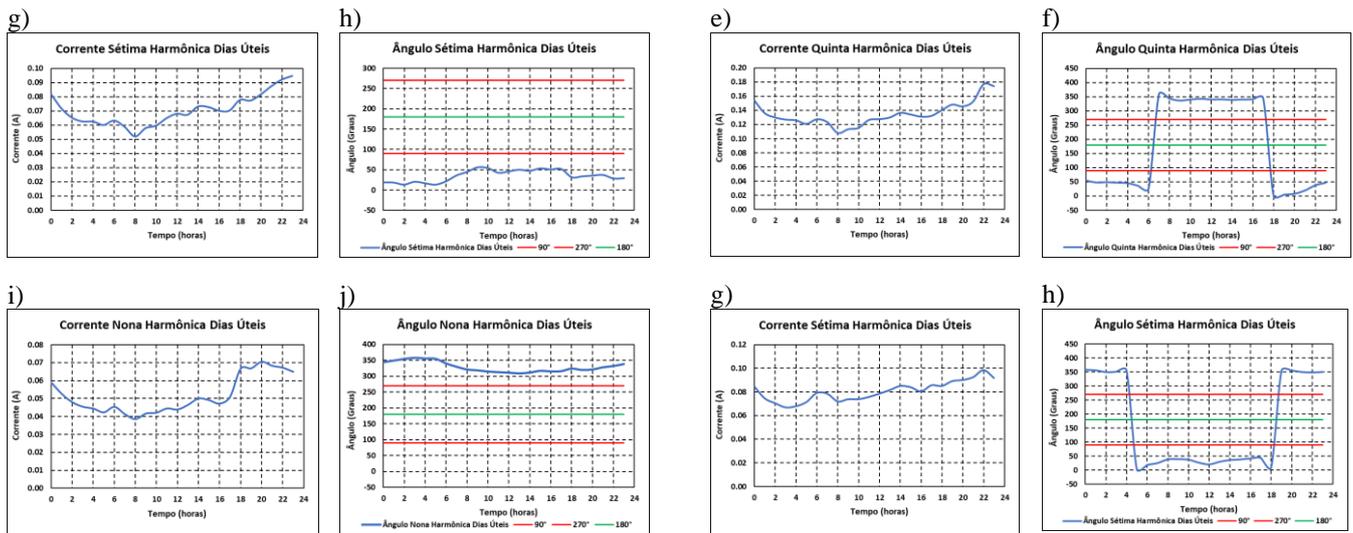


Fig 5. Tipologia de 201 a 300kWh. (a) corrente fundamental; (b) ângulo fundamental; (c) corrente de 3^a; (d) ângulo de 3^a; (e) corrente de 5^a; (f) ângulo de 5^a; (g) corrente de 7^a; (h) ângulo de 7^a; (i) corrente de 9^a e (j) ângulo de 9^a ordens harmônicas.

Nos gráficos da Fig. 5, observa-se que a fundamental tem o fluxo no sentido fonte-carga com perfil indutivo - Fig. 5(b). Quanto a 3^a ordem, o fluxo é fonte-carga e a potência reativa é capacitiva - Fig. 5(d). A 5^a ordem predomina o fluxo fonte-carga e a potência reativa alterna entre indutiva e capacitiva - Fig. 5(f). A 7^a harmônica predomina o fluxo sentido fonte-carga e a potência reativa predominante é a capacitiva - Fig. 5(h). Já, a 9^a ordem tem o fluxo sentido fonte-carga e, por fim, a potência reativa é indutiva - Fig. 5(j).

3.4 Faixa de Consumo de 301 a 400 kWh.

Esta faixa contém 46 medições para definir a tipologia das curvas.

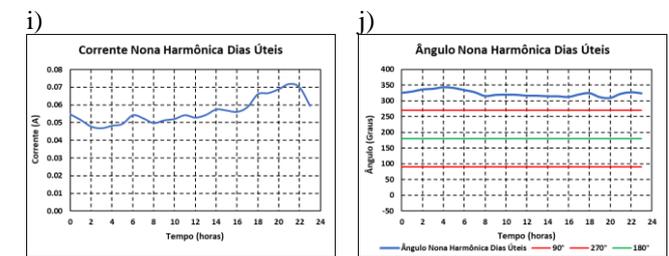
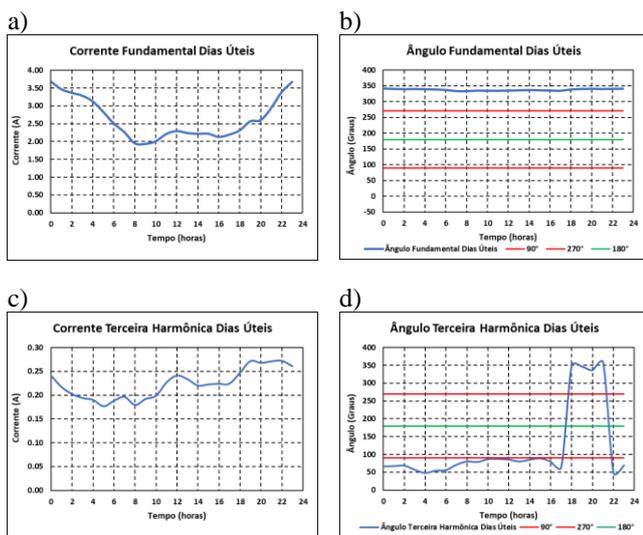
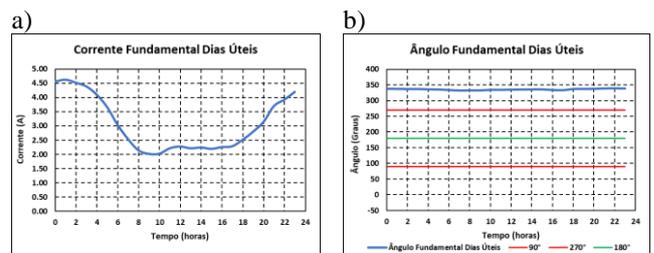


Fig 6. Tipologia de 301 a 400kWh. (a) corrente fundamental; (b) ângulo fundamental; (c) corrente de 3^a; (d) ângulo de 3^a; (e) corrente de 5^a; (f) ângulo de 5^a; (g) corrente de 7^a; (h) ângulo de 7^a; (i) corrente de 9^a e (j) ângulo de 9^a ordens harmônicas.

Para esta faixa de consumo observa-se nas tipologias da Fig. 6 que a fundamental tem o fluxo no sentido fonte-carga com perfil indutivo - Fig. 6(b). A 3^a ordem predomina o fluxo fonte-carga e a potência reativa capacitiva perdura por um tempo maior que a reativa indutiva - Fig. 6(d). Na 5^a ordem predomina o fluxo fonte-carga e a potência reativa alterna entre a indutiva e capacitiva - Fig. 6(f). A 7^a harmônica predomina o fluxo sentido fonte-carga e a potência reativa alterna entre capacitiva e indutiva - Fig. 6(h). A 9^a ordem tem o fluxo sentido fonte-carga e a potência reativa é indutiva - Fig. 6(j).

3.5 Faixa de Consumo de 401 a 500 kWh.

Nesta faixa utilizou-se 26 medições para definir a tipologia das curvas.



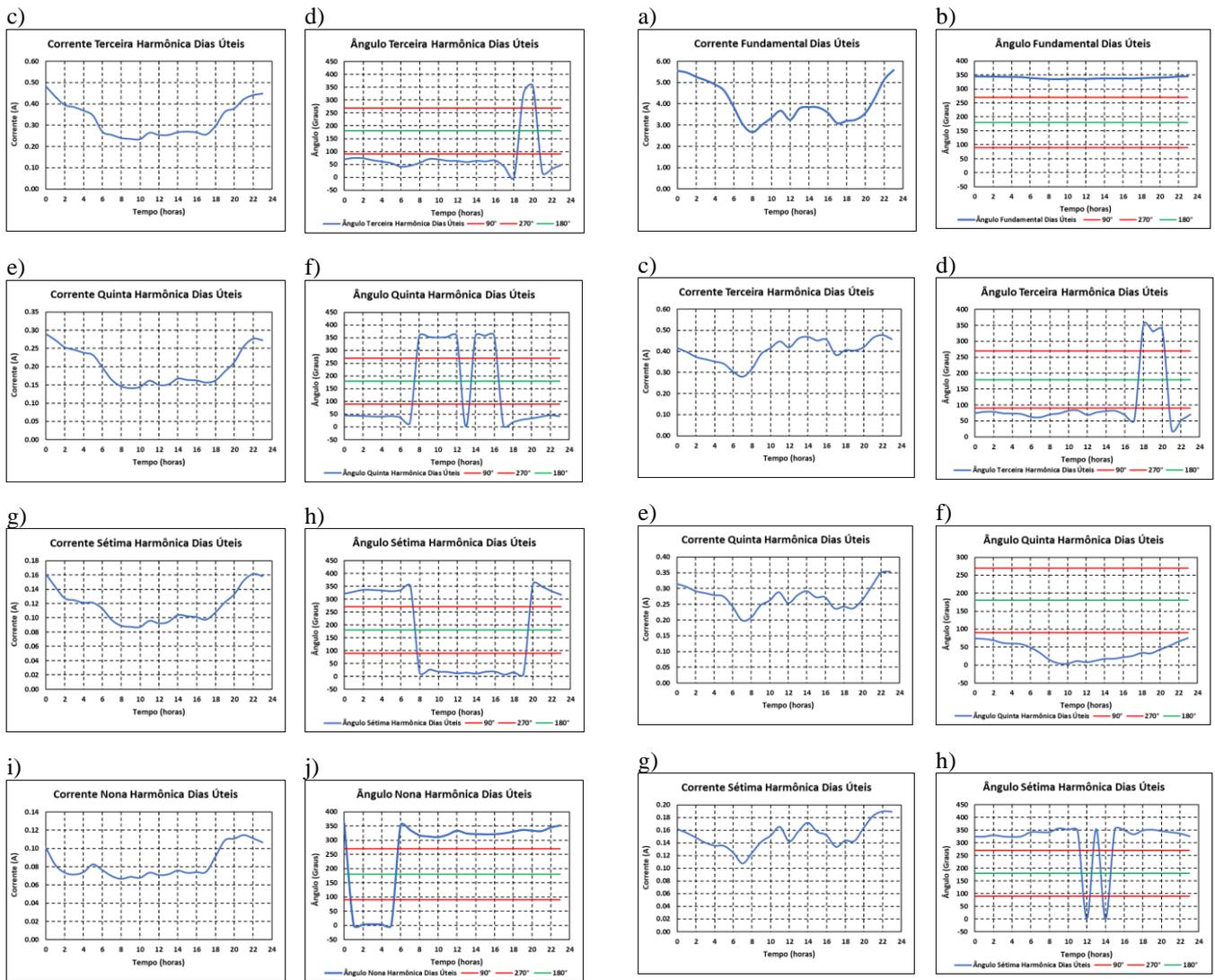


Fig 7. Tipologia de 401 a 500kWh. (a) corrente fundamental; (b) ângulo fundamental; (c) corrente de 3ª; (d) ângulo de 3ª; (e) corrente de 5ª; (f) ângulo de 5ª; (g) corrente de 7ª; (h) ângulo de 7ª; (i) corrente de 9ª e (j) ângulo de 9ª ordens harmônicas.

Com relação às tipologias da - Fig. 7, conclui-se que a fundamental tem o fluxo no sentido fonte-carga com perfil indutivo - Fig. 7(b). A 3ª ordem predomina o fluxo fonte-carga e a potência reativa capacitiva perdura por um tempo maior que a reativa indutiva - Fig. 7(d). A 5ª ordem predomina o fluxo fonte-carga e a potência reativa alterna entre a indutiva e capacitiva - Fig. 7(f). A 7ª harmônica predomina o fluxo sentido fonte-carga e a potência reativa alterna entre capacitiva e indutiva - Fig. 7(h). A 9ª ordem tem o fluxo sentido fonte-carga e a potência reativa indutiva prevalece - Fig. 7(j).

3.6 Faixa de Consumo de 501 a 1000 kWh.

Nesta faixa utilizou-se 32 medições para definir a tipologia das curvas.

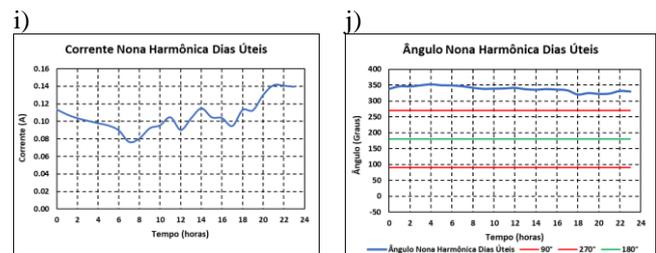


Fig 8. Tipologia de 501 a 1000kWh. (a) corrente fundamental; (b) ângulo fundamental; (c) corrente de 3ª; (d) ângulo de 3ª; (e) corrente de 5ª; (f) ângulo de 5ª; (g) corrente de 7ª; (h) ângulo de 7ª; (i) corrente de 9ª e (j) ângulo de 9ª ordens harmônicas.

Já, nas tipologias da Fig. 8, a fundamental tem o fluxo no sentido fonte-carga com perfil indutivo - Fig. 8(b). A 3ª ordem predomina o fluxo fonte-carga e a potência reativa capacitiva perdura por um tempo maior que a reativa indutiva - Fig. 8(d). A 5ª ordem predomina o fluxo fonte-carga e a potência reativa é predominantemente capacitiva - Fig. 8(f). A 7ª harmônica predomina o fluxo sentido fonte-carga e a potência reativa predominante é a indutiva - Fig. 8(h). A 9ª ordem tem o fluxo sentido fonte-carga e a potência reativa é indutiva - Fig. 8(j).

3.7 Faixa de Consumo maior que 1001 kWh.

Para esta faixa de consumo considerou-se 11 medições para definir a tipologia das curvas.

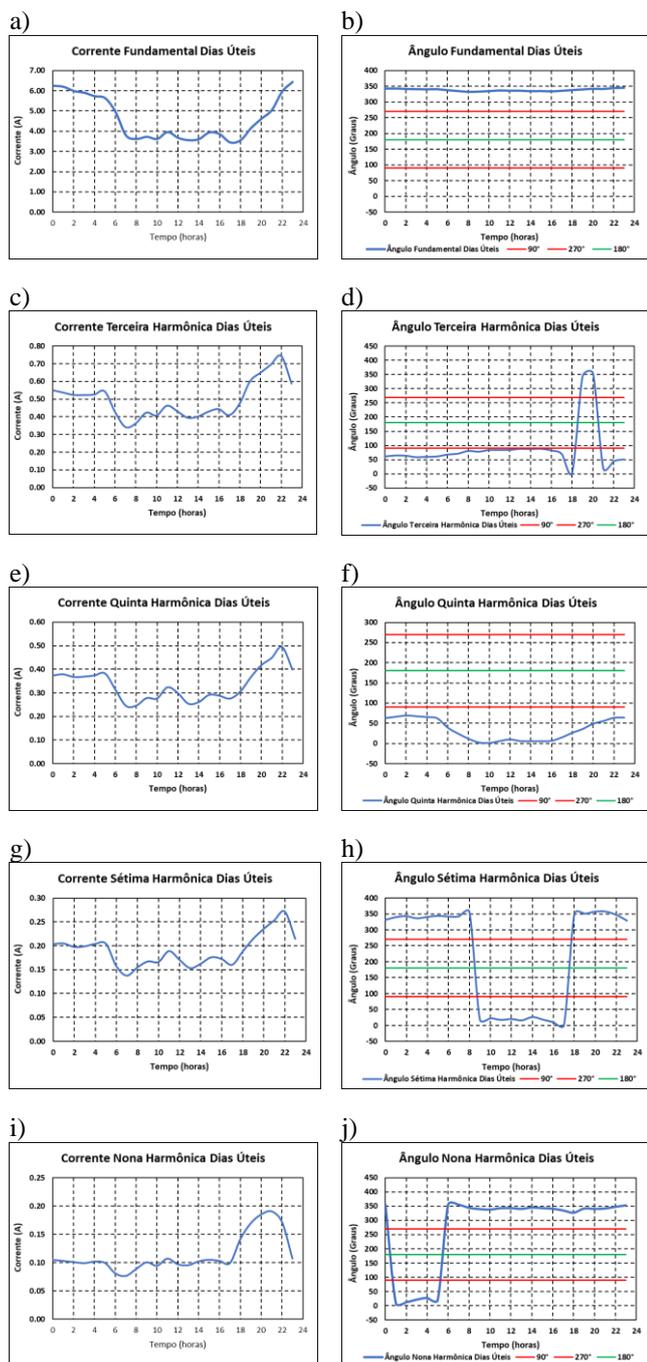


Fig 9. Tipologia maior que 1000kWh. (a) corrente fundamental; (b) ângulo fundamental; (c) corrente de 3ª; (d) ângulo de 3ª; (e) corrente de 5ª; (f) ângulo de 5ª; (g) corrente de 7ª; (h) ângulo de 7ª; (i) corrente de 9ª e (j) ângulo de 9ª ordens harmônicas.

Na definição das tipologias - Fig. 9, tem-se que a fundamental tem o fluxo no sentido fonte-carga com perfil indutivo - Fig. 9(b). A 3ª ordem prevalece o fluxo fonte-carga e a potência reativa predominante é a capacitiva - Fig. 9(d). A 5ª ordem predomina o fluxo fonte-carga e a potência reativa é capacitiva

- Fig. 9(f). A 7ª harmônica predomina o fluxo sentido fonte-carga e a potência reativa alterna entre capacitiva e indutiva - Fig. 9(h). Por fim, a 9ª ordem tem o fluxo sentido fonte-carga e a potência reativa alterna entre capacitiva e indutiva - Fig. 9(j).

3.8 Distorção Harmônica Total da Corrente

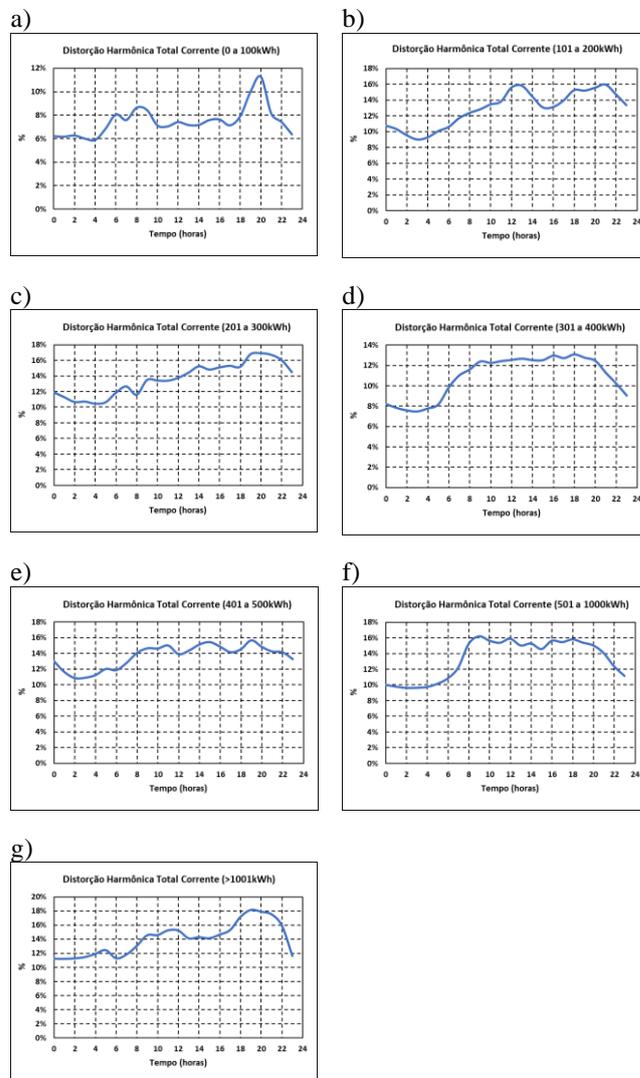


Fig 10. Distorção harmônica total da corrente com as tipologias calculadas por faixa de consumo.

Analisando os gráficos da Fig. 10, constata-se que somente na faixa de consumo entre 0 e 100kWh - Fig. 10(a) - que se tem uma média de distorção menor que 10% durante o dia. Com isso, verifica-se que o perfil de carga residencial vem a cada dia ficando com características mais distorcidas.

3. CONCLUSÕES

Este trabalho utilizou-se de uma campanha de medidas de uma grande distribuidora de energia elétrica, a qual definiu como escopo somente cargas residenciais para traçar o perfil das correntes fundamental e harmônicas ímpares até a nona ordem com seus respectivos módulos e ângulos. Foram coletadas 218 medições e segregadas em faixa de consumo para traçar o perfil das curvas.

Em relação às medições utilizadas, o cálculo da amplitude seguiu o protocolo estabelecidos pela ANEEL que segue as orientações do padrão IEC 61000-4-7 e IEC 61000-4-30. Já, para o cálculo dos ângulos agregados, utilizou-se a metodologia de agregação temporal do ângulo de fases definida em Xavier & Macedo, (2021).

Após a coleta das informações, definiu-se uma metodologia para tratamento dos dados, verificando e validando as informações. Dessa maneira, calculou-se a tipologia das curvas com um dos algoritmos de clusterização mais comuns que é o k-means. Com a aplicação da metodologia, definiu-se as curvas típicas para a fundamental e para as harmônicas ímpares até a nona ordem.

Assim, foi feita a agregação dos 144 valores da curva típica para 24 valores.

Com a definição das curvas típicas, foi analisada a distorção harmônica total das correntes para classe residencial segregadas por faixas de consumo.

Por fim, verificou-se que a distorção harmônica das correntes nas cargas residenciais estão acima de 10% em média, e com o advento do cálculo do ângulo é possível realizar o fluxo de potência harmônica caracterizando a carga o mais próximo possível da realidade e, portanto, contribuir para avaliar o impacto nas medições de faturamento, no cálculo de perdas técnicas e na qualidade de energia elétrica.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado pelo Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, instituído pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), através da Equatorial Maranhão Distribuidora de Energia S.A. Adicionalmente, este estudo foi parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001 e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

- ANEEL, A. N. d. E. E. -, 2021. *Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL*. [Online] Available at: <https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%20C3%B3dulo%208-Revis%C3%A3o%2012/342ff02a-8eab-2480-a135-e31ed2d7db47> [Acesso em 11 novembro 2021].
- ANEEL, A. N. d. E. E. -, 2021. *Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL*. [Online] Available at: <https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%20C3%B3dulo%205%20Revis%C3%A3o%20Final/5f085533-3801-0b1d-dce2-2793ec7134a1> [Acesso em 11 novembro 2021].
- ANEEL, A. N. d. E. E. -, 2021. *Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL*. [Online] Available at: <https://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%20C3%B3dulo%208-Revis%C3%A3o%2012/342ff02a-8eab-2480-a135-e31ed2d7db47> [Acesso em 12 11 2021].
- Castro, L. N. d. & Ferrari, D. G., 2016. *Introdução a Mineração de Dados: conceitos básicos, algoritmos e aplicações*. 1ª ed. São Paulo: Saraiva.
- Emanuel, A. E., 2010. *POWER DEFINITIONS AND THE PHYSICAL MECHANISM OF POWER FLOW*. s.l.:Wiley.
- International Electrotechnical Commission., 2002. *General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto, IEC 61000-4-7:2002*. Geneva, Switzerland: IEC.
- International Electrotechnical Commission., 2008. *Power quality measurement methods, IEC 61000-4-30:2008*. Geneva, Switzerland: IEC.
- Instituto Nacional de Metrologia, N. e. Q. I. -. I., 2007. *Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial - INMETRO*. [Online] Available at: <http://www.inmetro.gov.br/legislacao/rtac/pdf/RTAC001214.pdf> [Acesso em 11 novembro 2021].
- Johnson, R. A. & Wichern, D. W., 2007. *Applied Multivariate Statistical Analysis*. 6 ed. Upper Saddle River: Pearson.
- Pessanha, J. F. M., Velasquez, R. M. G., Melo, A. C. G. & Caldas, R. P., 2002. *Técnicas de Cluster Analysis na Construção de Tipologias de Curva de Carga. XV Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica - SENDI 2002*.
- Xavier, G. L. & Macedo, J. R. M. J., 2021. *Agregação temporal dos ângulos de fase das Componentes Harmônicas - Parte I: Desenvolvimento da Metodologia. Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica - XIV CBQEE*, 30 agosto.