



XVIII Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2008 - 06 a 10 de outubro

OLINDA - PERNAMBUCO - BRASIL

Modelagem de Refrigeradores Domésticos via *ATP-MODELS* para Estudos de Desempenho diante de Distúrbios de Qualidade da Rede de Suprimento

Ivandro A. Bacca
Universidade Federal de
Uberlândia
ivandroene@gmail.com

Marcus V. B. Mendonça
Universidade Federal
de Uberlândia
borgesmarcus@yahoo.com.br

Carlos E. Tavares
Universidade Federal
de Uberlândia
carlosetavares@yahoo.com.br

Isaque N. Gondim
Universidade Federal
de Uberlândia
nig_eng@yahoo.com.br

José C. de Oliveira
Universidade Federal
de Uberlândia
jcoliveira@ufu.br

Elton Flach
LIGHT-Serviços de
Eletricidade S.A.
elton.flach@light.com.br

Flávio de O. Teixeira
LIGHT-Serviços de
Eletricidade S.A.
flavio.teixeira@light.com.br

PALAVRAS-CHAVE

ATP - MODELS

Qualidade da Energia
Refrigeradores Domésticos

RESUMO

Este artigo contempla aspectos relacionados com a modelagem computacional, validação experimental e análise do desempenho de refrigeradores domésticos, quando submetidos a um suprimento de energia elétrica sob condições ideais e não-ideais. A representação proposta é desenvolvida no domínio do tempo e seus resultados implementados na plataforma ATP por meio do recurso computacional denominado por *MODELS*. Concomitantemente aos trabalhos de cunho teórico, procedimentos experimentais foram executados no intuito de validar o modelo desenvolvido. Os resultados obtidos se mostram relevantes quando da realização de investigações visando à correlação entre diversos distúrbios associados com a rede elétrica de suprimento e o funcionamento do equipamento em pauta, conforme se faz necessário para os estudos e pareceres de pedidos de ressarcimento por danos causados em equipamentos quando da manifestação de anomalias no sistema de alimentação.

1. INTRODUÇÃO

É fato amplamente conhecido que os padrões de suprimento da energia elétrica têm apresentado um crescente índice de desvio das condições consideradas ideais. Estas anomalias presentes nas redes podem, por vezes, comprometer o adequado funcionamento de equipamentos residenciais, comerciais e industriais e afetar a sua integridade física, principalmente, aqueles dotados de

tecnologia mais moderna, que geralmente são mais sensíveis à qualidade da tensão de suprimento (BOLLEN, 2000) e (DUGAN, 2003).

Com o propósito de avaliar o desempenho destes equipamentos quando supridos por uma alimentação com qualidade deficiente, o presente trabalho tem como finalidade descrever a modelagem matemática e a implementação computacional de um dos mais comuns dos dispositivos presentes numa instalação elétrica residencial e comercial, qual seja o aparelho refrigerador. Estes produtos são construtivamente robustos e, comumente, tem como componente eletromecânico principal um motor de indução monofásico e, para muitas situações tem sido alvo de solicitações de pedidos de indenização por danos supostamente advindos da rede de distribuição (JUCÁ, 2003) e (TEIXEIRA, 2005).

Dentro deste contexto, o desenvolvimento de modelos computacionais representativos de tais produtos, em que pese a sua correlação operacional com os mais diversos fenômenos que caracterizam a perda de qualidade do suprimento elétrico, torna-se de grande relevância. Inserido pois neste cenário este artigo tem por meta atender aos seguintes propósitos: propor e desenvolver um modelo elétrico que represente o equipamento mencionado de modo a contemplar situações normais e anômalas de operação no que tange a tensão de suprimento; realizar sua implementação computacional na base ATP através da rotina MODELS; validar o modelo através da correlação entre resultados laboratoriais e computacionais; avaliar o desempenho de um refrigerador comercial típico sob condições não ideais de suprimento, em consonância com os procedimentos estabelecidos nas normas IEC, série 61000 (AZEVEDO, 2003).

O trabalho realizado destina-se ao aprimoramento de modelos de equipamentos que formam a biblioteca de recursos de um programa computacional destinado aos estudos de desempenho e análise da consistência de pedidos de ressarcimento (TAVARES, 2007).

2. MODELAGEM DO REFRIGERADOR DOMÉSTICO

A estratégia para a modelagem do equipamento considerado como produto meta desta contribuição técnica compreende as seguintes etapas:

2.1 Caracterização do Dispositivo Investigado

O principal componente elétrico nos refrigeradores domésticos, como se sabe, é o seu compressor hermético, que é composto por um motor de indução monofásico inserido e lacrado dentro de uma carcaça, onde também se localiza o dispositivo compressor propriamente dito. A função deste elemento hermético é agir como bomba no ciclo de refrigeração para fornecer a energia necessária ao transporte do gás refrigerante por todo o sistema (CARMEIS, 2002) e realizar a separação entre os lados de alta e baixa pressão neste ciclo. A Fig. 1 ilustra um tipo comercial de compressor hermético.



Fig. 1 – Compressor hermético típico usado em refrigeradores domésticos.

Com relação aos tipos de motores de indução monofásicos que podem ser usados nos compressores dos refrigeradores domésticos, a referência (TECUMSEH, 2007) traz maiores detalhes, sendo que a principal diferença entre estes modelos está na forma empregada para se obter o conjugado de partida. Para fins deste artigo utilizou-se do compressor THC1340YS. Este modelo possui um enrolamento auxiliar ou bobina de partida, que atua somente na partida. O enrolamento em questão possui um elevado valor de resistência quando comparado com o enrolamento principal ou de marcha e valor de reatância menor que a reatância do enrolamento principal, sendo por isso chamado de um motor de indução monofásico de partida à resistência (DEL TORO, 1999).

A Fig. 2 mostra o diagrama elétrico do motor selecionado, o qual corresponde ao produto comercial PTCSIR. Após a partida deste motor, o enrolamento auxiliar é retirado do sistema através de um relé PTC (Positive Temperature Coefficient), que é ligado em série com o enrolamento auxiliar. O relé PTC utiliza um resistor que possui propriedades associadas com um semicondutor não-linear sensível à temperatura, isto é, o seu valor de resistência aumenta rapidamente quando uma determinada temperatura é ultrapassada (PACHECO, 2007). Desta maneira, a corrente que passa pelo enrolamento auxiliar decresce até praticamente o valor nulo.

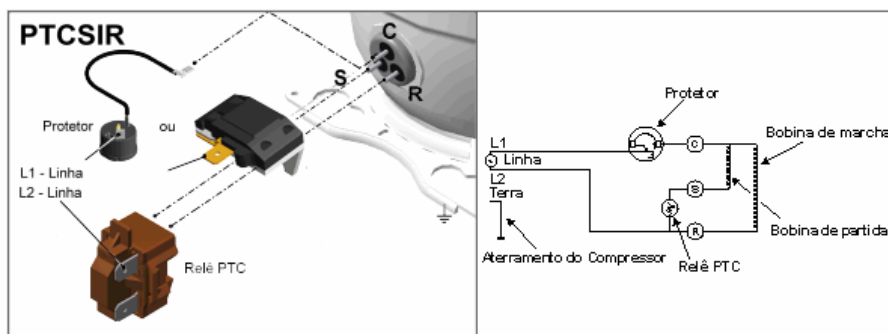


Fig. 2 – Representação do diagrama elétrico do motor do tipo PTCSIR.

2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA DO MOTOR DE INDUÇÃO MONOFÁSICO

A modelagem matemática do motor analisado se baseia nas equações dos enlaces de fluxo e do equilíbrio dos conjugados. Para tanto foi utilizado o modelo elementar de uma máquina de indução ideal bifásica assimétrica de dois pólos (CASTILLO, 2003), como indicado na fig. 3,

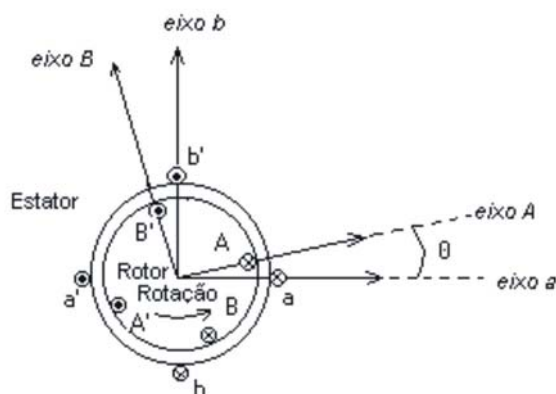


Fig. 3 – Representação do motor de indução bifásico assimétrico.

Como pode ser visto, a máquina é constituída por dois enrolamentos estatóricos, nomeados por a e b, defasados de 90° no espaço, com características distintas. O rotor em gaiola é representado por dois enrolamentos idênticos, também defasados de 90° no espaço.

As expressões para as tensões do estator e rotor são:

$$v_a = r_a i_a + \frac{d\lambda_a}{dt} \quad (1)$$

$$v_b = r_b i_b + \frac{d\lambda_b}{dt} \quad (2)$$

$$v_A = r_A i_A + \frac{d\lambda_A}{dt} \quad (3)$$

$$v_B = r_B i_B + \frac{d\lambda_B}{dt} \quad (4)$$

O valor instantâneo do conjugado eletromagnético T pode ser obtido através da co-energia magnética em relação aos deslocamentos angulares do rotor, de onde:

$$T = \frac{p}{2} \sum_i \sum_j i_i i_j \frac{dL_{ij}}{d\theta} \quad (5)$$

2.3 IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO NO ATP-MODELS

As instruções usadas para a representação do modelo em questão na MODELS, são:

- INPUT - Dados de entrada do modelo:

```
INPUT
  vinp                -- tensão fase-fase aplicada ao motor, [V];
```

Essa instrução permite que um sinal de tensão externo seja aplicado ao motor.

- DATA – Parâmetros requeridos pelo modelo:

```
DATA
-----
----- parâmetros do motor -----
-----
Pnom {dflt:0.12}      -- potência nominal do motor, [cv];
rsa  {dflt:4.07}     -- resist. enrolamento principal do estator, fase a, [ohm];
xsa  {dflt:5.517}    -- reat. enrolamento principal do estator, fase a, [ohm];
rsb  {dflt:6.64}     -- resist. enrolamento auxiliar do estator, fase b, [ohm];
xsb  {dflt:3.52}     -- reat. enrolamento auxiliar do estator, fase b, [ohm];
rr   {dflt:4.07}     -- resistência do rotor, por fase, [ohm];
xr   {dflt:5.517}    -- reatância do rotor, por fase, [ohm];
xm   {dflt:200}      -- reatância de magnetização, [ohm];
jm   {dflt:0.00045}  -- momento de inércia do motor, [kg*m^2];
np   {dflt:2}        -- número de pólos do motor
k0   {dflt:3}        -- porc. pot. nominal representativa das perdas rot., [%];
freq {dflt:60}       -- frequência nominal do motor, [Hz];
-----
----- parâmetros da carga -----
-----
Pc   {dflt:0.12}     -- Potência nominal da carga, [cv];
x0   {dflt:0}        -- const. que repres. o conj. da carga constante, [%];
x1   {dflt:0.0065}   -- const. que repres. o conj. da carga que varia linearmente com a veloc., [%];
x2   {dflt:0}        -- const. que repres. o conj. da carga que varia com o quadrado da veloc., [%];
```

Nessa instrução são fornecidos os valores dos parâmetros elétricos e mecânicos do motor, bem como da carga mecânica. Os parâmetros do motor podem ser obtidos com base em ensaios experimentais e/ou através de valores fornecidos pelo fabricante. Os parâmetros da carga são estimados a partir do funcionamento termodinâmico do fluido refrigerante.

- VAR – Grandezas operacionais e parâmetros associados:

VAR

```

----- variáveis do motor -----
----- # impedâncias
m          -- indut. mútua máxima entre estator e rotor;
lr         -- indut. dispersão do rotor;
lsa       -- indut. dispersão do enrol. principal do estator;
lsb       -- indut. dispersão do enrol. auxiliar do estator;
lsasa     -- indut. própria do enrol. principal do estator;
lsasb     -- indut. mútua dos enrol. principal e auxiliar do estator;
lsbsa     -- indut. mútua dos enrol. principal e auxiliar do estator;
lsbsb     -- indut. própria do enrol. auxiliar do estator;
lrArA     -- indut. própria do enrol. do rotor;
lrArB     -- indut. mútua dos enrolamentos do rotor;
lrBrA     -- indut. mútua dos enrolamentos do rotor;
lrBrB     -- indut. própria do enrolamento do rotor;
lsarA     -- indut. mútua entre enrol. principal do estator e rotor;
lsarB     -- indut. mútua entre enrol. principal do estator e rotor;
lsbrA     -- indut. mútua entre enrol. auxiliar do estator e rotor;
lsbrB     -- indut. mútua entre enrol. auxiliar do estator e rotor;
lrAsa     -- indut. mútua entre enrol. do rotor e principal;
lrAsb     -- indut. mútua entre enrol. do rotor e principal;
lrBsa     -- indut. mútua entre enrol. do rotor e auxiliar;
lrBsb     -- indut. mútua entre enrol. do rotor e auxiliar;
----- # correntes
isa       -- corrente do enrol. principal do estator, [A];
isb       -- corrente do enrol. auxiliar do estator, [A];
ira       -- corrente do enrol. principal do rotor, [A];
irb       -- corrente do enrol. auxiliar do rotor, [A];
itotal    -- corrente total, fase a + b, [A];
----- # tensões
v         -- tensão eficaz fase-fase aplicada ao motor, [V];
----- # conjugados
conj_elmag -- conjugado eletromagnético, [Nm];
conj_carga -- conjugado da carga, [Nm];
conj_eixo  -- conjugado do eixo, [Nm];
----- # velocidades
ws        -- velocidade angular, [rad/s];
teta      -- ângulo espacial entre as fmm do estator e rotor, [rad];
vel_motor -- velocidade angular mecânica, [rad/s];
vel_eletr -- velocidade angular elétrica, [rad/s];
n_rpm     -- velocidade nominal do motor, [rpm];
n_motor   -- velocidade nominal do motor, [rad/s];
ns        -- velocidade síncrona do motor, [rpm];
----- # fluxos
flux_a    -- fluxo do enrol. principal do estator, [wb];
flux_b    -- fluxo do enrol. auxiliar do estator, [wb];
flux_ra   -- fluxo do enrol. principal do rotor, [wb];
flux_rb   -- fluxo do enrol. auxiliar do rotor, [wb];
----- # perdas
Crot      -- perdas rotacionais, [W];
krot      -- perdas rotacionais, [W];
----- # tempo
t_ptc     -- tempo usado para a análise do relé PTC;
----- # relé PTC
ptc       -- função que representa a variação da condutância do relé;
ptc1      -- parte 1ª da função ptc;
ptc2      -- parte 2ª da função ptc;
----- # vár. auxiliares
c1        -- parcela do conjugado eletromagnético;
c2        -- parcela do conjugado eletromagnético;
dflux_a   -- derivada do fluxo, flux_a;
dflux_b   -- derivada do fluxo, flux_b;
dflux_ra  -- derivada do fluxo, flux_ra;
dflux_rb  -- derivada do fluxo, flux_rb;
dvel_motor -- derivada da velocidade do motor;
dteta     -- derivada do ângulo elétrico;
----- variáveis da carga -----
conj_carga -- conjugado nominal da carga, [Nm];
nn         -- velocidade nominal da carga, [rad/s];
Tnom      -- variável auxiliar do conjugado nominal da carga;

```

As variáveis são usadas para escrever as equações do modelo dentro da instrução de execução.

- INIT – Condições iniciais das variáveis:

```

INIT
  t_ptc:=0
  isa:=0
  isb:=0
  ira:=0
  irb:=0
  teta:=0
  n_rpm:=0
  itotal:=0
  vel_eletr:=0
  vel_motor:=0
ENDINIT

```

Através dessa instrução é possível estabelecer as condições iniciais das variáveis de definição da operação do refrigerador. Nesse caso optou-se por um motor inicialmente desconectado da rede, sendo assim, as suas grandezas são inicializadas com valores nulos.

- EXEC – Execução do modelo:

```

EXEC
-----
----- equacionamento da carga -----
-----
nn:=(2*pi*ns)/60
Tnom:=(Pnom*736)/nn
conj_carga:=(x0*Tnom)+(x1*Tnom*vel_motor)+(x2*Tnom*(vel_motor**2))
-----
----- equacionamento do motor -----
-----
----- parâmetros constantes -----
-----
ns:=(120*freq)/np
n_motor:=(4*pi*freq)/np
krot:=(k0/100)*Pnom*735.5)/(n_motor*n_motor)
ws:=2*pi*freq
m:=xm/ws
lsa:=xsa/ws
lsb:=xsb/ws
lr:=xr/ws
lsasa:=m+lsa
lsasb:=0
lsbsa:=0
lsbsb:=m+lsb
lrArA:=m+lr
lrArB:=0
lrBrA:=0
lrBrB:=m+lr
-----
----- Tensão nominal aplicada ao motor -----
-----
v:=vinp
-----
----- relé PTC do enrolamento auxiliar -----
-----
t_ptc:=t_ptc+timestep
ptc1:=-2674.4*(t_ptc**6)+2248.9*(t_ptc**5)-749.2*(t_ptc**4)
ptc2:=132.5*(t_ptc**3)-18.9*(t_ptc**2)+0.0787*t_ptc+1
ptc:=ptc1+ptc2 {MIN:0}
-----
----- Iteração para a obtenção dos parâmetros do motor --
----- Método de Newton - Raphson -----
-----
COMBINE ITERATE {500} AS case1
-----
----- Ângulo elétrico-----
-----
teta:=integral(dteta)
-----
----- indutâncias mútuas-- -----
-----
lsarA:=m*cos(teta)
lsarB:=-m*sin(teta)
lsbrA:=-m*sin(teta)
lsbrB:=-m*cos(teta)
lrAsa:=m*cos(teta)
lrAsb:=-m*sin(teta)
lrBsa:=-m*sin(teta)
lrBsb:=-m*cos(teta)

```

```

----- Conj. eletromagnético -----
c1:=isa*(-m*ira*sin(teta)-m*irb*cos(teta))
c2:=isb*(m*irb*sin(teta)-m*ira*cos(teta))
conj_elmag:=(np)*(c1+c2)
Crot:=krot*vel_motor

----- velocidade elétrica e mecânica-----
dvel_motor:=(1/(jm+jc))*(conj_elmag-conj_carga-Crot)
vel_motor:=integral(dvel_motor)
vel_eletr:=(vel_motor*np)/2
conj_eixo:=conj_elmag-Crot
n_rpm:=(vel_motor)*30/pi
dteta:=vel_eletr

----- Correntes do estator -----
isa:=(v-dflux_a)/rsa
isb:=((v-dflux_b)/rsb)*ptc
itotal:=isa+isb

----- Correntes do rotor -----
ira:=-dflux_ra/rr
irb:=-dflux_rb/rr

----- derivadas dos fluxos -----
dflux_a:=deriv(flux_a)
dflux_b:=deriv(flux_b)
dflux_ra:=deriv(flux_ra)
dflux_rb:=deriv(flux_rb)

----- fluxos -----
flux_a:=lsasa*isa+lsarA*ira+lsarB*irb
flux_b:=lsbsb*isb+lsbrA*ira+lsbrB*irb
flux_ra:=lrAsa*isa+lrAsb*isb+lrArA*ira
flux_rb:=lrBsa*isa+lrBsb*isb+lrBrB*irb
ENDCOMBINE
ENDEXEC

```

É dentro desta instrução que a MODELS realiza os cálculos das grandezas elétricas que traduzem a operação do equipamento dentro do contexto de uma alimentação elétrica ideal ou não. Vale ressaltar que devido ao fato das equações do motor não representarem um sistema de equações lineares tornou-se necessário empregar um importante recurso da MODELS voltado para a solução de equações não lineares. Este consiste no uso do método de convergência de Newton–Raphson através do comando COMBINE ITERATE AS ... ENDCOMBINE.

Como resultado final do uso da MODELS, foi criado, no ATPDraw, um ícone representativo de todo o conjunto analisado e que compreende o compressor hermético. Esse ícone encontra-se ilustrado na Fig. 4.

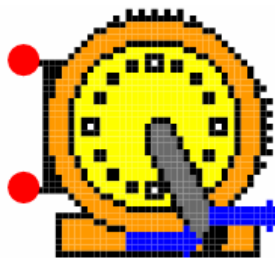


Fig. 4 – Ícone representativo do motor de indução monofásico

2.4 ANÁLISE DE DESEMPENHO E VALIDAÇÃO DO MODELO

A estratégia utilizada consiste em simular diferentes casos envolvendo condições ideais e não ideais da tensão de alimentação e reproduzi-los em laboratório. Pela comparação dos correspondentes resultados teóricos e experimentais torna-se então possível validar o modelo

proposto para representar o desempenho do equipamento sob distintas condições para a tensão de suprimento.

O arranjo laboratorial, mostrado na Fig. 5, utiliza uma fonte programável HP6834A trifásica de 4,5 kVA, um equipamento para registrar as formas de onda da tensão e da corrente e o aparelho refrigerador.

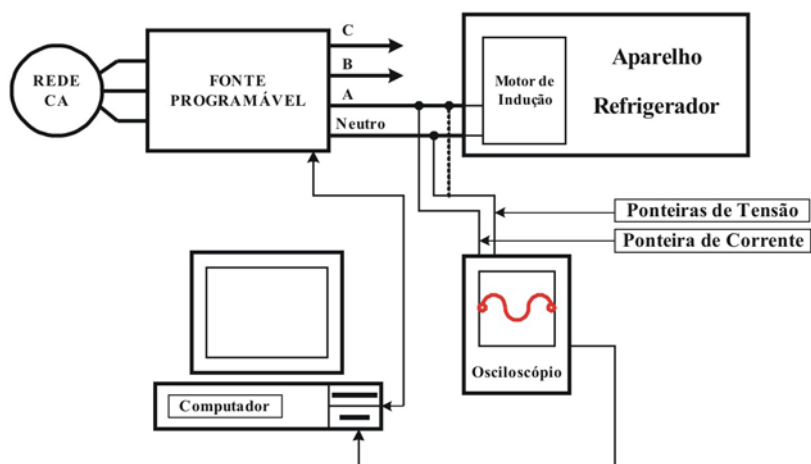


Fig. 5 - Esquema de conexão para realização dos experimentos.

A Tabela 1 descreve os casos considerados nos estudos.

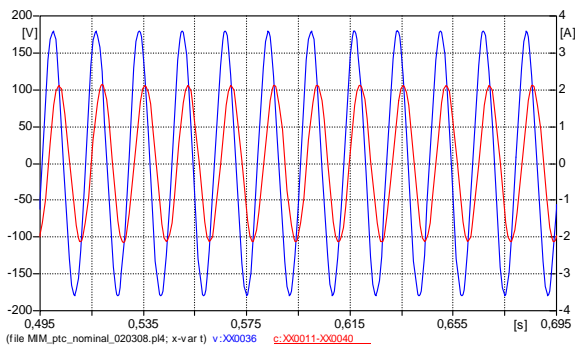
Tabela 1 – Casos Estudados

Caso	Características
1 – Condição Ideal e Nominal	Tensão fundamental de 127 V, 60 Hz.
2 – Interrupção de Tensão	Tensão nominal de 127 V, 60 Hz; Interrupção da tensão; Duração do evento de 7 ciclos.
3 – Afundamento de Tensão	Tensão nominal de 127 V, 60 Hz; Afundamento para 60% da tensão nominal; Duração do evento de 10 ciclos.
4 – Elevação de Tensão	Tensão nominal de 127 V, 60 Hz; Elevação para 120% da tensão nominal; Duração do evento de 10 ciclos.

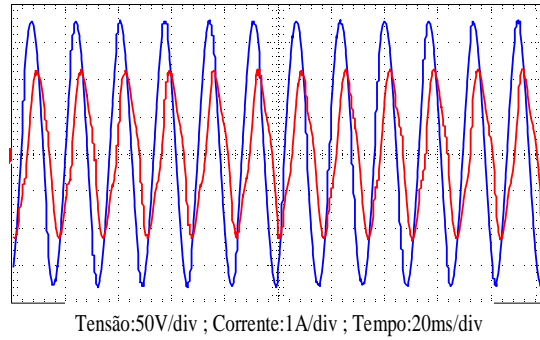
Para cada situação, foram monitoradas as tensões de alimentação e corrente de entrada, as quais servirão como base comparativa para a validação da proposta de modelo aqui feita.

2.4.1 Caso 1: Condições Ideais

Este caso considera a operação do equipamento supracitado em condições ideais e nominais, e desse modo, serve também como base para os casos subseqüentes. As figs. 6 (a) e (b) ilustram as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do equipamento de forma computacional e experimental, respectivamente.



(a) Computacional



(b) Experimental

Fig. 6 - Tensão e corrente na entrada do equipamento. Caso 1 – Condições ideais.

A Tabela 2 apresenta os valores eficazes e de pico da corrente na entrada do refrigerador, onde podem ser comparados os resultados computacionais com os experimentais.

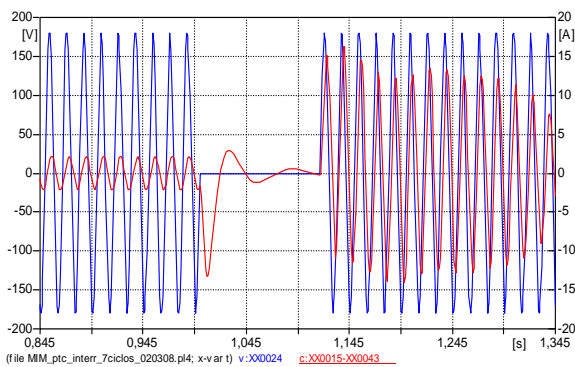
Tabela 2 – Comparação dos resultados computacionais e experimentais para o caso analisado.

Corrente	Computacional	Experimental
Eficaz (A)	1,51	1,50
Pico (A)	2,13	2,20

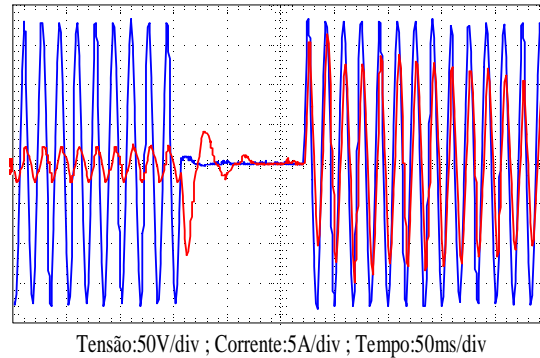
Como indicado na tabela, o modelo apresenta uma boa correlação com o comportamento real do produto, contudo, como o modelo implementado não leva em consideração a saturação magnética, há uma ligeira diferença na forma de onda da corrente apresentada pelos dois métodos. Este fato determina que o resultado experimental se mostra com um conteúdo harmônico com predomínio da ordem 3 (180 Hz), o qual não é encontrado no desempenho computacional.

2.4.2 Caso 2: Interrupção de Tensão

As figs. 7 (a) e (b) mostram as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do equipamento na mesma seqüência anteriormente apresentada.



(a) Computacional



(b) Experimental

Fig. 7. Tensão e corrente na entrada do equipamento. Caso 2 – Interrupção de tensão.

Por meio da análise da forma de onda da corrente é possível observar uma parcial reenergização do eletrodoméstico, e uma corrente de pico de aproximadamente oito vezes o valor nominal após a ocorrência do evento. A Tabela 3 destaca o valor de pico máximo da corrente, apresentado pelo equipamento.

Tabela 3 – Comparação dos resultados computacional e experimental para o caso analisado.

Corrente	Computacional	Experimental
Pico (A)	16,31	16,40

2.4.3 Caso 3: Afundamento de Tensão

As figs. 8 (a) e (b) ilustram as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do equipamento.

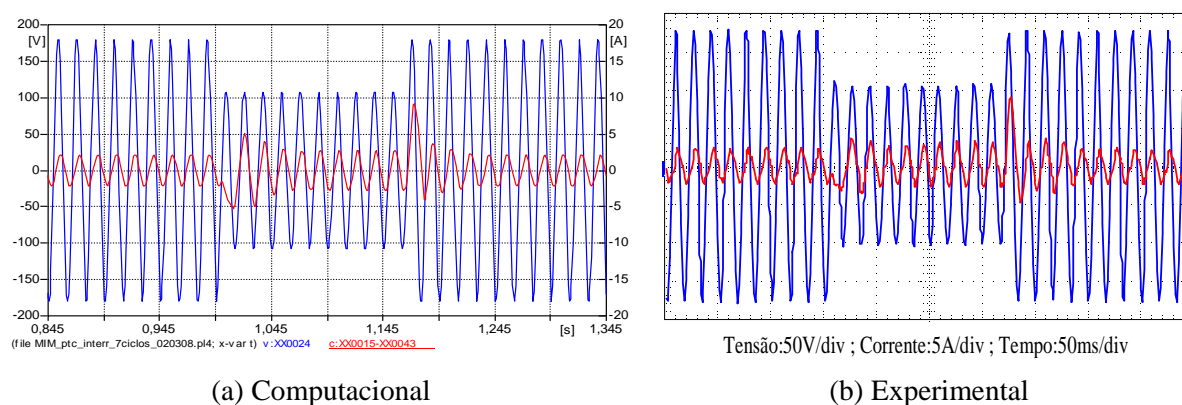


Fig. 8. Tensão e corrente na entrada do equipamento. Caso 3 – Afundamento de tensão.

As figuras supracitadas permitem visualizar que o maior pico de corrente, situado no primeiro semi-ciclo posterior ao afundamento, é cerca de quatro vezes o valor de pré-distúrbio. A Tabela 4 destaca o valor de pico máximo da corrente, apresentado pelo equipamento.

Tabela 4 – Comparação dos resultados computacionais e experimentais para o caso analisado.

Corrente	Computacional	Experimental
Pico (A)	9,17	9,20

2.4.4 Caso 4: Elevação de Tensão

As figs. 9 (a) e (b) mostram as formas de onda da tensão e da corrente na entrada do equipamento de forma computacional e experimental, respectivamente.

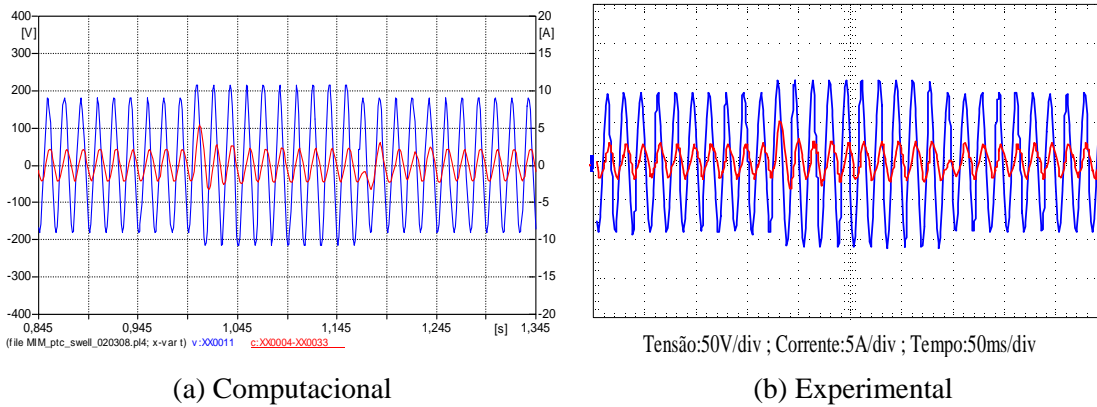


Fig. 9. Tensão e corrente na entrada do equipamento. Caso 4 - Elevação de tensão.

Para o caso de uma elevação de tensão, verifica-se um pico de corrente de pouco mais de duas vezes o valor de operação nominal do aparelho quando da manifestação do fenômeno. A Tabela 5 destaca o valor de pico máximo da corrente, apresentado pelo equipamento.

Tabela 5 – Comparação dos resultados computacionais versus experimentais para o caso analisado.

Corrente	Computacional	Experimental
Pico (A)	5,35	5,20

Como pode ser visto nas figuras anteriores, para todas as condições operacionais impostas ao equipamento, o modelo computacional implementado no ATP apresentou uma boa correlação com as formas de onda obtidas nos ensaios laboratoriais. Esta constatação corrobora a qualidade do modelo computacional obtido para representar o funcionamento do refrigerador doméstico sob as mais diversas condições de suprimento.

3. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma proposta para a modelagem de refrigeradores domésticos através de técnicas fundamentadas no domínio do tempo e subsequente implementação no simulador ATP. A representação computacional obtida encontra aplicações em estudos de desempenho do equipamento quando de sua operação sob condições não ideais do suprimento. Isto está em consonância com os objetivos maiores desta linha de pesquisas, a qual tem por norte a busca de recursos computacionais destinados a subsidiar análises de pedidos de ressarcimento por danos em eletrodomésticos e outros. Nestes termos, as principais contribuições deste trabalho, além da proposição dos modelos matemáticos e inserção no ATP por meio da rotina *MODELS*, foram centradas no processo de validação dos desenvolvimentos. Para tanto foram conduzidos diferentes estudos computacionais, devidamente confrontados com os correspondentes resultados obtidos em laboratório. As formas de onda das grandezas observadas, assim como os valores encontrados, mostram-se bastante consistentes, fato este que ratifica a representação estabelecida e seu respectivo modelo computacional.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

M. H. J. BOLLEN, *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*, USA: Wiley - IEEE Press, 2000.

R. C. DUGAN, M. F. MCGRANAGHAN, H. W. BEATY, *Electrical Power Systems Quality*, 2nd Edition, USA: McGraw-Hill, 2003.

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, USP, São Paulo/SP, 2003.

M. D. TEIXEIRA, R. L. ARAÚJO, L. M. ARDJOMAND, , A. R. AOKI, N. S. R. QUOIRIN, I. WUNDERLICH, "Acceptable Power Quality Limits to Avoid Damages in Appliances", *WSEAS Transactions on Circuits and Systems*, Issue 5, vol. 4, May 2005.

AZEVEDO, A. C., “Desempenho de Refrigeradores Domésticos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, julho de 2003.

TAVARES C. E., MENDONÇA M. V. B., OLIVEIRA J. C., DELAIBA A. C., SILVA R. M. T. Aplicativo Computacional para Subsidiar a Análise Técnica de Pedidos de Ressarcimento. CBQEE 2007, Santos SP, 2007.

CARMEIS, D. W., “Os efeitos da Diversidade de Tensões de Distribuição no Setor Elétrico Brasileiro. Estudo do Caso do Refrigerador Doméstico”, Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 2002.

Manuais da Empresa Tecumseh do Brasil, São Carlos – SP, disponível em: www.tecumseh.com.br.

DEL TORO. V.,” Fundamentos de Máquinas Elétricas”, USA: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 1999.

PACHECO, A. L. S., “Desenvolvimento de Sistemas para Medir a Resistência de Enrolamento em Motores de Compressores Energizados”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, 2007.

CASTILLO, B. C., AZEVEDO. A. C., OLIVEIRA, J. C., DELAIBA, A. C. ”Desempenho de Refrigeradores Domésticos e Condicionadores de Ar no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, VSBQEE, Aracaju-SE, Agosto de 2003;