

# Modelagem para Análise de Desempenho de Fornos Micro-Ondas no Contexto da Qualidade de Energia Elétrica

Lucas Rodrigues de Almeida  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM  
lucasalmeida@iftm.edu.br

Antônio Carlos Delaiba  
Universidade Federal de Uberlândia – UFU  
delaiba@ufu.br

**Resumo** — Este trabalho visa contribuir com a análise de desempenho de fornos micro-ondas frente a distúrbios da qualidade de energia elétrica. Os estudos estão direcionados para a modelagem de um forno micro-ondas doméstico e sua implementação computacional no programa ATP (*Alternative Transients Program*). Em seguida, sua validação é feita por meio da comparação entre os resultados das simulações computacionais e ensaios laboratoriais, sob condições ideais e não ideais de suprimento. Adicionalmente, este trabalho segue na direção de subsidiar estudos relacionados aos pedidos de ressarcimento por danos elétricos em fornos micro-ondas domésticos, além de estudos relacionados ao impacto da operação de fornos micro-ondas industriais de elevada potência na qualidade de energia elétrica de seu sistema de suprimento.

**Palavras-chaves** — Modelagem computacional, fornos micro-ondas, qualidade de energia elétrica.

## I. INTRODUÇÃO

Fundamental para o desenvolvimento econômico e social, a energia elétrica é considerada um bem indispensável nos dias atuais. Assim, as concessionárias de energia elétrica, além de garantir o fornecimento ininterrupto de energia aos seus consumidores, estão cada vez mais preocupadas em manter os níveis de qualidade de energia dentro dos padrões esperados [1]. Alguns dos desafios encontrados pelas concessionárias estão relacionados às variações de tensão devido à complexa dinâmica de operação dos sistemas interligados, ao nível de harmônicas provenientes da crescente utilização de cargas não lineares no sistema elétrico e ao aumento da utilização de equipamentos sensíveis a esses distúrbios [2].

Condições anormais de suprimento de energia elétrica podem gerar perdas consideráveis aos consumidores residenciais, comerciais e industriais. Esses consumidores estão cada vez mais informados e exigentes quanto à qualidade da energia elétrica que consomem. Diante destes aspectos, tem-se notado nos últimos anos um incremento de pedidos de ressarcimento feitos por consumidores às concessionárias de energia associados aos danos em dispositivos eletroeletrônicos, possivelmente ocasionados pelos problemas na qualidade da energia elétrica de suprimento [3].

Complementarmente, observam-se, em [4], preocupações por parte das concessionárias devido ao grande aumento de pedidos de ressarcimento por danos elétricos e seus impactos

financeiros e sociais. Destaca-se, ainda, nessa última referência, que os fornos micro-ondas estão relacionados entre os principais equipamentos envolvidos nesse processo. Com o aumento do poder aquisitivo da população nos últimos anos, aliado à utilidade e praticidade dos fornos micro-ondas, tem-se percebido um aumento desse eletrodoméstico nas residências brasileiras.

A utilização de ferramentas computacionais tem apresentado resultados bastante satisfatórios no sentido de analisar distúrbios na qualidade de energia elétrica e seus impactos sobre o desempenho dos mais variados equipamentos eletroeletrônicos. Vários trabalhos nesse contexto vêm sendo desenvolvidos envolvendo fontes lineares e chaveadas [5], condicionadores de ar [4], refrigeradores [6], televisores [7], videocassetes [7], aparelhos de som [7], entre outros.

Embora os fornos micro-ondas sejam bastante utilizados atualmente, percebe-se uma carência de estudos envolvendo esse equipamento. Dessa forma, visando contribuir para a análise do desempenho de fornos micro-ondas frente a distúrbios da qualidade de energia elétrica, este artigo apresenta a modelagem computacional de um forno micro-ondas na plataforma ATP (*Alternative Transients Program*) e a validação dos resultados das simulações por meio da comparação com ensaios laboratoriais, sob condições ideais e não ideais de suprimento. Adicionalmente, este trabalho segue na direção de subsidiar estudos mais precisos relacionados aos pedidos de ressarcimento associados aos danos elétricos provocados em fornos micro-ondas, além de estudos relacionados ao impacto da operação de fornos micro-ondas industriais de elevada potência na qualidade de energia elétrica de seu sistema de suprimento, sobretudo o que diz respeito às correntes de terceira harmônica e o correto dimensionamento dos condutores fase e neutro, conforme prescrições contidas na NBR 5410.

## II. CIRCUITO ELÉTRICO PRINCIPAL DO FORNO MICRO-ONDAS

O circuito elétrico principal do forno micro-ondas é constituído, basicamente, de uma válvula magnétron (a), responsável pela emissão das micro-ondas, e uma fonte de alimentação de alta tensão, formada por um transformador de alta tensão de três enrolamentos (b) e um circuito dobrador de tensão, composto por uma capacitor (c) e um diodo (d), ambos de alta tensão, conforme apresentado na Fig. 1.

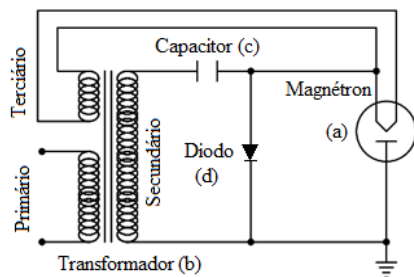


Fig. 1. Circuito elétrico do forno micro-ondas.

O magnétron, principal componente do forno micro-ondas, é uma válvula termiônica responsável por converter a energia elétrica proveniente da fonte de alta tensão em ondas eletromagnéticas. A fonte de alimentação do forno micro-ondas tem três funções específicas: aquecer o filamento do magnétron através da passagem de corrente pelo enrolamento terciário, fornecer uma alta tensão para o magnétron e garantir sua estabilidade de corrente. A alta tensão necessária para alimentar o magnétron é proveniente de um circuito dobrador de tensão de meia onda. Esse circuito é responsável por dobrar e retificar a tensão do enrolamento secundário do transformador, obtendo uma tensão de aproximadamente 4000Vcc no magnétron. Um estudo mais aprofundado sobre o circuito elétrico do forno micro-ondas pode ser consultado em [1].

### III. MODELAGEM DO FORNO MICRO-ONDAS

As principais características elétricas do forno micro-ondas utilizado encontram-se na Tabela I.

TABELA I. PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO FORNO MICRO-ONDAS.

| Descrição                              | Características |
|----------------------------------------|-----------------|
| Marca                                  | Panasonic       |
| Modelo                                 | NN-S66BK        |
| Potência de saída (magnétron)          | 900 W           |
| Frequência de operação das micro-ondas | 2,45 GHz        |
| Tensão nominal                         | 220 V           |
| Frequência de alimentação              | 60 Hz           |
| Consumo                                | 1450 W          |
| Capacitor                              | 0,85 $\mu$ F    |

A estratégia de modelagem utilizada consiste em obter o modelo de cada parte do circuito elétrico principal do forno micro-ondas de forma separada, para, posteriormente, implementá-las em um único modelo. Dessa forma, as seções seguintes são divididas em desenvolvimentos sobre os modelos do transformador de alta tensão, circuito dobrador de tensão e válvula magnétron. Por fim, os modelos são implementados computacionalmente na plataforma ATP, que é uma ferramenta com grande aceitação no setor elétrico para análises de sistemas no domínio do tempo.

#### A. Modelagem do Transformador de Alta Tensão

Diferentemente de um transformador convencional, o transformador do micro-ondas apresenta uma derivação em seu núcleo, composta por lâminas de material magnético empilhadas e localizadas entre o enrolamento primário e o

secundário. Sua função é desviar o fluxo que circula entre os enrolamentos, e essa dispersão adicional protege o magnétron contra eventuais variações de tensão. A modelagem utilizada para representar o transformador de alta tensão do forno micro-ondas se apoia na metodologia apresentada em [8]. A Fig. 2 ilustra a estrutura do transformador, utilizada para o desenvolvimento do modelo.

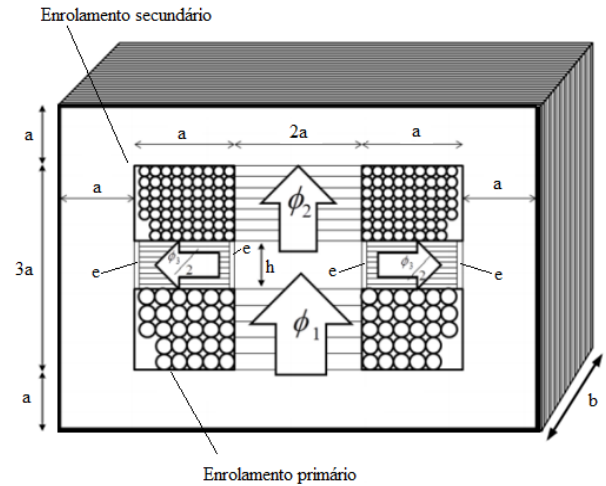


Fig. 2. Estrutura do transformador do forno micro-ondas [8].

Onde:

- a - comprimento de trechos do circuito magnético;
- b - espessura do núcleo magnético do transformador;
- h - altura da derivação magnética;
- e - comprimento do entreferro de ar;
- $\phi_1$  - fluxo magnético do primário;
- $\phi_2$  - fluxo magnético do secundário;
- $\phi_3$  - fluxo magnético da derivação magnética.

Segundo a metodologia utilizada, percebe-se que a modelagem do transformador de alta tensão é obtida em função das equações de seu circuito elétrico e de seu circuito magnético, sendo de fundamental importância a obtenção de suas características físicas construtivas. Tais características são resumidas na Tabela II.

TABELA II. CARACTERÍSTICAS DO TRANSFORMADOR DE ALTA TENSÃO DO FORNO MICRO-ONDAS.

| Descrição                                                    | Valores              |
|--------------------------------------------------------------|----------------------|
| Número de espiras do primário ( $n_1$ )                      | 224                  |
| Número de espiras do secundário ( $n_2$ )                    | 2400                 |
| Comprimento do trecho "a" do circuito magnético              | 15 mm                |
| Comprimento do trecho "b" do circuito magnético              | 68 mm                |
| Seção do circuito magnético do primário ( $2a \cdot b$ )     | 2040 mm <sup>2</sup> |
| Comprimento circuito magnético do primário ( $2a + 4,5a$ )   | 97,5 mm              |
| Seção do circuito magnético do secundário ( $2a \cdot b$ )   | 2040 mm <sup>2</sup> |
| Comprimento circuito magnético do secundário ( $2a + 4,5a$ ) | 97,5 mm              |
| Número de placas empilhadas na derivação magnética           | 8                    |
| Altura do montante de placas empilhadas (h)                  | 4 mm                 |
| Seção do circuito da derivação magnética ( $h \cdot b$ )     | 272 mm <sup>2</sup>  |
| Comprimento do entreferro de ar (e)                          | 0,75 mm              |
| Comprimento da derivação magnética ( $2,5a - 2e$ )           | 36 mm                |

Para obter as indutâncias não lineares do transformador de alta tensão, as características físicas do circuito magnético anteriormente mencionadas são relacionadas à sua curva de magnetização. A curva  $B(H)$  do material do núcleo do transformador (SF19) pode ser observada na Fig. 3 [9].

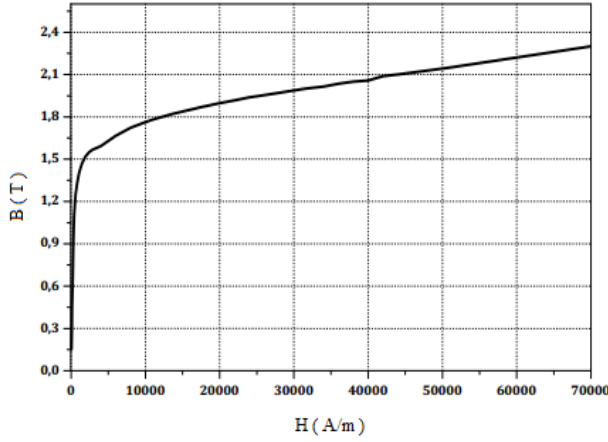


Fig. 3. Curva  $B(H)$  do material do núcleo do transformador (SF19) [9].

Finalmente, a Fig. 4 apresenta o circuito equivalente do transformador de alta tensão do forno micro-ondas, implementado no programa ATP. Maiores detalhes sobre o desenvolvimento da modelagem do transformador de alta tensão do forno micro-ondas em estudo podem ser observados em [1].

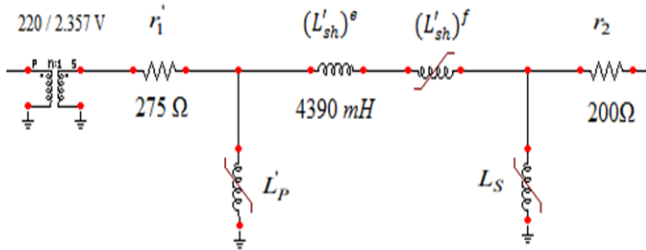


Fig. 4. Modelo do transformador de alta tensão implementado no ATP.

Onde:

- $r_1'$  - resistência do primário referida ao secundário;
- $r_2$  - resistência do enrolamento secundário;
- $L_p'$  - indutância do primário referida ao secundário;
- $L_s$  - indutância do enrolamento secundário;
- $(L'_{sh})^e$  - indutância da derivação referida ao secundário (referente ao entreferro de ar);
- $(L'_{sh})^f$  - indutância da derivação referida ao secundário (referente às placas de material magnético).

#### B. Modelagem do Circuito Dobrador de Tensão

Conforme já mencionado neste artigo, o magnétron necessita de uma alta tensão para entrar em funcionamento, obtida por meio de um circuito dobrador de tensão, utilizando um capacitor (C) e um diodo (D) de alta tensão. As características técnicas desses componentes são apresentadas na Tabela III.

TABELA III. CARACTERÍSTICAS DO CAPACITOR E DO DIODO.

| Capacitor (C)   | Valores      |
|-----------------|--------------|
| Capacitância    | 0,85 $\mu$ F |
| Tensão nominal  | 2100 Vac     |
| Diodo (D)       | Valores      |
| Tensão reversa  | 12 kV        |
| Corrente direta | 350 mA       |

Como o circuito dobrador de tensão é amplamente conhecido, considera-se dispensável maiores comentários sobre o assunto. Assim, a implementação desse circuito no ATP pode ser observada na Fig. 5.

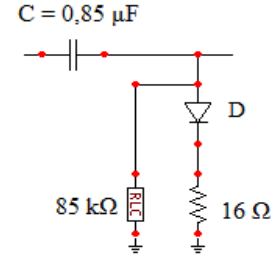


Fig. 5. Modelo do circuito dobrador de tensão implementado no ATP.

#### C. Modelagem do Magnétron

Por fim, tem-se a modelagem da válvula magnétron, responsável pela emissão das micro-ondas eletromagnéticas que proporcionam o aquecimento dos alimentos dentro do forno. O magnétron é um componente não linear e suas características elétricas típicas, bem como seu circuito equivalente, podem ser representados pela Fig 6. Sua característica tensão - corrente ( $V-I$ ) pode ser dividida em duas regiões: oscilação e não oscilação. A região de não oscilação representa o período em que o filamento do magnétron ( $R_f$ ) está sendo aquecido, antes da emissão das micro-ondas. Essa região é modelada por um resistor de alto valor ôhmico ( $R_h$ ) devido à baixa variação de corrente ( $I_{AK}$ ) para uma alta variação de tensão ( $V_{AK}$ ). A região de oscilação representa o período em que o magnétron está emitindo as micro-ondas e é modelada por uma fonte de corrente contínua em série com um diodo e uma pequena resistência ( $R_d$ ) [10].

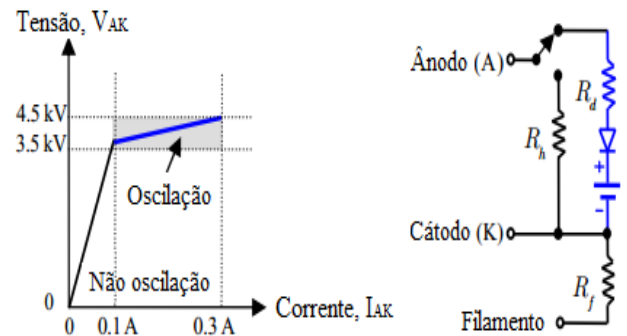


Fig. 6. Curva  $V-I$  e modelo representativo do magnétron [10].

Devido aos objetivos deste trabalho, o modelo do magnétron implementado contempla apenas a região de oscilação, por ser a região que representa a operação do forno micro-ondas em regime permanente. Adicionalmente, pode-se perceber que o modelo representativo da região de oscilação da válvula magnétron é semelhante ao circuito equivalente de um diodo Zener.

As características técnicas da válvula magnétron podem ser observadas na Tabela IV.

TABELA IV. CARACTERÍSTICAS DA VÁLVULA MAGNÉTRON.

| Descrição                              | Características |
|----------------------------------------|-----------------|
| Marca                                  | Panasonic       |
| Modelo                                 | 2M210-M1K1      |
| Potência de saída                      | 900 W           |
| Frequência de operação das micro-ondas | 2,45 GHz        |
| Tensão nominal                         | 4,2 kV          |
| Corrente nominal                       | 330 mA          |
| Tensão de filamento                    | 3,3 V           |
| Corrente de filamento                  | 6 A             |

Os valores utilizados no modelo do magnétron e implementados no ATP foram -3650 Vcc para a fonte de tensão contínua e  $210 \Omega$  para a resistência ( $R_d$ ) em série com o diodo, conforme mostrado na Fig. 7. Esses valores foram obtidos por meio de ensaios experimentais.

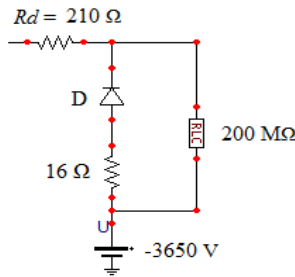


Fig. 7. Modelo do magnétron implementado no ATP.

#### D. Modelagem Computacional do Forno Micro-Ondas

O modelo do forno micro-ondas implementado no ATP é mostrado na Fig. 8 e é representado por uma fonte de alimentação, um transformador de alta tensão, um circuito dobrador de tensão e um magnétron.

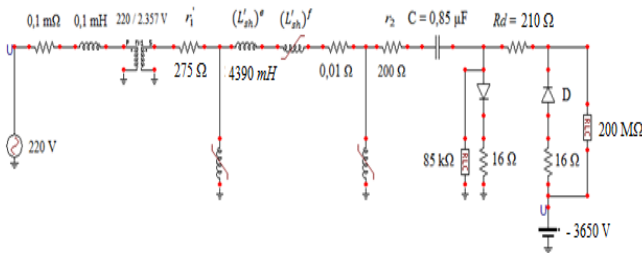


Fig. 8. Modelo do forno micro-ondas implementado no ATP.

#### IV. VALIDAÇÃO DO MODELO EM CONDIÇÕES IDEAIS E NÃO IDEAIS DE SUPRIMENTO

Visando validar o modelo apresentado, ensaios laboratoriais foram feitos no forno micro-ondas utilizado para a modelagem computacional. Os resultados das simulações são comparadas com os resultados experimentais por meio de diversos casos, envolvendo condições ideais e não ideais da tensão de alimentação. A Fig. 9 mostra o esquema de conexão para realização dos experimentos.

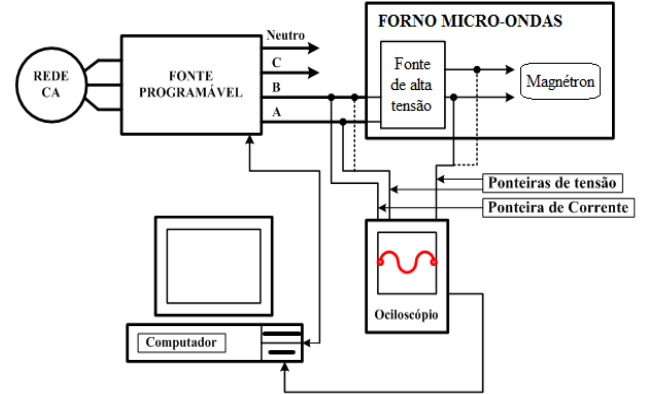


Fig. 9. Esquema de conexão para realização dos experimentos.

A alimentação do forno micro-ondas é feita por uma fonte programável HP6834A trifásica de 4,5 kVA, que possibilita representar os mais variados distúrbios que podem ocorrer em um sistema elétrico. Os valores de tensão e corrente são obtidos por meio de um osciloscópio digital, conectado, tanto na entrada do forno micro-ondas quanto internamente, na fonte de alta tensão e no magnétron. O arranjo laboratorial é ilustrado na Fig. 10.

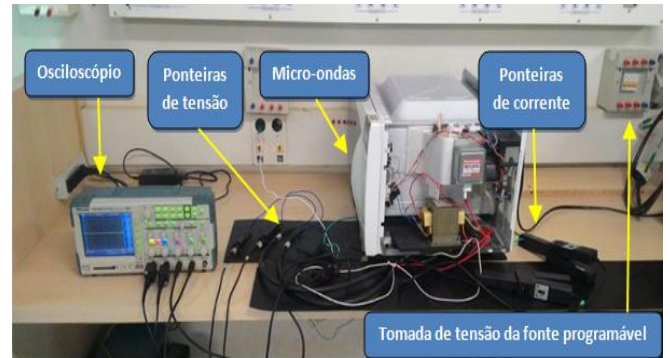


Fig. 10. Estrutura laboratorial para realização dos experimentos.

Os resultados selecionados para apresentação e discussão compreendem as medições da tensão de alimentação e corrente de entrada do forno micro-ondas em condições de tensões de suprimento ideais, afundamento de tensão, interrupção de tensão e distorções harmônicas. Apesar do estudo contemplar ensaios experimentais envolvendo medições de tensões e correntes na fonte de alta tensão do forno micro-ondas, seus resultados não são apresentados neste artigo. Tais resultados podem ser consultados em [1].

### Caso 1 - Alimentação com Tensão de Suprimento Ideal

Esse primeiro caso apresenta a operação do forno micro-ondas em condições ideais de alimentação, sendo utilizado como referência para os casos subsequentes. As Figs. 11 e 12 apresentam as formas de onda da tensão de alimentação e das correntes na entrada do equipamento, experimental e computacional, respectivamente.

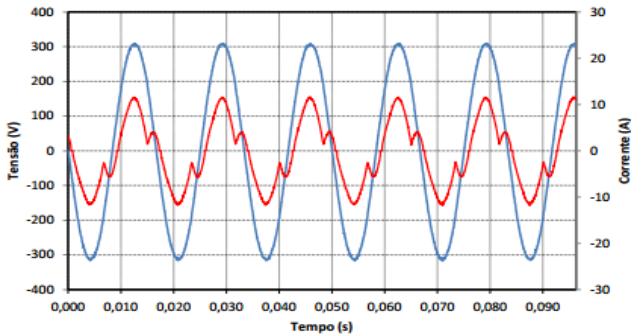


Fig. 11. Tensão de alimentação (azul) e corrente de entrada (vermelho) do forno micro-ondas - Experimental (Caso - 1).

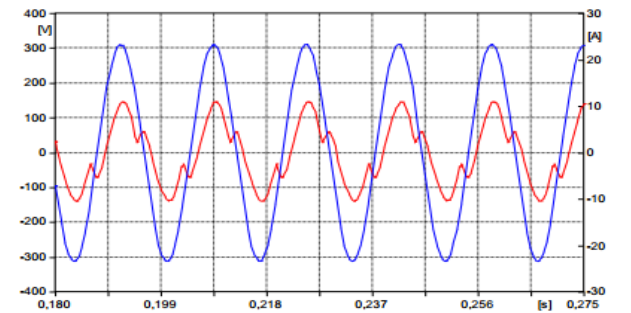


Fig. 12. Tensão de alimentação (azul) e corrente de entrada (vermelho) do forno micro-ondas - Computacional (Caso - 1).

### Caso 2 - Afundamento de Tensão de Curta Duração

Os resultados a seguir ilustram o comportamento do forno micro-ondas para um afundamento de tensão para 85% da tensão nominal, com duração de 10 ciclos da frequência fundamental. As Figs. 13 (experimental) e 14 (computacional) mostram as formas de onda da tensão e corrente de entrada do equipamento frente ao distúrbio anteriormente mencionado.

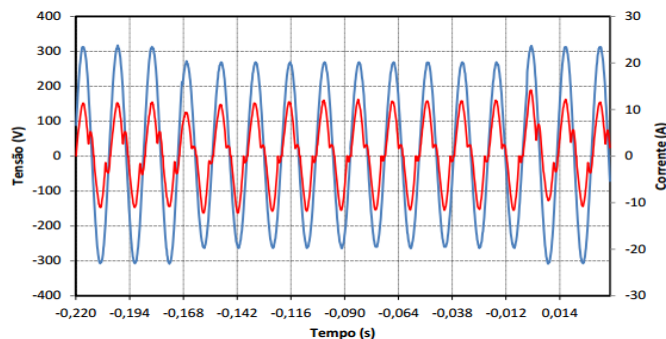


Fig. 13. Tensão de alimentação (azul) e corrente de entrada (vermelho) do forno micro-ondas - Experimental (Caso - 2).

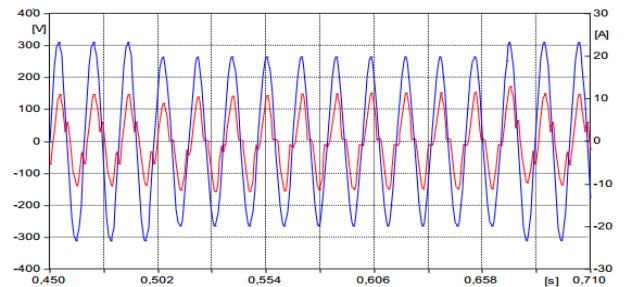


Fig. 14. Tensão de alimentação (azul) e corrente de entrada (vermelho) do forno micro-ondas - Computacional (Caso - 2).

### Caso 3 - Interrupção no Fornecimento de Energia Elétrica

Esse item tem como objetivo, verificar o desempenho do forno micro-ondas frente a uma situação de interrupção no fornecimento de energia elétrica. Esse tipo de evento compreende reduções de tensão de maneira que seu valor remanescente seja igual ou menor a 0,1 pu da tensão nominal. As Figs 15 e 16 ilustram o comportamento do forno micro-ondas para uma interrupção de tensão, com duração de 10 ciclos, experimental e computacional, respectivamente.

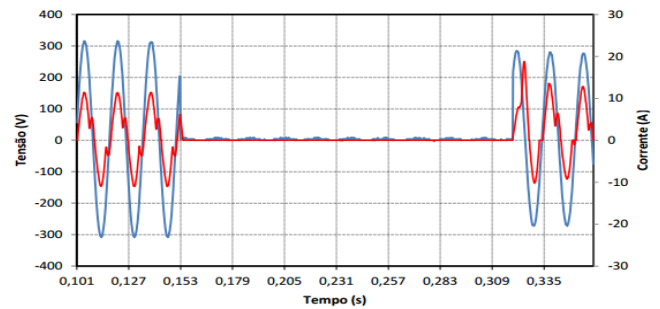


Fig. 15. Tensão de alimentação (azul) e corrente de entrada (vermelho) do forno micro-ondas - Experimental (Caso - 3).

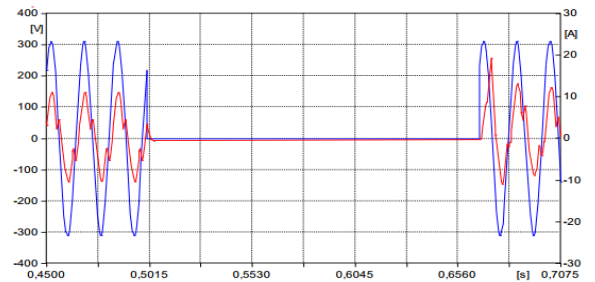


Fig. 16. Tensão de alimentação (azul) e corrente de entrada (vermelho) do forno micro-ondas - Computacional (Caso - 3).

### Caso 4 - Distorções Harmônicas de Tensão

Por fim, esta seção contempla os resultados voltados à análise de desempenho do forno micro-ondas frente ao suprimento de energia elétrica contendo distorções harmônicas totais de tensão de 20%, tendo valores individuais de 10% para 5<sup>a</sup>, 7<sup>a</sup>, 11<sup>a</sup> e 13<sup>a</sup> ordens. As Figs. 17 (experimental) e 18 (computacional) ilustram os oscilogramas da tensão distorcida, aplicada ao forno micro-ondas, e da corrente absorvida pelo equipamento frente a esse distúrbio.

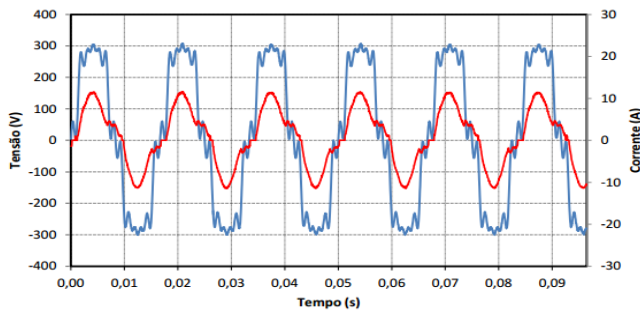


Fig. 17. Tensão de alimentação (azul) e corrente de entrada (vermelho) do forno micro-ondas - Experimental (Caso - 4).

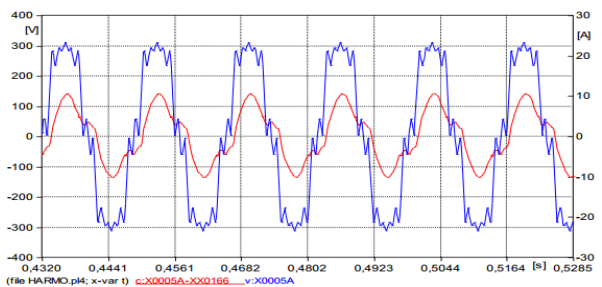


Fig. 18. Tensão de alimentação (azul) e corrente de entrada (vermelho) do forno micro-ondas - Computacional (Caso - 4).

Ao analisar os casos estudados, no que tange aos aspectos qualitativos, percebe-se grande semelhança entre as formas de onda experimentais e computacionais, tanto para condições ideais quanto para condições não ideais de suprimento. O mesmo pode ser observado na Tabela V, referente aos aspectos quantitativos, ou seja, seus valores de pico e eficazes. Vê-se que o caso 3, que diz respeito ao estudo de interrupção no fornecimento de energia elétrica, foi suprimido da tabela por apresentar somente valores bem próximos de zero.

TABELA V. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS NUMÉRICOS.

| Caso |               | Tensão (V) |         |       | Corrente (A) |         |       |
|------|---------------|------------|---------|-------|--------------|---------|-------|
|      |               | Exper.     | Comput. | Erro  | Exper.       | Comput. | Erro  |
| 1    | Valor de pico | 312,0      | 311,1   | 0,29% | 11,60        | 11,02   | 5,00% |
|      | Valor eficaz  | 220,6      | 220,0   | 0,27% | 7,04         | 6,68    | 5,11% |
| 2    | Valor de pico | 268,0      | 264,4   | 1,34% | 12,00        | 11,90   | 0,83% |
|      | Valor eficaz  | 187,9      | 187,0   | 0,48% | 7,05         | 6,80    | 3,55% |
| 4    | Valor de pico | 308,0      | 311,1   | 1,01% | 11,20        | 10,67   | 4,73% |
|      | Valor eficaz  | 221,32     | 224,32  | 1,36% | 6,83         | 6,52    | 4,54% |

Diante do exposto, e da consistência entre os desempenhos obtidos, verifica-se que o modelo computacional implementado na plataforma ATP se mostra adequado aos propósitos deste trabalho.

## V. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou um estudo sobre a modelagem de um forno micro-ondas doméstico e a análise de seu desempenho em condições ideais e não ideais de suprimento. Primeiramente foi apresentada a modelagem matemática do circuito elétrico principal do forno micro-ondas, que

constitui-se de um transformador de alta tensão, um circuito dobrador de tensão e uma válvula magnétron. Em seguida, seus modelos representativos foram implementados no programa ATP. Finalmente, estudos foram feitos com o objetivo de validar a modelagem do forno micro-ondas por meio de comparações entre os resultados das simulações computacionais e ensaios laboratoriais. Em todos os casos estudados, verificou-se grande semelhança entre os resultados experimentais e computacionais, validando, assim, a modelagem utilizada, tanto para condições ideais quanto para condições não ideais de suprimento.

Pode-se destacar que este artigo contribui com estudos de desempenho de fornos micro-ondas no contexto da qualidade de energia elétrica, assunto para o qual foi percebido uma certa carência de referências bibliográficas. Adicionalmente, ressalta-se que o desenvolvimento obtido neste trabalho segue na direção de subsidiar estudos voltados para a área de pedidos de ressarcimento por danos elétricos envolvendo fornos micro-ondas domésticos, além de estudos relacionados ao impacto da operação de fornos micro-ondas industriais de elevada potência na qualidade de energia elétrica de seu sistema de suprimento, sobretudo o que diz respeito às correntes de terceira harmônica e o correto dimensionamento dos condutores fase e neutro, conforme prescrições contidas na NBR 5410.

## VI. REFERÊNCIAS

- [1] L. R. Almeida, "Modelagem para Análise de Desempenho de Fornos Micro-Ondas no Contexto da Qualidade de Energia Elétrica", Dissertação de Mestrado (Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2016.
- [2] R. C. Dugan, M. F. McGranaghan, H. W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, 2<sup>nd</sup> Edition, USA: McGraw-Hill, 2003.
- [3] A. S. Jucá, "Avaliação do Relacionamento entre Consumidores e Concessionárias na Solução de Conflitos por Danos Elétricos: Proposta de Adequação", Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP, 2003.
- [4] P. H. O. Rezende, "Uma Proposta de Modelagem de Condicionadores de Ar Split Visando a Análise de Pedidos de Ressarcimento por Danos Elétricos", Dissertação de Mestrado (Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2012.
- [5] A. C. D. Santos, "Desempenho de Fontes Lineares e Chaveadas no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica", Dissertação de Mestrado (Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2001.
- [6] A. C. Azevedo, "Desempenho de Refrigeradores Domésticos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica", Dissertação de Mestrado (Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2002.
- [7] C. E. Tavares, "Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos Diante de Distúrbios da Qualidade da Energia - Enfoque: Televisor, VCRs e Som", Dissertação de Mestrado (Engenharia Elétrica), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2004.
- [8] A. Belhaiba et al., "Modeling of a power Balance for microwaves generator with one magnetron", 2012 International Conference on Multimedia Computing and Systems, pp.1024 -1028.
- [9] A. Bouzit et al., "Modeling of New Single-Phase High Voltage Power Supply for Industrial Microwave Generators for N=2 Magnetrons", International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJEECE) Vol. 4, No 2, April 2014, pp. 223 - 230.
- [10] Y. R. Yang, "A Magnetron Power Supply with Transition-Mode Zero-Voltage-Switching Inverter", Journal of Energy and Power Engineering 7 (2013) 1571-1577.