

Modelagem de Curvas de Carga em Instalações Residenciais Considerando Distorção Harmônica

Abstract:

As technology evolves, the use of electro-electronic devices is increasing in homes. The use of these devices depends on the activity profile that each occupant performs. This article presents a model for electricity consumption, considering some electro-electronic devices typical of homes. The model combines the occupation pattern (considers when people are at home and awake) and the activity profile that establishes how people spend time doing certain activities. Demand data with one minute resolution are created from the simulation and incorporated into the residential current curve by means of phasor sum of the fundamental and harmonic currents of each device. In order to validate the model, data were collected from 21 residences located in the city of João Monlevade - MG. The curves of the fundamental and harmonic currents of third and fifth order between the measured and the simulated data were compared, being possible to visualize that they have similar characteristics. Other electro-electronic devices can be incorporated into the model, as long as there are valid statistical data.

Resumo: Conforme a tecnologia evolui, o uso de aparelhos eletro-eletrônicos é cada vez maior nas residências. A utilização destes aparelhos depende do perfil de atividades que cada ocupante realiza. Este artigo apresenta um modelo para o consumo de eletricidade, considerando alguns aparelhos eletro-eletrônicos típicos das residências. O modelo combina o padrão de ocupação (considera quando as pessoas estão em casa e acordadas) e o perfil de atividades que estabelecem como as pessoas passam o tempo realizando certas atividades. Dados de demanda com resolução de um minuto são criados a partir da simulação e incorporados na curva de consumo de corrente residencial por meio de soma fasorial das correntes fundamental e harmônicas de cada aparelho. A fim de se validar o modelo, foram coletados dados de 21 residências localizadas na cidade de João Monlevade - MG. Foram comparadas as curvas das correntes fundamental e harmônicas de terceira e quinta ordem entre os dados medidos e os simulados, sendo possível visualizar que possuem características semelhantes. Outros aparelhos eletro-eletrônicos podem ser incorporados ao modelo, desde que haja dados estatísticos válidos.

Keywords:

Palavras-chaves: Bottom-up; harmonics; power quality, residential loads; waveform distortions.

1. INTRODUÇÃO

Conforme a tecnologia evolui, o uso de aparelhos eletro-eletrônicos, ano após ano, é cada vez maior por parte dos consumidores, principalmente dos sistemas residenciais, os quais utilizam diversos aparelhos, por exemplo, televisores, máquinas de lavar roupa, microondas, computadores, geladeiras, dentre outros. Estes aparelhos possuem componentes de estado sólido na parte eletrônica, o que gera a injeção de correntes harmônicas na rede elétrica. Uma das características destes componentes é apresentar um comportamento não linear com a tensão aplicada a eles, o que gera a injeção de ondas periódicas com frequências diferentes à fundamental, consequentemente a onda de corrente na rede elétrica (com frequência fundamental) será distorcida. As ondas com frequências múltiplas da frequência da rede são denominadas “harmônicas” (Antunes et al., 2014).

As harmônicas trazem vários problemas para a Qualidade de Energia Elétrica (QEE), como por exemplo, sobreaquecimento de transformadores, corrente elevada no condutor neutro ou explosões em capacitores (Antunes et al., 2014). Em geral, a corrente harmônica injetada por uma única residência na rede elétrica não suficientemente elevada

para prejudicar ao sistema elétrico, porém, quando é considerado um conjunto de residências que injetam harmônicas na rede, o nível de distorção harmônica pode ser relevante e nesta condição surge o interesse do estudo e monitoramento (estimação) dos níveis de distorção harmônica presentes em sistemas residenciais.

Vários trabalhos foram encontrados na literatura, os quais mostram as características de diferentes parâmetros relacionados às componentes harmônicas em aparelhos domésticos e propõem técnicas de mitigação das fontes de harmônicas. Em Wang et al. (2017), Blanco et al. (2017) e Carvalho et al. (2015) são apresentadas características de harmônicas em sistemas residenciais gerados por aparelhos domésticos, enquanto Pomilio and Deckmann (2007) e Bagheri and Systems (2013) apresentam técnicas de mitigação de harmônicas por meio de estudos analíticos e simulações. Mais recentemente Ye et al. (2017) utilizou uma abordagem composta da técnica de Montecarlo, que combina uma modelagem bottom - up com dados de medição harmônica, para avaliar o impacto de fontes harmônicas na rede de distribuição.

Diante da pesquisa feita na literatura, surge o desenvolvimento deste artigo, o qual apresenta a simulação de curvas de carga residenciais, tanto as associadas ao consumo da

componente fundamental da corrente, como das respectivas componentes harmônicas. A simulação das curvas segue a metodologia apresentada em Salles Corrêa et al. (2012). Essa metodologia utiliza uma abordagem botom-up (Gao et al., 2018) e (Tsuji et al., 2004), em conjunto com simulação de Montecarlo (Kalos and Whitlock, 1986). Dentre as contribuições deste trabalho pode se citar: a) a extensão da metodologia apresentada em Salles Corrêa et al. (2012) para simular curvas de carga das componentes harmônicas das correntes residenciais. Neste quesito foram considerados dados de distorção encontrados na literatura para alguns aparelhos residenciais. b) A incorporação de um padrão de ocupação da residência pseudo-aleatório, apresentado por Richardson et al. (2008), em que se utilizam dados de uma pesquisa de uso do tempo, realizada no Reino Unido, denominada “Time Use Survey” (TUS-UK) (Ipsos-RSL, Office For National Statistics, 2003), que fornece durações em tempo, nas quais as pessoas passam executando diversas atividades, das quais pode-se constatar se estão em casa, aptos a utilizar algum aparelho eletro-eletrônico ou não. Além disso, foram utilizados dados do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) para estabelecer o percentual de residências que possuem um tipo de determinado aparelho. c) A comparação dos dados simulados com curvas de carga reais e suas componentes harmônicas realizadas via medição em 21 residências da cidade de João Monlevade - MG.

2. MEDIÇÃO EM CAMPO

Cada consumidor, das 21 residências analisadas, possui uma característica distinta. Um resumo dessas características é mostrado na Tabela 1, na qual constam as características mais relevantes.

Tabela 1. Características das residências medidas

Nº de residência	Quantidade de moradores	Faixa de Consumo	Tipo de instalação elétrico	Predominância da iluminação
1	2	2	Monofásica	Incandescente
2	2	1	Monofásica	Incandescente
3	4	2	Monofásica	Fluorescente
4	3	3	Monofásica	Fluorescente
5	4	2	Monofásica	Fluorescente
6	6	2	Monofásica	Fluorescente
7	2	1	Monofásica	Fluorescente
8	3	2	Monofásica	Fluorescente
9	3	3	Monofásica	Fluorescente
10	3	2	Bifásica	Fluorescente
11	2	2	Bifásica	Fluorescente
12	4	2	Bifásica	Fluorescente
13	3	2	Bifásica	Fluorescente
14	3	2	Bifásica	Fluorescente
15	3	3	Bifásica	Fluorescente
16	1	1	Bifásica	Fluorescente
17	3	2	Bifásica	Fluorescente
18	1	2	Bifásica	Fluorescente
19	4	2	Bifásica	Fluorescente
20	3	2	Bifásica	Fluorescente
21	2	2	Bifásica	Fluorescente

Faixa 1: 0-100 kWh; Faixa 2: 100-200 kWh; Faixa 3: 200-300 kWh

Conforme visto na Tabela 1, o tipo de instalação que alimenta cada residência é monofásico ou bifásico. A rede monofásica é caracterizada por um condutor fase e um condutor neutro, enquanto a rede bifásica é caracterizada por dois condutores fases e um condutor neutro. Devido a substituição gradativa das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes e LEDs, é possível visualizar, também, nesta Tabela, que a iluminação predominante nas residências são do tipo fluorescentes.

2.1 Analisador de Energia

Para medição de consumo nas residências foi utilizado o analisador de energia ET-5061C, que permite coletar amostras dos níveis de distorção de tensão e corrente das residências. Com esse aparelho, também podem-se obter dados das principais grandezas elétricas, como potência, corrente e tensão. A Tabela 2 mostra as principais características do analisador.

Tabela 2. Características do analisador de energia utilizado no estudo

Item	Descrição
Valores em tempo real	Tensões, Correntes, Potências, Energias, Flicker, Desbalanceamento, DHT, harmônicos
Período de integração	1, 2, 5, 10, 30 seg, 1, 2, 5, 10, 15, 30, 60 min
Harmônico	Até a 49º ordem
Sistema de Operação	Windows CE
Segurança do instrumento	IEC/EN61010-1
Categoria sobre tensão	CAT IV 600V

3. INDICADORES DE DISTORÇÃO HARMÔNICA

Segundo Antunes et al. (2014), as distorções harmônicas são fenômenos associados a deformações nas formas de onda das tensões e correntes em relação à onda senoidal da frequência fundamental. Para quantificar estas distorções, utilizam-se indicadores harmônicos, os quais mensuram a conformidade senoidal da tensão e corrente e o desempenho da instalação (Antunes et al., 2014). Os dois principais indicadores utilizados neste trabalho são a distorção harmônica total (DHT) e a distorção harmônica individual (DHI).

Apresentado em IEEE (1993), o DHT é expresso como uma porcentagem da componente fundamental e definido como:

$$DHT = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h_{max}} X_h^2}}{X_1} * 100 \quad (1)$$

Onde X_h é o valor RMS tensão ou corrente harmônica de ordem h e X_1 é o valor RMS da tensão ou corrente fundamental.

Conforme apresentado em Antunes et al. (2014), o DHI é o desvio total de uma onda distorcida em relação à sua componente fundamental e é definido como:

$$DHI_h \% = \frac{X_h}{X_1} * 100 \quad (2)$$

Para este artigo, serão trabalhadas as componentes harmônicas de corrente, as quais apresentam os maiores níveis de distorção.

4. CURVA DE OCUPAÇÃO

As curvas de carga dependem do padrão de ocupação das pessoas que estão presentes em casa, sendo estas curvas geradas de acordo com o modelo proposto por Richardson

et al. (2008), que gera dados de ocupação ativa sintéticos utilizando como base os dados fornecidos pelo TUS. Essa pesquisa detalha as atividades de milhares de participantes durante 24 horas com resolução de dez minutos, cujas informações incluem a localização dos participantes da pesquisa (cada dez minutos), mostrando o tempo que pessoa está em casa em determinado horário. A técnica utilizada para gerar os dados sintéticos é a cadeia de Markov, buscando conservar as mesmas características da pesquisa original.

A cadeia de Markov de primeira ordem parte da premissa de que cada estado futuro depende apenas do estado anterior a ele, em conjunto com as matrizes de probabilidade de transição e do estado inicial que é escolhido aleatoriamente de acordo com uma base probabilística. As matrizes de probabilidade de transição dependem dos dados obtidos pelo TUS.

Para a geração da cadeia de Markov, é necessário indicar o estado inicial, ou seja, quantas pessoas estão presentes (ativas) no momento inicial. Como há 24 horas no período estipulado, o estado inicial estará em 00:00. A Figura 1 mostra um exemplo da distribuição de probabilidades de ocupantes ativos no estado inicial. Como se pode notar, a maioria dos ocupantes estão inativos no estado inicial.

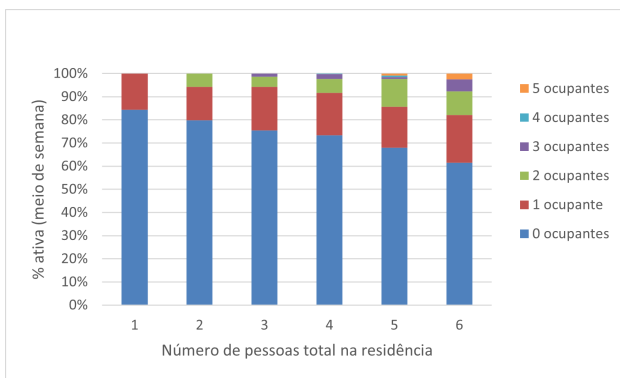


Figura 1. Probabilidade de ocupantes ativos às 00:00

Com o estado inicial escolhido, cada próximo estado será selecionado escolhendo um número aleatório para cada intervalo de dez minutos e comparando com a matriz de probabilidade de transição adequada ao número de ocupantes e dia da semana.

A Figura 2 mostra uma curva de ocupação gerada pelo software “Matlab”, seguindo o modelo disponibilizado em Richardson et al. (2008).

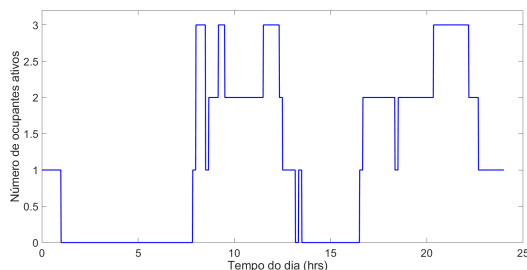


Figura 2. Curva de ocupação indicando quantas pessoas estão em casa durante determinada hora do dia

5. DADOS E INCORPORAÇÃO DE HARMÔNICAS NOS APARELHOS

Devido à falta de dados indicando com precisão o nível de harmônicas que um determinado aparelho residencial emite, foram levantadas informações contidas em outros trabalhos, os quais informaram o nível de harmônicas em alguns aparelhos. A partir destas informações foram construídas faixas de valores tanto para o módulo quanto para o ângulo de fase de cada harmônica.

Por exemplo, na Tabela 3 os dados para os intervalos do computador e da televisão são mostrados. Os dados das harmônicas para todos os aparelhos utilizados neste trabalho (microondas, máquina de lavar, televisor, computador e geladeira) podem ser encontrados em Carvalho et al. (2015), Marques (2011), Nassif (2009), Pires (2006) e Rawa et al. (2014).

Tabela 3. Intervalos dos módulos e ângulos das componentes de um computador e televisão Marques (2011) - Rawa et al. (2014)

Harmônicos	Computador				Televisor			
	Módulo		Ângulo		Módulo		Ângulo	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
1	100	100	0.5	9.6	100	100	2.49	9.5
3	48.13	83.4	-174.73	163.76	3.33	82.29	-22.2	175.41
5	13.25	55.99	-6.73	28.3	2.39	54.84	-155.6	-7.64
7	12.88	26.61	-161.18	61.1	1.14	25.15	-172.9	173.21
9	4.35	12.03	58.1	169.64	0.3	3.41	-148.5	43.13
11	1.03	14.58	-172.9	168.7	0.3	10.51	-33.28	26.6

A incorporação de harmônicas é feita somando-se fasorialmente as harmônicas de mesma ordem de cada aparelho de uma residência. Dessa forma, se obtém o módulo e o ângulo de fase de cada componente harmônica injetada no sistema residencial pelo conjunto de aparelhos domésticos.

6. CURVAS DE CARGA VIA SIMULAÇÃO DE MONTECARLO

A simulação de Monte Carlo envolve o uso de números aleatórios em cálculos que tem estrutura de processos estocásticos. Sendo definidos estes processos estocásticos como a sequência de estados, determinadas por eventos aleatórios (Kalos and Whitlock, 1986). A simulação de Monte Carlo utiliza cálculos probabilísticos para estimar a probabilidade de um evento acontecer. No início, o modelo era utilizado para os jogos de azar, mas, posteriormente, começou a ser utilizado em áreas da física, matemática e biologia (Kalos and Whitlock, 1986). Para este artigo, a simulação foi utilizada com o propósito de estimar a probabilidade do uso de um determinado eletrodoméstico ser ligado em determinado horário.

O modelo é baseado na estrutura (bottom - up) onde primeiramente são construídas as curvas de carga para cada aparelho que compõem a residência, incluindo o consumo de corrente fundamental e das suas harmônicas. Posteriormente, as curvas são agregadas até formar a curva de carga total. Como ilustrado na Figura 3, a estrutura se inicia selecionando a lista de aparelhos que estão contidos em uma residência. Selecionando um aparelho por vez, determina-se qual momento do dia uma pessoa está disposta a ativá-lo e por quanto tempo ficará ligado. O próximo passo é determinar a potência consumida por cada aparelho ao longo do dia (curva de carga) e as harmônicas, por ele injetadas. Terminando de modelar todos os aparelhos

disponíveis na residência, agregam-se as curvas de carga, por meio de uma soma minuto a minuto, e as curvas de harmônicas, somando-se fasorialmente os pontos da curva, para estabelecer as curvas individuais residenciais. A curva de carga e a curva de harmônicas de um conjunto de residências são obtidas por meio de uma soma simples das curvas de cada residência individual e, dividindo pelo número de residências analisadas, obtendo-se uma curva média para cada parâmetro.

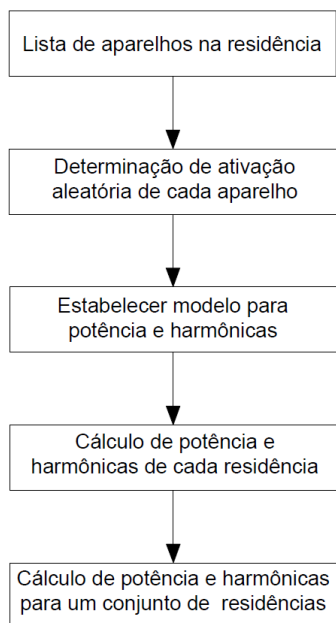


Figura 3. Estrutura do modelo Bottom-up para uma residência

7. MODELO RESIDENCIAL

O modelo calcula, combina e agrega as curvas de carga dos aparelhos e, em conjunto com as curvas de ocupação, considerando a probabilidade de uma pessoa ativar o aparelho em determinado horário. Para esta simulação foram considerados apenas dois dias de semana, um dia útil e um dia de final de semana.

O algoritmo foi implementado no software Matlab, considerando uma curva de carga residencial em cada iteração, sendo este procedimento adaptado do trabalho apresentado em Salles Corrêa et al. (2012) e mostrado através de um fluxograma (ver Figura 4).

Como pode ser visto no fluxograma apresentado, seleciona-se o dia de semana (dia útil ou final de semana) e o número de residentes presentes no domicílio. Após estabelecer este número de pessoas, é determinado pelo método probabilístico descrito em Ipsos-RSL, Office For National Statistics (2003), o padrão de ocupação da residência e as probabilidades de ligar os aparelhos pelos residentes presentes no domicílio.

Neste processo, existem dois fatores de calibração. Sendo o primeiro para o número de pessoas (k), o qual é utilizado para ajustar o impacto dos diferentes números de pessoas que residem em um domicílio, determinado pela razão entre o número de pessoas na casa e o número de pessoas média na região, conforme IBGE (2010). O segundo fator

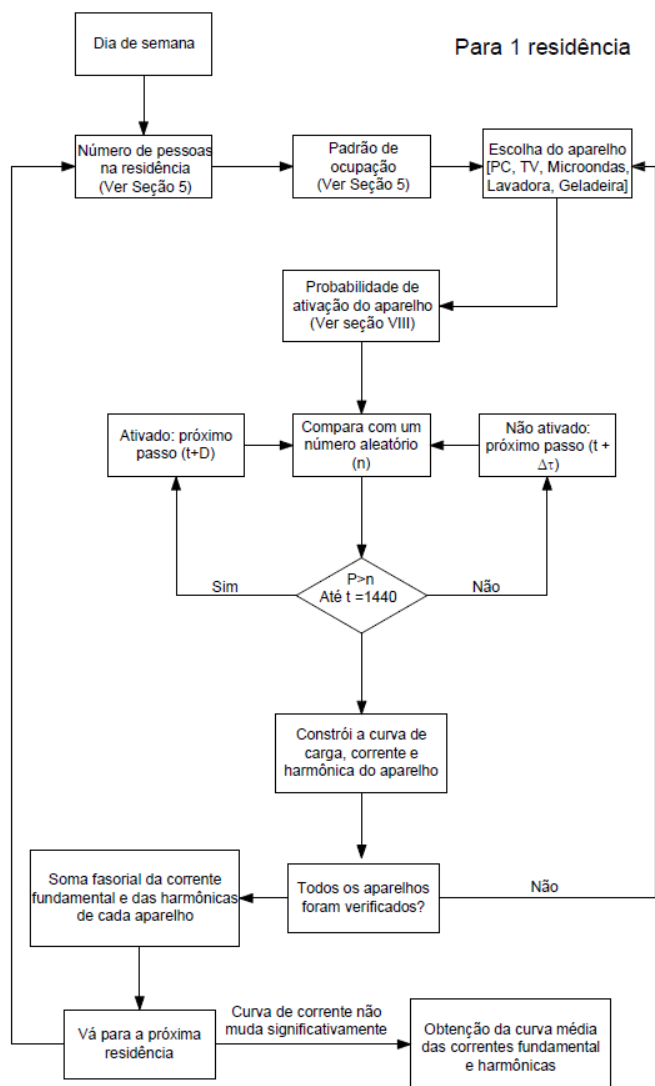


Figura 4. Fluxograma do algoritmo

é o escalar c , definido em Salles Corrêa et al. (2012) e descrito a seguir:

$$c = \frac{1}{\sum_{n=1}^N Pr(n) * OC(n)} \quad (3)$$

Onde,

OC: é o fator de ocupação

OC=0 (não há pessoas em casa ou estão dormindo);

OC=1, (há pessoas acordadas realizando alguma atividade em casa);

c : é o fator de calibração escalar; Pr: A probabilidade da ativação de um aparelho n : instante de tempo inicial (1) N: instante de tempo final (1440)

O algoritmo funciona com uma resolução de 1 minuto. Para isso, se utiliza um artifício com a finalidade de redistribuir a densidade de probabilidade na resolução de 10 minutos, que consiste em manter cada minuto com a mesma probabilidade, multiplicando o fator de calibração k pelo número de ativações diárias m e, o fator

de calibração escalar c pela probabilidade de ativação. Por fim, se multiplicam os dois resultados e se encontra a probabilidade de ativação em um determinado instante de tempo P . A fórmula para a probabilidade de ativação é dada pela seguinte expressão (Salles Corrêa et al., 2012).

$$P = Pr * m * k * c \quad (4)$$

Essa probabilidade é comparada com um número aleatório n . Se P for maior do que n , o aparelho está ativado e passa para um próximo momento, após o ciclo de uso do próprio aparelho. Caso P seja menor do que n , o aparelho não está ativado e o algoritmo passa para o próximo minuto a ser verificado. Como a resolução do algoritmo é de 1 minuto, haverá 1440 iterações para cada aparelho. Este processo é repetido até terminar de avaliar os aparelhos que podem ser ligados nas residências. Por fim, é efetuada a soma fasorial das correntes fundamental e harmônicas dos aparelhos.

Para construção da curva decarga harmônica diária de cada aparelho, é considerada uma faixa de valores de DHI e ângulo de cada aparelho para cada ordem harmônica. Esses valores já foram apresentados na Tabela 3 e uma visão gráfica é mostrada nas Figuras 5 e 6. Dessa forma, cada ordem harmônica terá uma parcela em porcentual da corrente fundamental, juntamente com um ângulo específico.

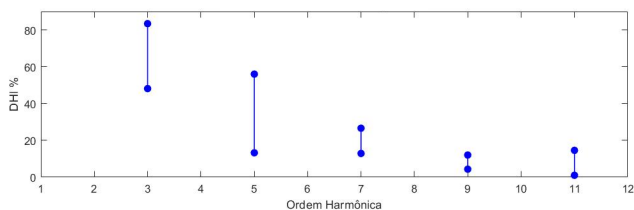


Figura 5. Intervalo DHI do Computador

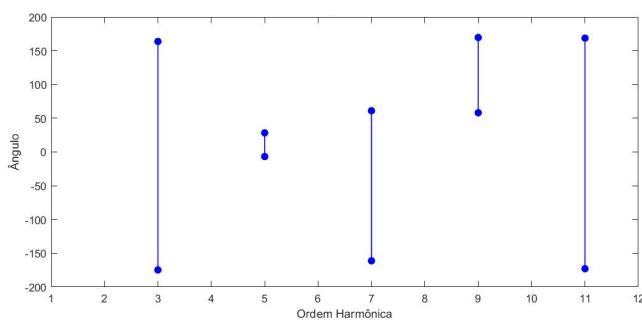


Figura 6. Intervalo do ângulo das harmônicas do Computador

Nos testes feitos, o critério de parada do algoritmo foi estabelecido quando se atingir 1000 iterações. Pois após essa quantidade, não existe uma variação nos valores médios das curvas de carga. Uma vez encontrados os resultados, estes são plotados tanto para as correntes fundamental quanto para suas harmônicas, os quais representam o valor médio de todas as residências simuladas.

8. RESULTADOS

A fim de se manter condizente com o número de dados disponíveis via medição em campo, foram simuladas 21

residências utilizando o algoritmo proposto e obtidas as curvas de corrente fundamental, terceira e quinta harmônicas durante o período de 24 horas. Estas curvas foram comparadas com medições de campo, cuja aquisição de dados foi realizada com intervalos de 5 minutos, devido a limitação de armazenamento interno do analisador. Foram recolhidos o DHT de tensão e de corrente, juntamente com as harmônicas até a 14ª ordem da tensão e corrente. Assim como as potências ativas, reativas e aparentes.

As curvas simuladas e medidas podem, então, ser comparadas. Ambas foram plotadas em um mesmo gráfico para facilitar a análise. Nas Figuras 7 - 9, o gráfico azul representa a curva simulada, enquanto o gráfico vermelho representa a curva medida.

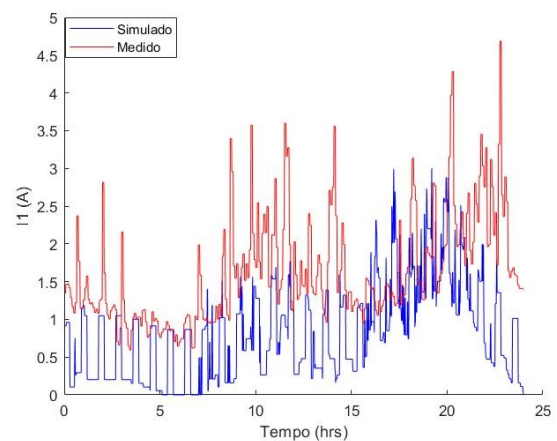


Figura 7. Comportamento da corrente fundamental ao longo de 24 horas

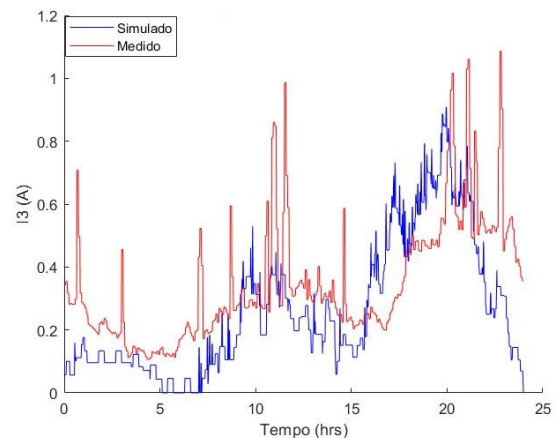


Figura 8. Comportamento da terceira harmônica ao longo de 24 horas

Na Figura 7 (Curva de corrente fundamental) observa-se por volta das 20 horas uma atividade média mais alta. Este comportamento também é observado no período próximo ao almoço, o qual possui uma atividade um pouco maior do que os demais períodos do dia.

Por meio dos dados obtidos via simulação e medição, obteve-se uma tabela contendo a DHT e a DHI para seus valores máximos e mínimos alcançados ao longo do dia. A Tabela 4 mostra os resultados obtidos. Os

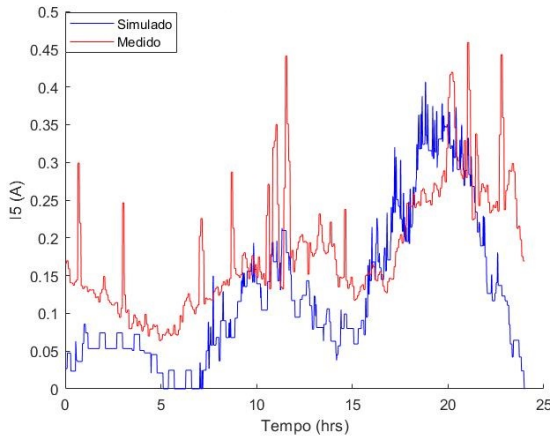


Figura 9. Comportamento da quinta harmônica ao longo de 24 horas

valores encontrados para a DHT foram obtidos aplicando a equação 1, enquanto a DHI para a terceira e quinta harmônicas foi encontrada aplicando a equação 2. Com base na tabela, a DHT máxima simulada é 46% maior do que a medida, enquanto a DHT mínima simulada é 6% menor do que a medida. De forma semelhante, a terceira e quinta harmônicas máximas individuais possuem uma variação maior entre os valores simulados e medidos, ao passo que, para seus valores mínimos, foram obtidos valores similares.

Tabela 4. Conteúdos harmônicos simulados em três instantes de tempo

Harm.	Simulado		Medido	
	Máx. (%)	Mín. (%)	Máx. (%)	Mín. (%)
	68,60	8,82	46,88	9,38
3	63,71	6,49	42,82	7,75
5	25,46	5,96	19,06	5,30

Ainda que o número de aparelhos simulados seja menor ao número total de aparelhos que as residências possuam, é possível notar uma semelhança no comportamento entre as duas curvas. Durante o período entre 00:00 e 6:00 da manhã ocorre uma diferença maior devido à característica da montagem do padrão de ocupação.

Foram realizadas simulações para 1, 21 e 1000 residências e os gráficos de corrente fundamental foram plotados em uma mesma imagem, a fim de comparar a mudança conforme o aumento das iterações. O resultado dessas simulações pode ser visto na Figura 10. Como pode-se perceber, há uma grande variação no uso dos aparelhos de uma única residência com relação às outras duas simulações. Isso se deve ao fato de que para uma simples residência não há uma boa representatividade, visto que a média da corrente fundamental será a própria corrente obtida ao se ligar um aparelho. Já com 21 iterações e 1000 iterações, há uma pequena variação no comportamento, porém o gráfico do primeiro segue de forma bastante consistente a forma do segundo.

É importante enfatizar que o modelo foi construído sem nenhuma referência das medições realizadas. Além disso, o número de aparelhos medidos é menor que o número total

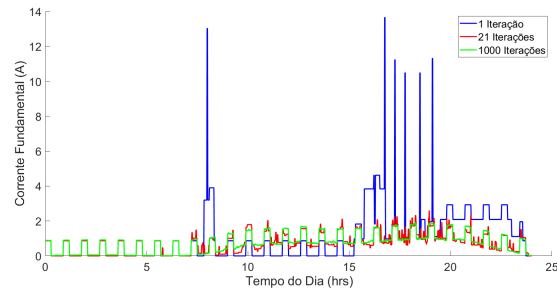


Figura 10. Corrente fundamental para 1, 21 e 1000 iterações

de aparelhos que possui uma residência comum, incluindo a não utilização de tempo de banho ou acender as luzes durante vários períodos do dia. Dessa forma, pode-se notar tanto pelo modelo proposto, quanto pelas medições, que se tem um número mais elevado de atividade na parte da noite e um pouco menor na parte da tarde (ainda relevante). O modelo não captou atividade relevante durante o período entre 00:00 e por volta das 6:00, o que foi obtido através de medições.

9. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou um modelo de demanda de eletricidade residencial para alguns dos aparelhos mais comuns em uma residência típica. O modelo gera estocasticamente dados de demanda com resolução de 1 minuto, conforme existem pessoas aptas a utilizar algum aparelho eletrônico em casa (Richardson et al., 2008). O modelo foi construindo utilizando uma pesquisa feita no Reino Unido (Ipsos-RSL, Office For National Statistics, 2003), que fornece dados de como as pessoas utilizam seu tempo durante o dia. Dados de 21 residências foram obtidos para fins de comparação e validação do modelo.

Os dados obtidos via simulação apresentaram semelhança com os dados medidos, portando é válido afirmar que o modelo é eficaz no que diz respeito aos objetivos definidos. O perfil de corrente seguiu de forma satisfatória os dados obtidos por meio de medição da amostra de 21 residências, porém ainda sub-representa uma forma geral, pois o modelo foi construído utilizando poucos aparelhos, sem contar o uso de iluminação durante os vários momentos do dia, tempo de banho e outras atividades que utilizem a energia elétrica.

Outra diferença na representação se deve ao fato de que esse é um modelo generalizado, não contabilizando diferenças sociais entre bairros, tipo de emprego ou residências que utilizem economia de energia, além de não levar em conta as diferenças entre estações do ano, onde um aparelho pode ser mais utilizado em determinada estação.

Ainda vale salientar que outros aparelhos podem ser incorporados no modelo, desde que haja dados por meio de medição ou pesquisa sobre eles. A incorporação é feita da mesma maneira descrita neste trabalho.

REFERÊNCIAS

Antunes, F., Leão, R., and Sampaio, R. (2014). *Harmônicas em Sistemas Elétricos*. Elsevier Brasil.

- Bagheri, P. and Systems, E. (2013). *Methods to Mitigate Harmonics In Residential Power Distribution Systems*. Ph.D. thesis, University of Alberta.
- Blanco, A.M., Meyer, J., and Schegner, P. (2017). Aggregation characteristic of low-order harmonic currents in residential low-voltage networks. In *2017 IEEE Manchester PowerTech*, 1–6. doi:10.1109/PTC.2017.7981194.
- Carvalho, F.G.d. et al. (2015). Caracterização do conteúdo harmônico em ambientes residenciais: estudo de caso.
- Gao, B., Liu, X., and Zhu, Z. (2018). A bottom-up model for household load profile based on the consumption behavior of residents. *Energies*, 11(8). doi:10.3390/en11082112.
- IBGE (2010). Instituto brasileiro de geografia e estatística. *Censo demográfico*, 2010.
- IEEE (1993). Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems. *IEEE Std 519-1992*, 1–112. doi:10.1109/IEEESTD.1993.114370.
- Ipsos-RSL, Office For National Statistics (2003). United kingdom time use survey, 2000. doi:10.5255/UKDA-SN-4504-1.
- Kalos, M. and Whitlock, P. (1986). Monte carlo methods: Basics. monte carlo methods.
- Marques, J.P. (2011). Modelagem e análise da distorção harmônica de computadores em instalações elétricas.
- Nassif, A. (2009). Modeling, measurement and mitigation of power system harmonics.
- Pires, I.A. (2006). Caracterização de harmônicos causados por equipamentos eletro-eletrônicos residenciais e comerciais no sistema de distribuição de energia elétrica.
- Pomilio, J.A. and Deckmann, S.M. (2007). Characterization and compensation of harmonics and reactive power of residential and commercial loads. *IEEE transactions on power delivery*, 22(2), 1049–1055.
- Rawa, M.J., Thomas, D.W., and Sumner, M. (2014). Experimental measurements and computer simulations of home appliances loads for harmonic studies. In *2014 UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, 340–344. IEEE.
- Richardson, I., Thomson, M., and Infield, D. (2008). A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations. *Energy and Buildings*, 40(8), 1560–1566. doi:10.1016/j.enbuild.2008.02.006.
- Salles Corrêa, D. et al. (2012). Methodology for evaluating the collective harmonic impact of residential loads in modern power distribution systems= metodologias para a avaliação do impacto harmônico coletivo de cargas residenciais em modernos sistemas de distribuição de energia elétrica.
- Tsuji, K., Sano, F., Ueno, T., Saeki, O., Matsuo, T., Electric, K., and Company, P. (2004). Bottom-Up Simulation Model for Estimating End-Use Energy Demand Profiles in Residential Houses Development of the Bottom-Up Simulation Model. *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 342–355.
- Wang, Y., Yong, J., Sun, Y., Xu, W., and Wong, D. (2017). Characteristics of Harmonic Distortions in Residential Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 32(3), 1495–1504. doi:10.1109/TPWRD.2016.2606431.
- Ye, G., Nijhuis, M., Cuk, V., and Cobben, J. (2017). Stochastic residential harmonic source modeling for grid impact studies. *Energies*, 10(3), 372.