

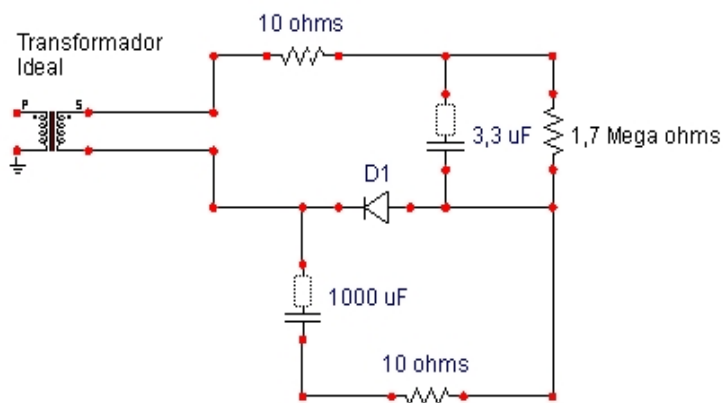


Figura 5.6 – Equivalente do circuito eletrônico da máquina de lavar roupas.

5.2.3 Circuito Equivalente e Modelagem do Motor Monofásico PSC

A análise matemática do motor PSC é semelhante à realizada para o motor PTC, descrita no Capítulo II. A Figura 5.7 apresenta as mudanças feitas no motor PTC para a obtenção do motor PSC. Essa alteração, basicamente, destina-se à inserção do capacitor permanente.

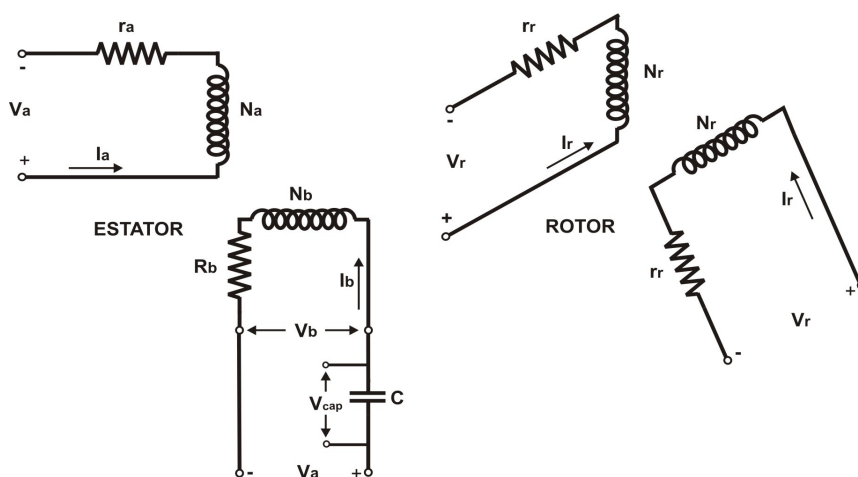


Figura 5.7 - Representação dos circuitos equivalentes dos enrolamentos monofásicos do motor PSC.

Mais uma vez, como verificado no motor do condicionador de ar, a corrente através do capacitor permanente é dada pelas equações 2.53, 2.54 e 2.55, as quais são dadas abaixo:

$$i_b = C \frac{dv_{cap}}{dt} \quad (2.53)$$

Que pode ser reescrita na forma:

$$\frac{dv_{cap}}{dt} - \frac{1}{C} i_b = 0 \quad (2.54)$$

Desta forma, reportando-se à Figura 5.7, a Equação 2.2, do ramo do enrolamento auxiliar, é reescrita considerando-se um capacitor permanente em série com o enrolamento auxiliar. Isto resulta em:

$$v = v_{cap} + v_b = v_a \quad (2.55)$$

Essa alteração aplicada ao desenvolvimento matemático do Capítulo II transforma o equacionamento do motor PTC no equacionamento do motor PSC. Esse equacionamento, por consistir basicamente, como já mencionado, no equacionamento do motor PTC não será descrito nesse capítulo.

5.3 ESTRATÉGIA PARA OS ESTUDOS

Os resultados a seguir apresentados e discutidos obedecem, novamente, à seqüência dos trabalhos conduzidos para os demais produtos considerados nesta dissertação.

5.3.1 Estudos Computacionais

Os procedimentos para esta etapa da pesquisa também foram similares ao já estabelecido, motivo pelo qual se consideram desnecessários maiores detalhes nesta etapa.

5.3.2 Estudos Experimentais

A Figura 5.8 ilustra o diagrama esquemático da montagem para os trabalhos experimentais, identificando as conexões e os diferentes dispositivos utilizados. O arranjo experimental ilustrado compõe-se, fundamentalmente, das mesmas unidades anteriormente utilizadas, a não ser pela presença da máquina de lavar roupas.

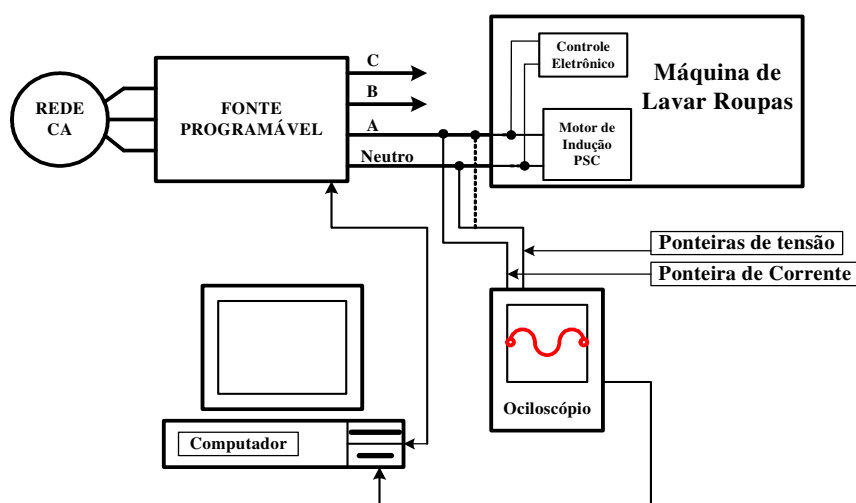


Figura 5.8 - Esquema de conexão para a realização dos experimentos na máquina de lavar roupas.

A Figura 5.9 ilustra a montagem laboratorial empregada.

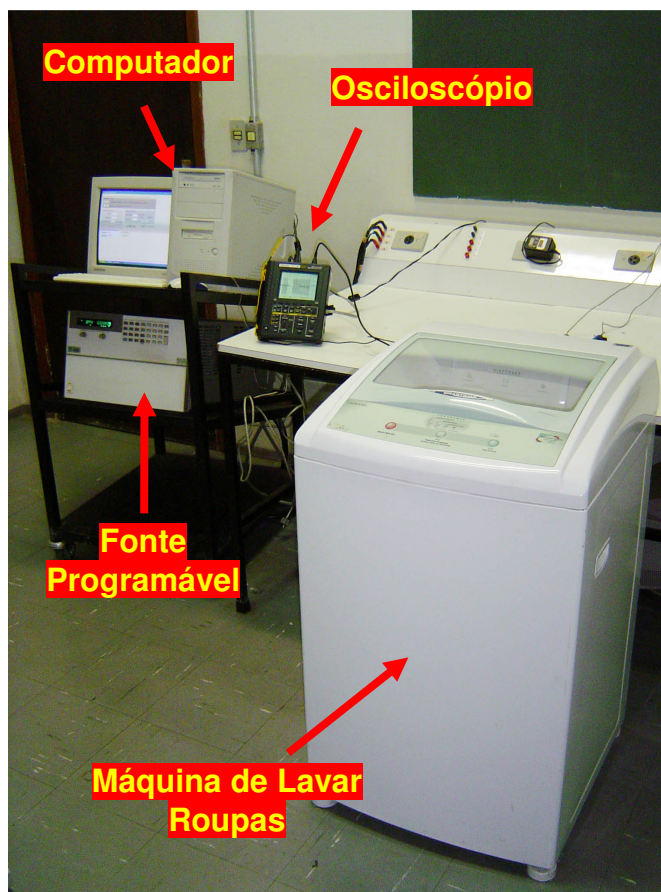


Figura 5.9 - Montagem dos ensaios laboratoriais para análise de desempenho da máquina de lavar roupas.

5.4 CASOS ESTUDADOS

Os estudos realizados na máquina de lavar roupas são similares aos empregados anteriormente, exceto pelo fato de agora se considerar dois regimes para o funcionamento do produto.

5.4.1 Processo de Lavagem

A Tabela 5.3 apresenta um quadro resumido dos casos aplicados à máquina de lavar roupas durante o processo de lavagem. Ressalta-se aqui que, apesar de realizado, a interrupção de tensão se mostrou um evento de difícil verificação experimental, pois, nas inúmeras tentativas realizadas, o instante de ocorrência de tal distúrbio coincidiu com o instante em que o motor se

encontrava em processo de reversão da rotação, isto é, quando o motor estava desligado, não permitindo dessa forma a verificação das conseqüências que tal distúrbio provoca na corrente de entrada do equipamento. Contudo, acredita-se que interrupções curtas, como as aplicadas, não causem maiores danos ao sistema motriz do equipamento, uma vez que este, durante o processo de lavagem, encontra-se em um constante processo de partida.

Tabela 5.3 - Quadro resumo dos casos analisados no processo de lavagem.

CASO	CARACTERÍSTICAS
1 – Condição Ideal	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz.
2 – Elevação de Tensão	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz; • Elevação para 120% da tensão nominal; • Duração do evento de 10 ciclos.
3 – Afundamento de Tensão	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz; • Afundamento para 60% da tensão nominal; • Duração do evento de 10 ciclos.
4 – Flutuação de Tensão	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz; • Pst (Probability short-term) de 5 pu.
5 – Distorção Harmônica	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz; • Distorção harmônica com DHT = 20%.

5.4.2 Caso 1: Suprimento com Características Ideais

As Figuras 5.10 e 5.11 apresentam, respectivamente, as tensões e correntes experimentais e computacionais para um suprimento ideal.

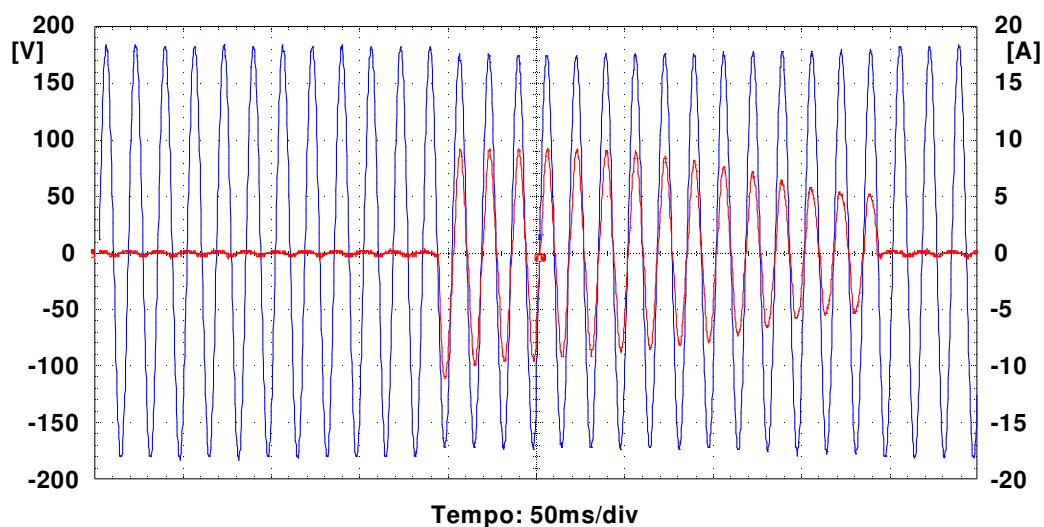


Figura 5.10 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 1 - Experimental.

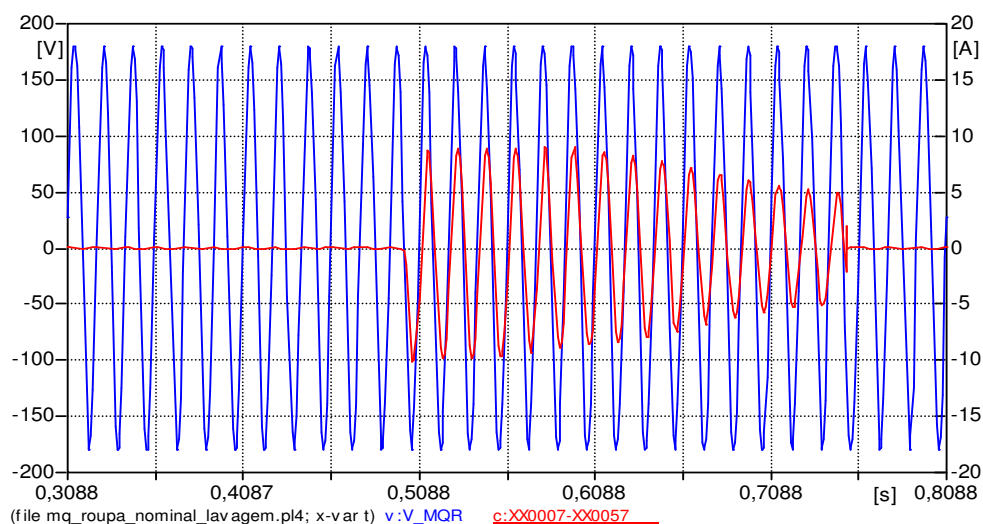


Figura 5.11 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 1 - Computacional.

A Tabela 5.4 apresenta os maiores valores de pico das correntes experimental e computacional na entrada do equipamento.

Tabela 5.4 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o processo de lavagem. Caso 1 – Condição Nominal.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	-11,20 A	-10,11 A	9,73 %

5.4.3 Caso 2: Suprimento Contendo Elevação de Tensão de Curta Duração

As Figuras 5.12 e 5.13 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente experimental e computacional, respectivamente, contendo uma elevação temporária de tensão para 120% da tensão nominal, com duração de 10 ciclos da frequência fundamental.

Pode-se perceber que este distúrbio, dependendo do momento de ocorrência, causa um incremento transitório inicial da corrente. Os resultados se mostraram semelhantes para ambos os métodos utilizados.

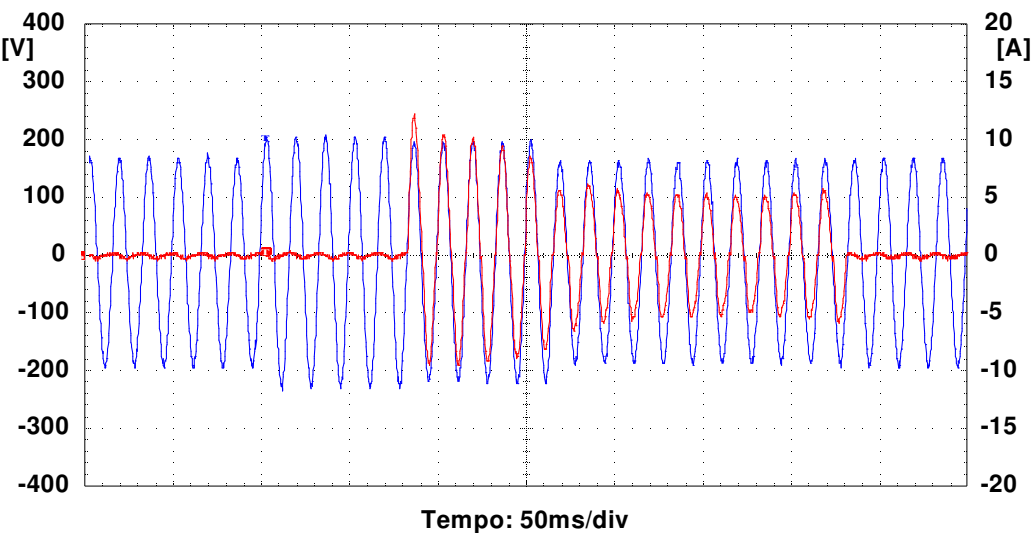


Figura 5.12 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 2 - Experimental.

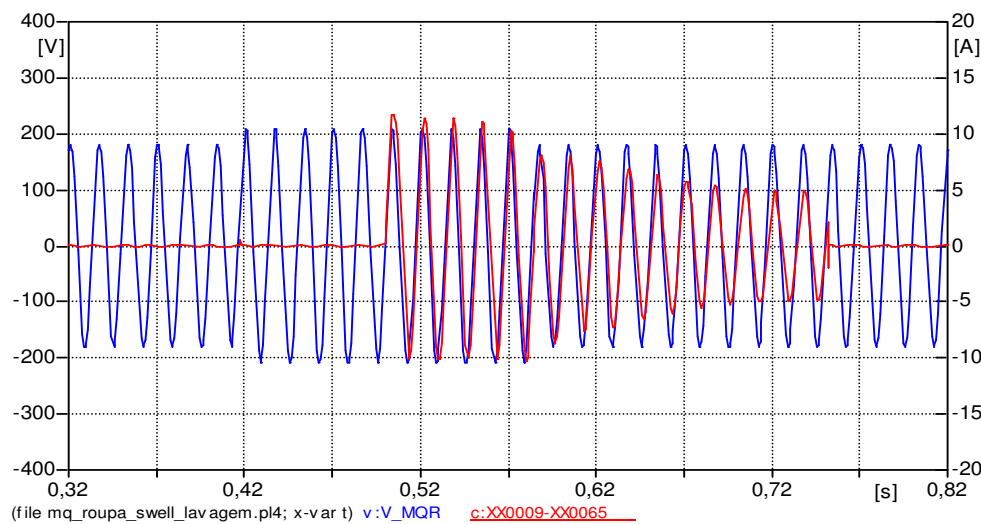


Figura 5.13 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 2 - Computacional.

A Tabela 5.5 resume os resultados para os picos de corrente obtidos.

Tabela 5.5 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o processo de lavagem. Caso 2 – Elevação de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	12,20 A	11,78 A	-3,44 %

5.4.4 Caso 3: Suprimento Contendo Afundamento de Tensão de Curta Duração

As Figuras 5.14 e 5.15 ilustram o desempenho experimental e computacional da máquina de lavar roupas, respectivamente, mostrando as formas de onda da tensão e da corrente de entrada, quando da aplicação de um afundamento para 60% da tensão nominal com duração de 10 ciclos.

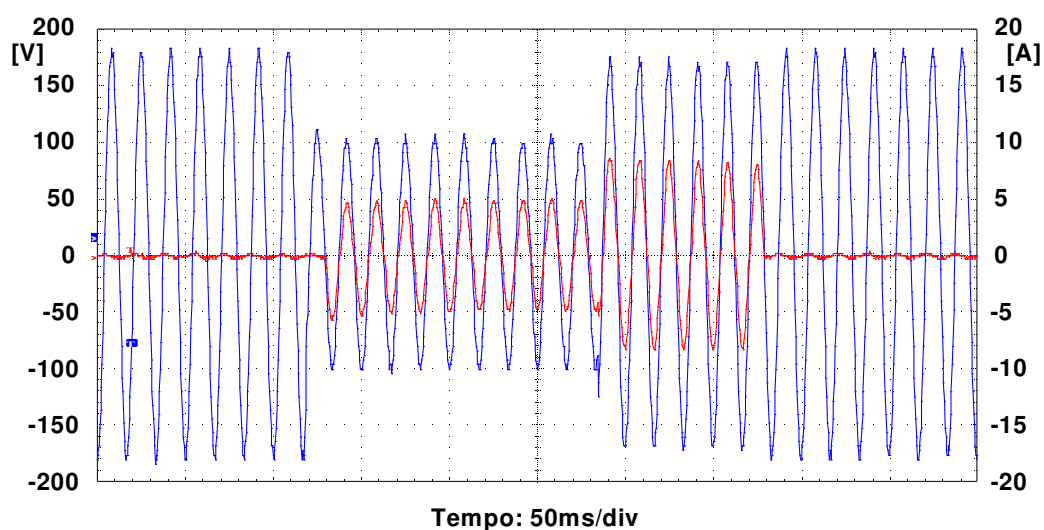


Figura 5.14 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 3 - Experimental.

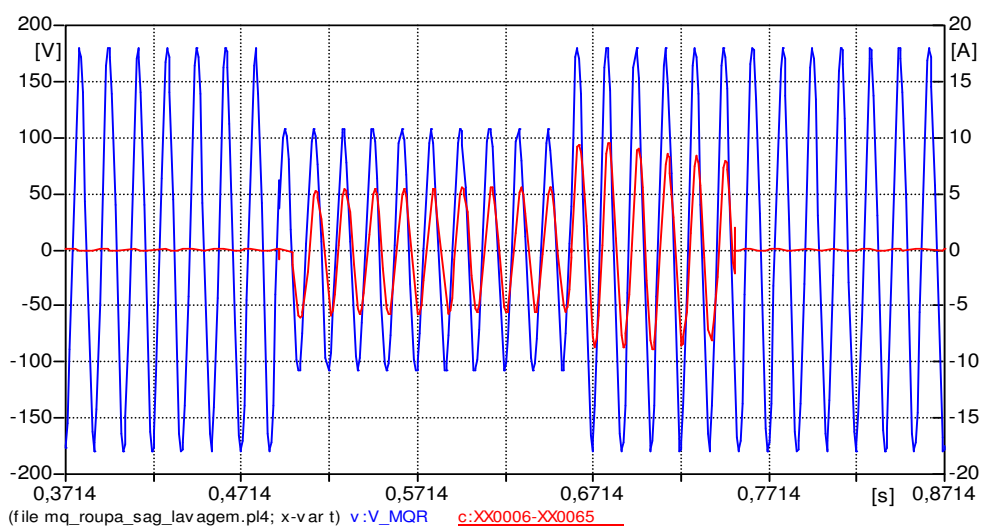


Figura 5.15 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 3 - Computacional.

Neste caso verifica-se que a corrente diminui de magnitude enquanto a tensão se apresenta com valor reduzido. Como pode ser observado, em nenhum momento ocorreu picos acentuados de corrente. Uma vez restabelecida a tensão, a corrente retorna ao seu padrão normal de funcionamento.

A Tabela 5.6 mostra os valores máximos da corrente, referente ao primeiro pico de corrente.

Tabela 5.6 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o processo de lavagem. Caso 3 – Afundamento de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	-5,78 A	-6,04 A	4,30 %

5.4.5 Caso 5: Suprimento Contendo Flutuação de Tensão

As Figuras 5.16 e 5.17 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente total para um suprimento contendo uma oscilação de tensão associada com um PST=5 pu e frequência moduladora de 20 Hz. Verificam-se, na figura, que a oscilação da tensão não trouxe para o caso ilustrado, maiores consequências sobre a corrente.

A Tabela 5.7 sintetiza os resultados obtidos quanto aos picos de corrente.

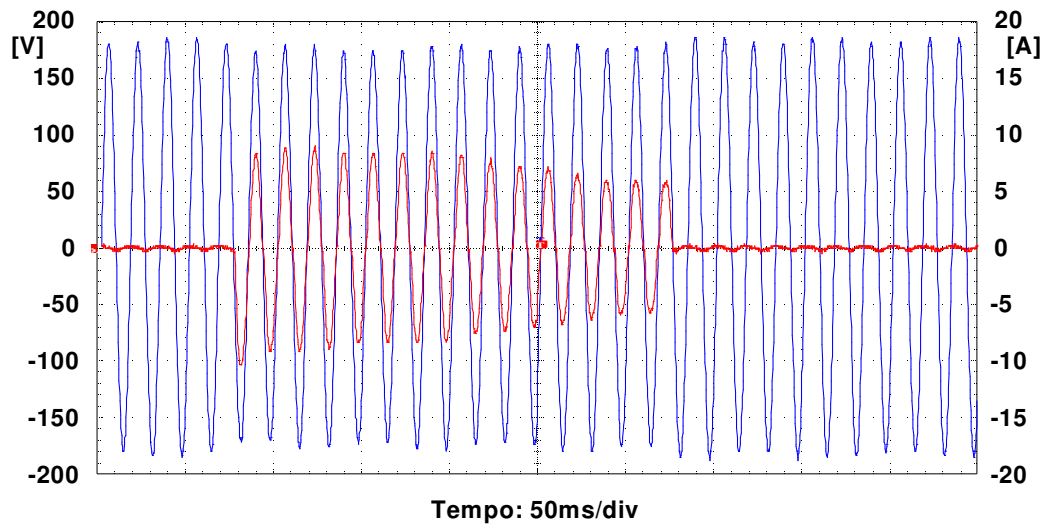


Figura 5.16 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 5 - Experimental.

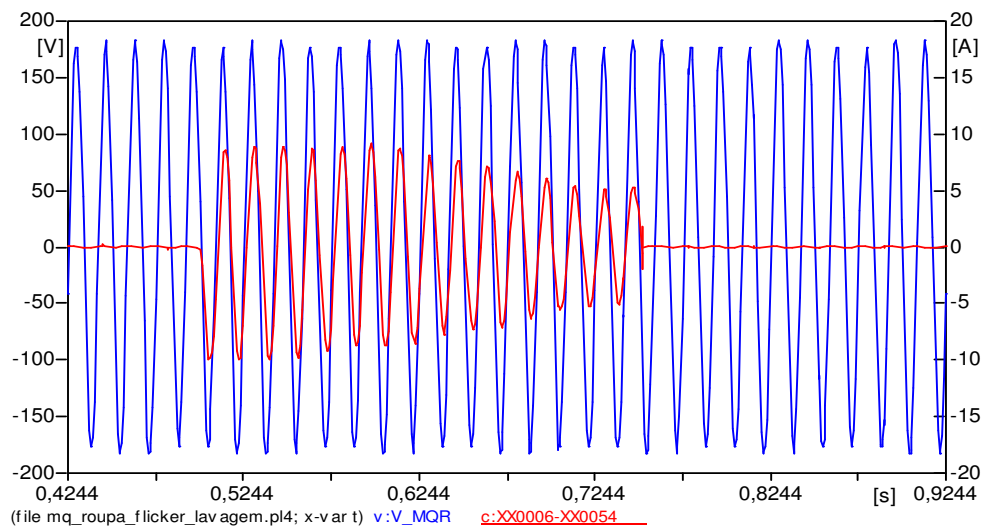


Figura 5.17 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 5 - Computacional.

Tabela 5.7 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o processo de lavagem. Caso 5 – Flutuação de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	-10,40 A	-9,96 A	4,23 %

5.4.6 Caso 6: Suprimento Contendo Distorção Harmônica de Tensão

As Figuras 5.18 e 5.19 ilustram as formas de onda da tensão aplicada e da corrente total absorvida pelo equipamento para um DHT de 20%.

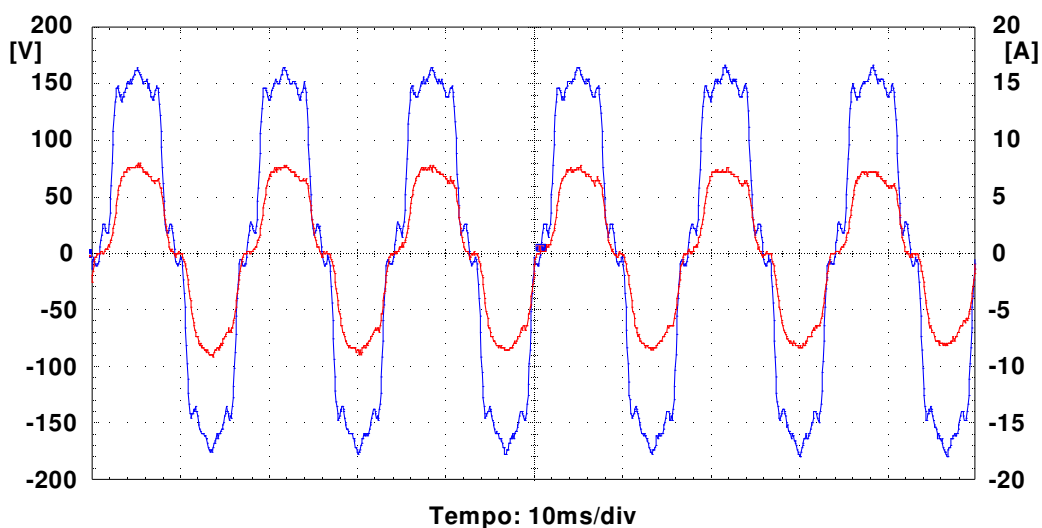


Figura 5.18 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 6 - Experimental.

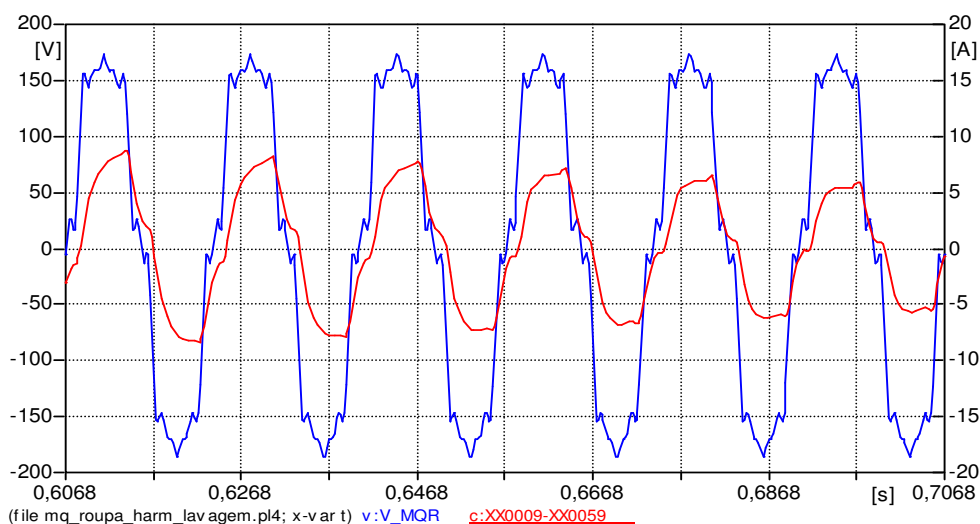


Figura 5.19 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de lavagem. Caso 6 - Computacional.

Como verificado, a corrente desse equipamento, para o processo de lavagem, está em um ininterrupto sistema de partida, isto é, o motor da máquina de lavar roupas está sempre partindo e a cada nova partida seu sentido de

rotação é invertido. Dessa forma, não são mostrados, para o caso ora estudado, o espectro harmônico nem os demais valores que caracterizam tal distúrbio.

5.4.7 Processo de Centrifugação

A Tabela 5.8 apresenta os casos aplicados à máquina de lavar roupas durante o processo de centrifugação.

Tabela 5.8 - Quadro resumo dos casos analisados no processo de centrifugação.

CASO	CARACTERÍSTICAS
1 – Condição Ideal	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz.
2 – Elevação de Tensão	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz; • Elevação para 120% da tensão nominal; • Duração do evento de 10 ciclos.
3 – Afundamento de Tensão	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz; • Afundamento para 60% da tensão nominal; • Duração do evento de 10 ciclos.
4 – Interrupção de Tensão	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz; • Interrupção de tensão; • Duração do evento de 10 ciclos.
5 – Flutuação de Tensão	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz; • Pst (Probability short-term) de 5 pu.
6 – Distorção Harmônica	• Tensão nominal de 127 V, fase-neutro, eficaz; • Distorção harmônica com DHT = 20%.

5.4.8 Caso 1: Suprimento com Características Ideais

As Figuras 5.20 e 5.21 apresentam, respectivamente, as tensões e correntes experimentais e computacionais.

A Tabela 5.9 apresenta o valor eficaz e de pico da corrente na entrada do equipamento analisado, onde podem ser comparados os resultados computacionais com os experimentais.

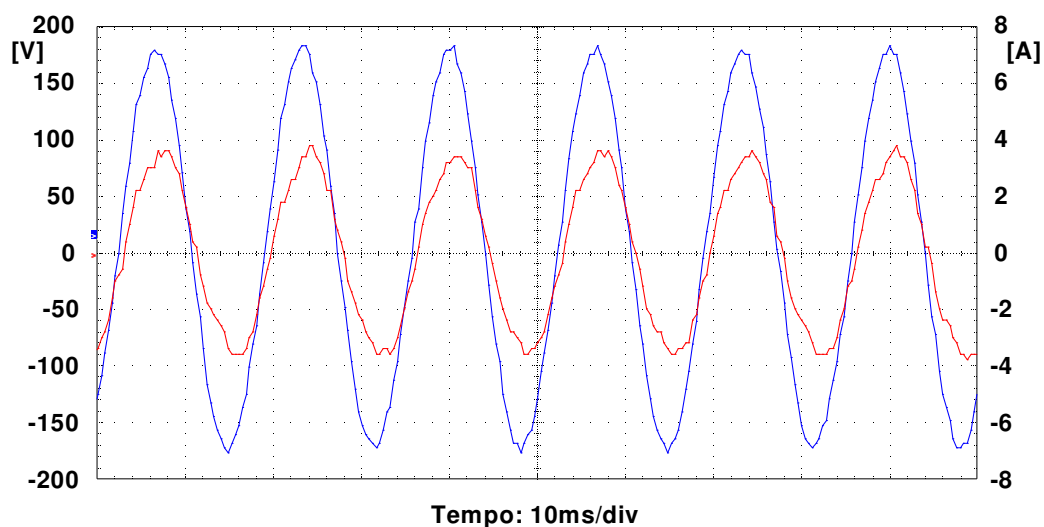


Figura 5.20 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 1 - Experimental.

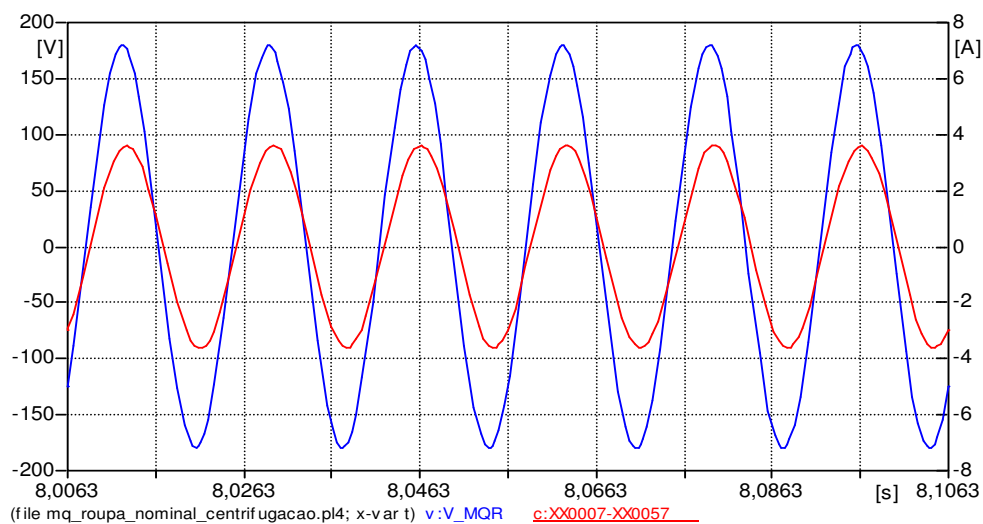


Figura 5.21 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 1 - Computacional.

Tabela 5.9 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o processo de centrifugação. Caso 1 – Condição Nominal.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	3,80 A	3,61 A	5,00 %
Corrente Eficaz	2,56 A	2,55 A	0,40 %
Fator de Potência	0,977	0,981	0,41 %

5.4.9 Caso 2: Suprimento Contendo Elevação de Tensão de Curta Duração

As Figuras 5.22 e 5.23 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente para uma elevação temporária de tensão para 120% da tensão nominal, com duração de 10 ciclos da frequência fundamental.

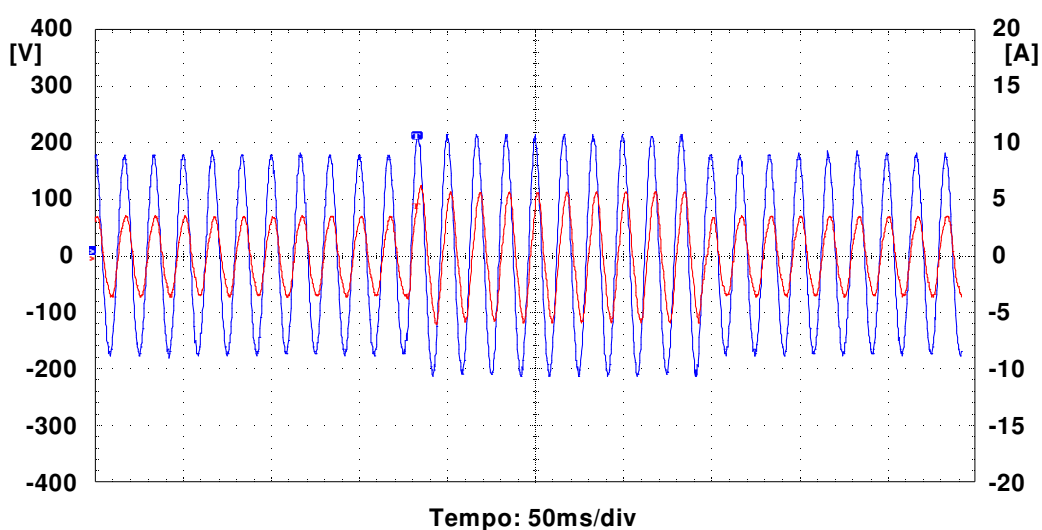


Figura 5.22 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 2 - Experimental.

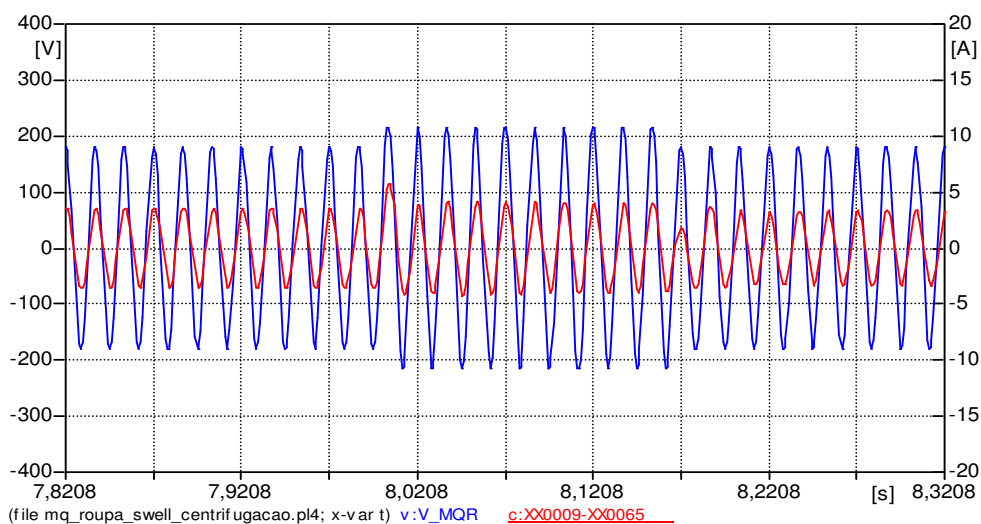


Figura 5.23 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 2 - Computacional.

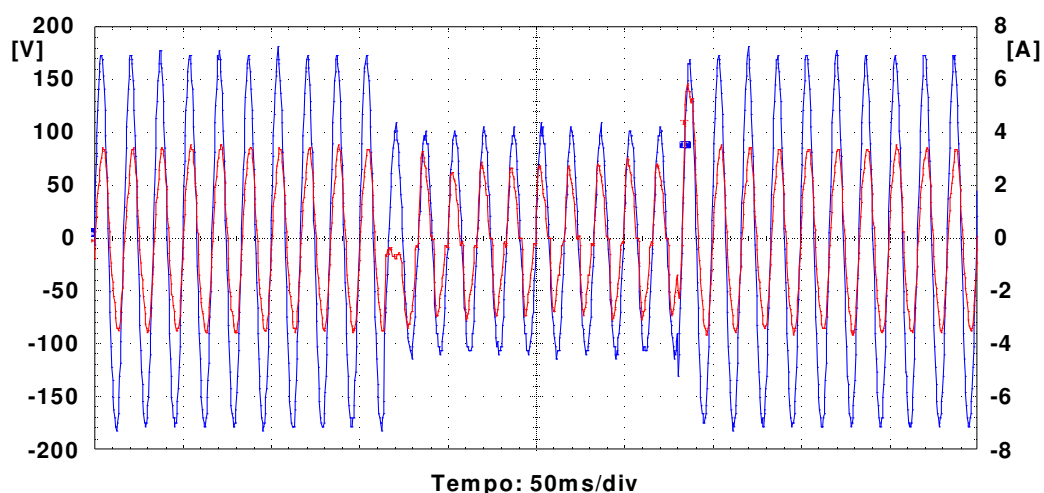
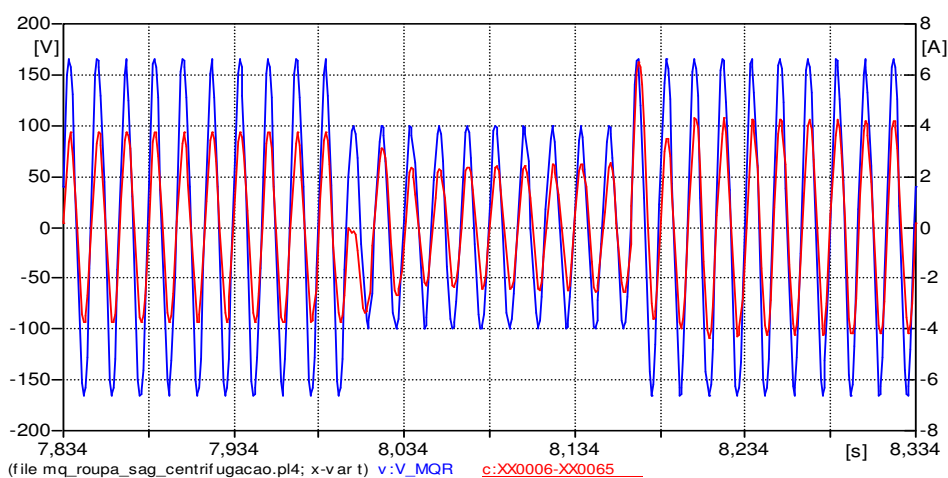
A Tabela 5.10 mostra os picos das correntes obtidas pelos dois métodos.

Tabela 5.10 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o processo de centrifugação. Caso 2 – Elevação de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	6,20 A	5,74 A	7,42 %

5.4.10 Caso 3: Suprimento Contendo Afundamento de Tensão de Curta Duração

As Figuras 5.24 e 5.25 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente de entrada, quando da aplicação de um afundamento para 60% da tensão nominal com duração de 10 ciclos.

**Figura 5.24 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 3 - Experimental.****Figura 5.25 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 3 - Computacional.**

A Tabela 5.11 mostra os valores máximos atingidos pela corrente de pico.

Tabela 5.11 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o processo de centrifugação. Caso 3 – Afundamento de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	5,85 A	6,47 A	9,58 %

5.4.11 Caso 4: Interrupção do Fornecimento da Energia Elétrica

As Figuras 5.26 e 5.27 ilustram os oscilogramas da tensão de suprimento e da corrente solicitada pelo dispositivo quando aplicada uma interrupção plena, como duração de 10 ciclos. Observa-se que, no instante da aplicação da interrupção, a corrente no dispositivo tende a diminuir, sem apresentar oscilações, até o valor da corrente absorvida pelo seu controle eletrônico. Esta característica se deve ao tipo de controle imposto pelas chaves semicondutoras.

Observa-se ainda que, quando do restabelecimento da tensão, o mesmo não ocorre para a corrente. Esta corrente permanece reduzida por um longo intervalo de tempo, aproximadamente 11 segundos. Após esse período, o sistema de centrifugação recomeça, como pode ser verificado pelo alto valor da corrente. Passados 14 segundos a corrente novamente atinge o regime permanente.

Como se percebe, os tempos envolvidos no processo de centrifugação são elevados. A aplicação de tais tempos para o processo computacional demandaria um esforço muito grande de processamento, motivo este que levou a não representação fiel desses tempos. Sendo assim, os 11 segundos de interrupção plena da corrente do motor na situação real foram representados na situação computacional por 5 segundos. Já o tempo de partida do motor, que no caso experimental foi de aproximadamente 14 segundos, no modelo

computacional foi de apenas 5,5 segundos. Apesar dessa redução dos tempos, a magnitude das grandezas, especialmente a corrente de entrada, quando comparada com os dados experimentais, ficou dentro de valores totalmente satisfatórios.

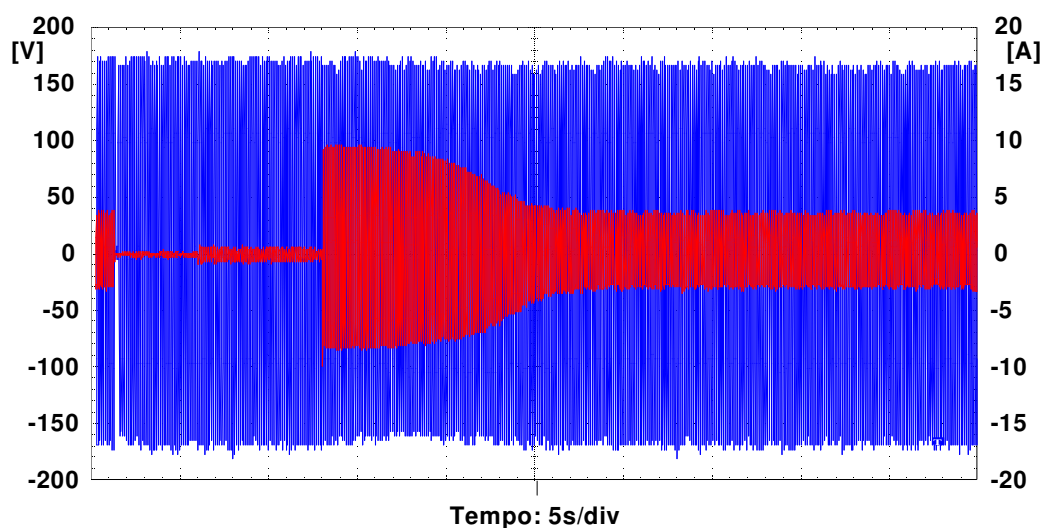


Figura 5.26 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 4 - Experimental.

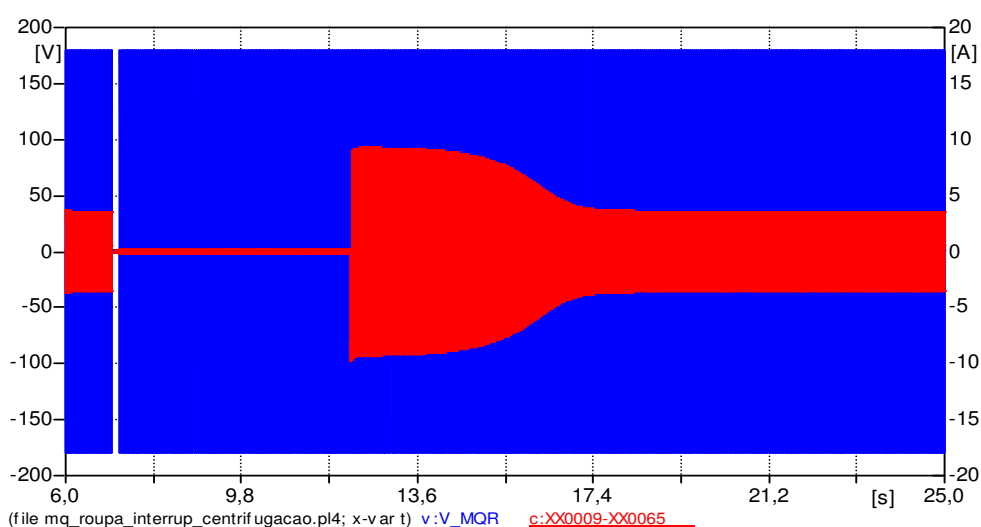


Figura 5.27 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 4 - Computacional.

A Tabela 5,12 informa os maiores valores obtidos para a corrente do motor.

Tabela 5.12 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o processo de centrifugação. Caso 4 – Afundamento de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	-10,00 A	-9,80 A	2,00 %

5.4.12 Caso 5: Suprimento Contendo Oscilação de Tensão

As Figuras 5.28 e 5.29 ilustram as formas de onda da tensão e da corrente total para o caso do suprimento contendo uma oscilação de tensão correspondente a um PST=5 pu, com frequência moduladora de 20 Hz.

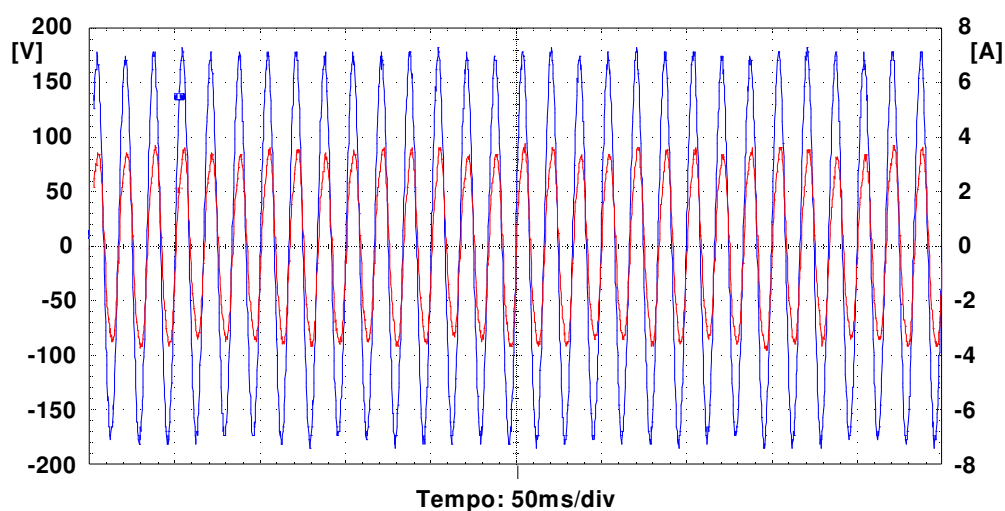


Figura 5.28 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação, Caso 5 - Experimental.

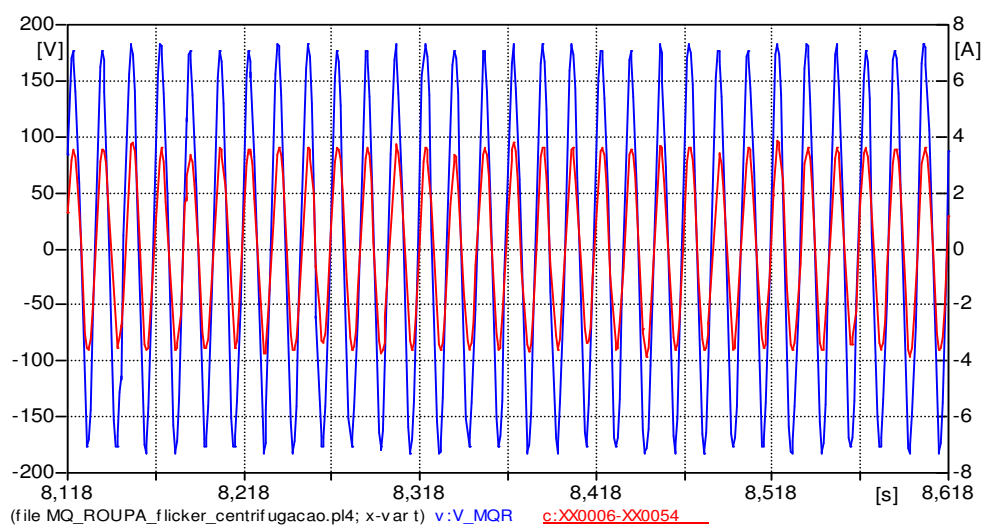


Figura 5.29 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação, Caso 5 - Computacional.

A Tabela 5.7 sintetiza os resultados obtidos nesta análise.

Tabela 5.13 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o processo de centrifugação. Caso 5 – Flutuação de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	3,84 A	3,89 A	1,29 %

5.4.13 Caso 6: Suprimento Contendo Distorção Harmônica de Tensão

As Figuras 5.30 e 5.31 ilustram as formas de onda da tensão aplicada e da corrente total absorvida pela máquina de lavar roupa, para o DHT de 20%.

Nas Figura 5.32 e 5.33 estão ilustrados os espectros harmônicos para o caso experimental e computacional, respectivamente.

No espectro experimental a componente de 3^a harmônica apresenta-se com uma magnitude bem mais elevada do que a verificada no resultado computacional. Essa diferença se deve, basicamente, aos efeitos da saturação magnética que não foram inseridos no modelo computacional. Contudo, as demais harmônicas apresentam boa correlação entre os desempenhos obtidos no laboratório e nos estudos computacionais.

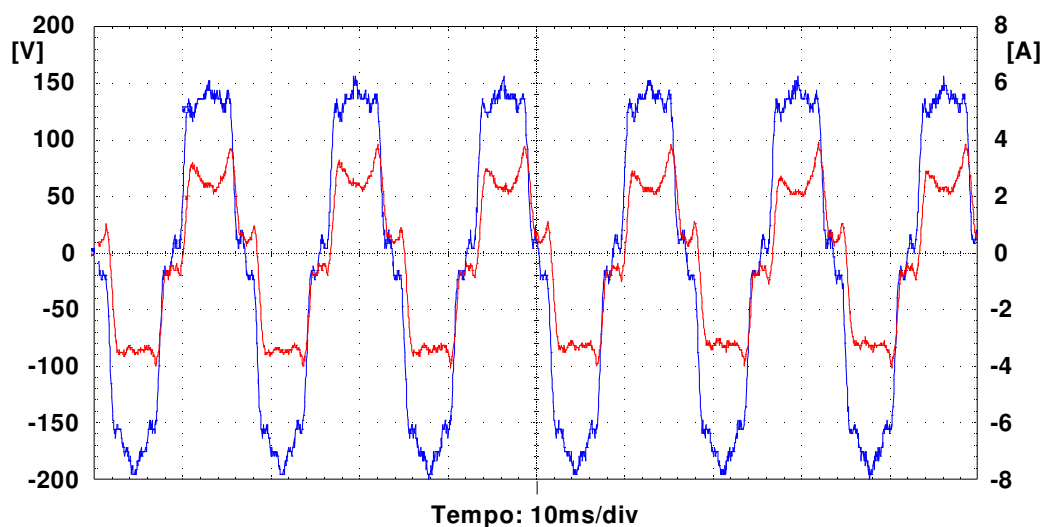


Figura 5.30 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 6 - Experimental.

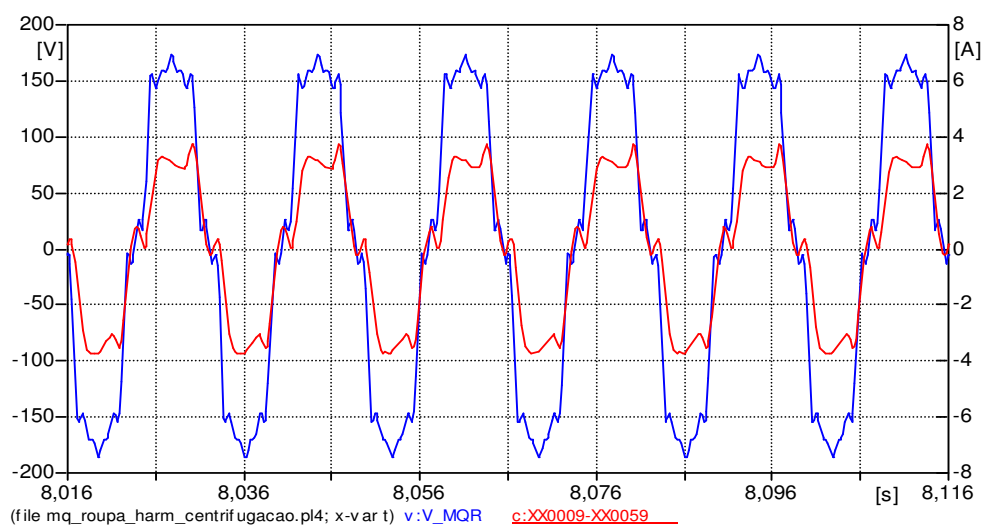


Figura 5.31 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 6 - Computacional.

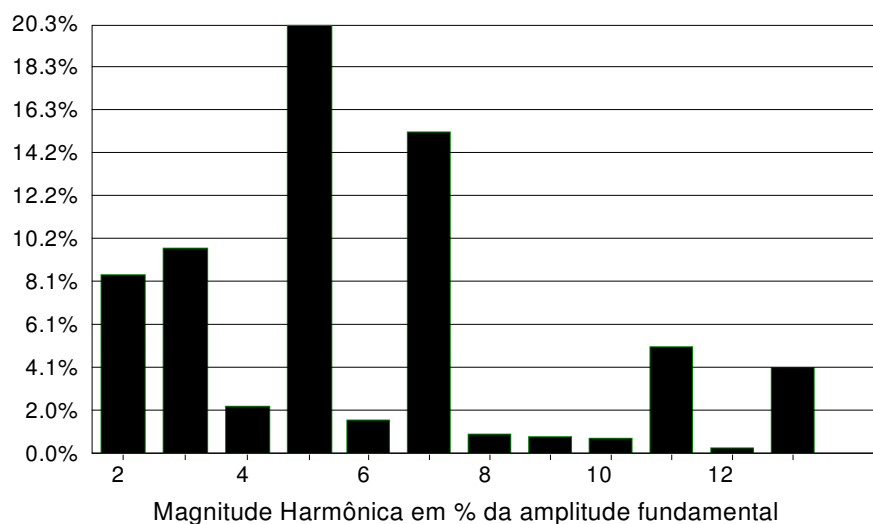


Figura 5.32 - Espectro harmônico da corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 6 - Experimental.

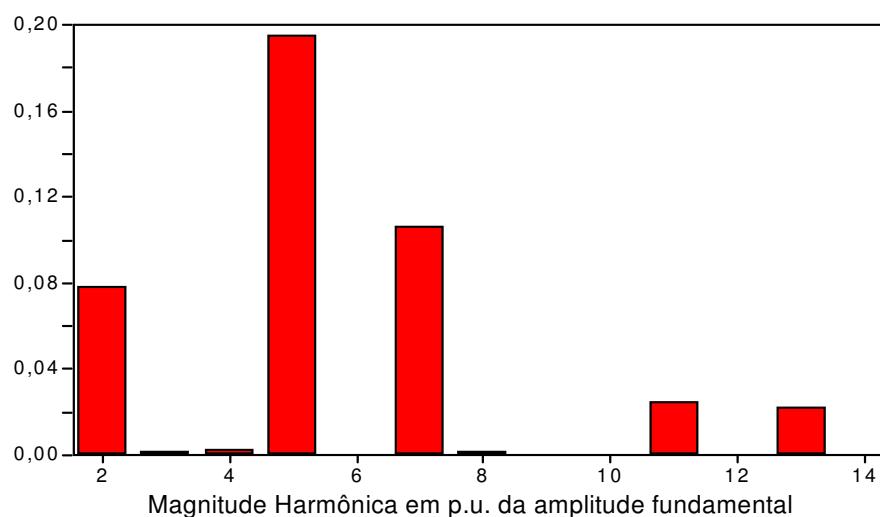


Figura 5.33 - Espectro harmônico da corrente de entrada da máquina de lavar roupas no processo de centrifugação. Caso 6 - Computacional.

A Tabela 5.14 destaca os valores de pico, eficaz e da distorção harmônica total de corrente, além dos valores individuais das componentes harmônicas.

Tabela 5.14 – Comparação das harmônicas entre os resultados experimentais e computacionais para o caso 6.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	3,98 A	3,71 A	6,78 %
DHTi	29,50 %	23,71 %	19,63 %
I _h fundamental	2,41 A	2,54 A	5,12 %
I _h 2 ^a	0,206 A	0,196 A	4,85 %
I _h 3 ^a	0,235 A	0,004 A	--
I _h 4 ^a	0,056 A	0,005 A	--
I _h 5 ^a	0,490 A	0,494 A	0,81 %
I _h 7 ^a	0,368 A	0,269 A	26,90 %
I _h 11 ^a	0,124 A	0,062 A	50,00 %
I _h 13 ^a	0,100 A	0,058 A	42,00 %

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

À luz dos resultados obtidos e apresentados ao longo do presente capítulo podem ser extraídas as seguintes constatações:

- Quando do processo de lavagem, uma elevação temporária de tensão não apresentou nenhum efeito significativo sobre no seu desempenho do equipamento, contudo, verificou-se um acréscimo, durante meio ciclo, no valor inicial da corrente. No processo de centrifugação, novamente, o equipamento não apresentou nenhum impacto significativo sobre seu funcionamento a não ser por um acréscimo de corrente verificado no valor inicial da corrente;
- Afundamentos temporários de tensão não causaram efeitos perceptíveis no funcionamento do equipamento, tanto no processo de lavagem como de centrifugação. Com relação à forma de onda da corrente, verificou-se que, para o processo de centrifugação, ocorreu um incremento da mesma no instante do restabelecimento da tensão ao seu valor normal. Para o

processo de lavagem não foi verificado alterações significativas na corrente, exceto pela sua redução quando da presença do evento;

- Interrupções de tensão se mostraram bastante impactantes para o processo de centrifugação, uma vez que este foi interrompido para qualquer tempo de duração do fenômeno. O comportamento da corrente quando tal evento foi aplicado foi semelhante ao verificado no início do processo de centrifugação. Para o caso da lavagem, não foi possível obter os oscilogramas. Contudo, devido ao fato de que o equipamento, durante tal processo, estar sempre “partindo”, acredita-se que uma interrupção não afetaria significativamente o funcionamento do equipamento;
- Flutuações de tensão nos níveis aplicados ao dispositivo em estudo não produziram anormalidades que pudessem ser percebidas. No processo de lavagem, a flutuação da corrente mostrou-se ainda menos significativa que durante o processo de centrifugação. Contudo, em ambos os casos, os valores de pico destas correntes não foram muito significativos;
- Distorções harmônicas de tensão durante a lavagem se mostraram de pequena relevância em relação aos resultados associados com a centrifugação. Esse fato decorre essencialmente do valor mais elevado dessa corrente durante o processo de lavagem do que no processo de centrifugação;
- A seleção das funções de programação do equipamento, como esclarecido anteriormente, é controlada por um circuito eletrônico. Esse circuito, conforme pesquisa realizada nas assistências técnicas autorizadas é o principal dispositivo que se danifica nas máquinas de lavar roupa. Tendo em vista a simplificação utilizada para esta unidade, destaca-se, aqui, a necessidade de maiores estudos até a obtenção de um circuito eletrônico mais próximo do real.

De um modo geral pôde-se constatar que, em praticamente todos os casos estudados, tanto no processo de lavagem como de centrifugação, verificou-se uma boa semelhança entre os resultados obtidos pelos métodos experimental e o computacional. Este fato, a exemplo dos estudos anteriores, evidencia que o modelo proposto para a máquina de lavar roupas possui uma boa correlação com o funcionamento físico do produto.

CAPÍTULO VI

MODELAGEM E ANÁLISE DE DESEMPENHO DE LAVA LOUÇAS

6.1 INTRODUÇÃO

Os primeiros relatos de um dispositivo mecânico de lavar louças datam de 1850 e correspondem a uma patente de Joel Houghton. As máquinas modernas de lavar louça são descendentes de uma invenção, em 1886, de Josephine Cochrane, também motorizada a mão, a qual foi apresentada na Feira mundial de Chicago em 1893. Os modelos instalados com encanamento permanente chegaram por volta de 1920 e, em 1937, Willian Howard desenvolveu uma pequena lavadora de louça que possuía todas as características de uma lavadora de louças moderna, inclusive uma porta na frente, uma prateleira de arame para segurar louça e um pulverizador giratório [30]. Elementos secantes elétricos foram introduzidos em 1940. Inicialmente, as máquinas de lavar louças eram usadas em ambientes comerciais, mas a partir de 1970 esse equipamento passou a ser comum em residências de países, como os Estados Unidos.

A lava louças limpa borrifando água quente (55 a 65 °C) nas louças. Algumas lavadoras realizam lavagem múltipla e enxágüe dentro de um ciclo completo definido pelo usuário. Em ambos os processos, isto é, o de lavagem e de enxágüe, utiliza-se água quente. Dessa forma, a potência consumida independe do processo executado, exceto pelo tempo de realização de cada um.

No que tange aos desenvolvimentos feitos neste capítulo, estes estão em total sintonia com aqueles seguidos para os demais equipamentos, motivo pelo qual se dispensa, neste momento, maiores discussões sobre o assunto.

6.2 IDENTIFICAÇÃO, CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MODELAGEM DA MÁQUINA LAVA LOUÇAS

Mais uma vez, em consonância com os procedimentos anteriores, apresenta-se, na seqüência, os trabalhos realizados desde a busca dos modelos até a realização dos estudos comparativos de desempenho do produto.

6.2.1 Identificação do Equipamento

O equipamento analisado consiste num produto com capacidade para 25 litros, como ilustra a Figura 6.1.

A Figura 6.2 ilustra a parte inferior desse equipamento, onde está localizado o seu sistema de aquecimento, composto por uma resistência elétrica e o sistema de bombeamento, formado principalmente por uma eletrobomba de circulação [35].



Figura 6.1 – Lava louças sob ensaio.

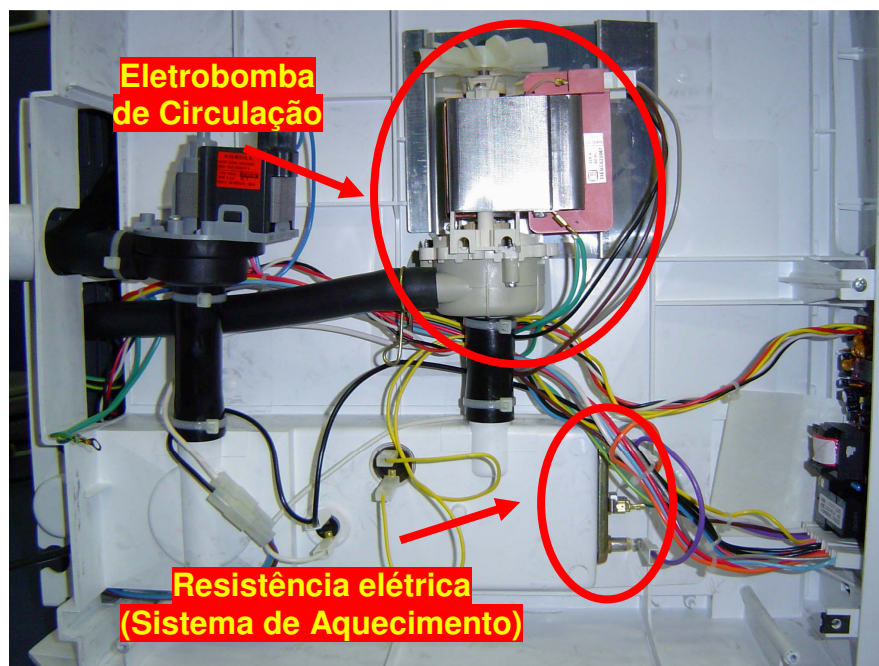


Figura 6.2 – Detalhe do sistema de aquecimento e bombeamento da lava louças.

A Figura 6.3 ilustra a parte eletrônica da lava louças. Esta é responsável pela programação das funções realizadas pelo equipamento. Este circuito eletrônico, basicamente, é composto por alguns relés, um transformador derivador, um sistema de retificação e os demais componentes responsáveis pelo funcionamento do equipamento.

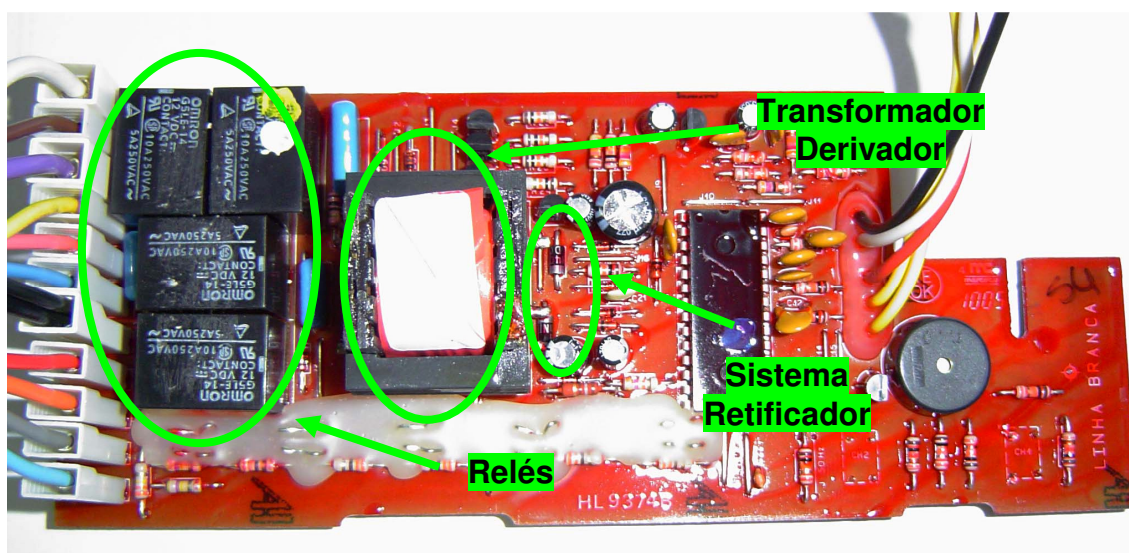


Figura 6.3 - Circuito eletrônico da lava louças.

A Tabela 6.1 apresenta as principais características da máquina lava louças utilizada nos estudos.

Tabela 6.1 – Características da lava louças analisada.

Fabricante	CONSUL
Modelo	CLC19ABBNA
Serie	CE50400359
Capacidade	6 Pessoas – 25 litros Água
Tensão	220 V
Potência	1370 W

6.2.2 Características Físicas do Equipamento

Os principais componentes elétricos da lava louças, como já mencionado, são:

- Um sistema de aquecimento, caracterizado por uma resistência elétrica;
- Um sistema de bombeamento, representado pela eletrobomba de circulação;
- Um sistema de controle, constituído pelo circuito eletrônico.

O sistema de aquecimento, basicamente, consiste numa resistência convencional, não necessitando pois de maiores comentários.

A eletrobomba de circulação, por sua vez, apresenta algumas características elétricas interessantes, especialmente pelo seu tipo de motor de indução monofásico, que corresponde ao tipo *Shaded Pole* (Anel de Defasamento) [31]. O motor *Shaded Pole* é um tipo especial do motor de indução monofásico. Possui, na face de cada pólo do campo, um anel de defasamento chamado de *Shading Coil*, esses anéis, em conjunto com o enrolamento do estator, produzem o campo magnético necessário à partida do

motor. Sua parte rotativa corresponde ao arranjo conhecido por gaiola de esquilo. Devido ao fato de possuir somente um enrolamento no estator, nenhum capacitor ou chave de partida é empregado. Este tipo de motor possui um baixo torque de partida sendo, por tal motivo, recomendado apenas para o acionamento de cargas com propriedades compatíveis.

A Figura 6.4 ilustra o motor de indução monofásico *Shaded Pole* utilizado na lava louças. Nesta figura podem ser vistos os anéis *Shading Coil*.

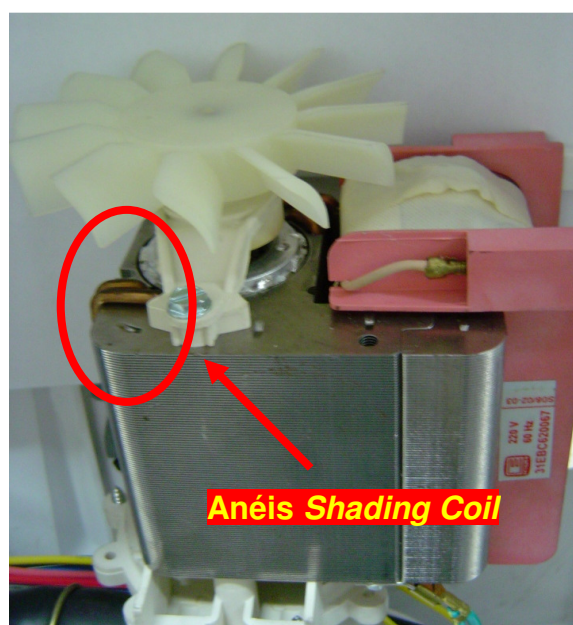


Figura 6.4 – Circuito equivalente do motor *Shaded Pole*.

A Tabela 6.2 fornece as principais características do motor *Shaded Pole* utilizado na lava louças em estudo.

Tabela 6.2 - Principais características do motor *Shaded Pole*.

Fabricante	EBERLE
Tipo	<i>Shaded Pole</i>
Modelo	31EBC620067
Serie	S08/02-03
Vazão	50 Litros / Minutos
Tensão	220 V

O circuito eletrônico foi representado por um equivalente, indicado na Figura 6.5, que conduz a uma corrente de alimentação com as mesmas características daquela verificada experimentalmente.

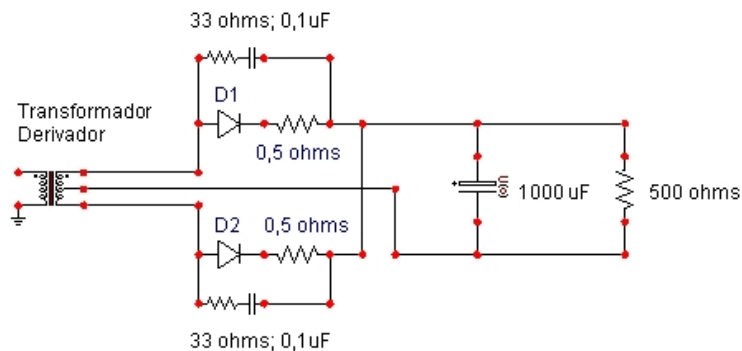


Figura 6.5 – Equivalente do circuito eletrônico da lava louças.

6.2.3 Análise Matemática e Circuito Equivalente do Motor Monofásico Shaded Pole

A modelagem matemática do motor Shaded Pole segue, em grande parte, a mesma filosofia da modelagem dos motores de indução monofásicos. Contudo, algumas alterações construtivas importantes, tais como, a presença de somente um enrolamento no estator e a ausência de mecanismo de partida auxiliar, como chaves ou capacitores, fazem com que os equacionamentos do motor *Shaded Pole* sejam distintos daquele descrito no Capítulo II.

Devido ao fato que o motor *Shaded Pole* possui apenas um enrolamento no estator e também se apresenta com anéis devidamente inseridos no circuito magnético do motor, a circulação do fluxo magnético, originado pela força magnetomotriz produzida pelo enrolamento do estator, induz uma tensão nesses anéis, a qual, por sua vez, origina uma corrente e esta, um fluxo correspondente. Este fluxo interage com o fluxo original, permitindo dessa forma, a entrada em movimento do motor.

Levando em consideração tais particularidades, a análise matemática do motor *Shaded Pole* torna-se similar àquela realizada para o motor PTC, descrita no Capítulo II. A Figura 6.6, semelhante à Figura 2.6, apresenta a alteração, simplificada, realizada no motor PTC, para a obtenção do motor em pauta.

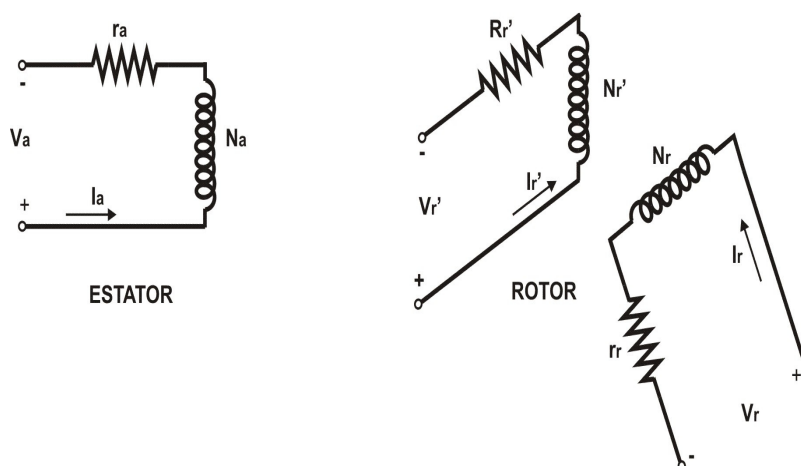


Figura 6.6 - Representação dos circuitos equivalentes dos enrolamentos monofásicos do motor *Shaded Pole*.

6.3 ESTRATÉGIA PARA OS ESTUDOS

Em sintonia com a lógica empregada para os demais estudos, apresentam-se, na sequência, os procedimentos e resultados dos estudos investigativos conduzidos para a máquina lava louças.

6.3.1 Estudos Computacionais

Com base nas características dos sistemas de controle, bombeamento e aquecimento, aliado a toda descrição supracitada, procedeu-se à implementação dos modelos representativos na plataforma ATP, obtendo-se, assim, um programa computacional destinado à avaliação do desempenho operativo do equipamento sob análise.

6.3.2 Estudos Experimentais

Para maior clareza dos trabalhos, foram realizados ensaios experimentais nos dois modos básicos de operação da lava louças, a saber, o processo de lavagem e o de enxágüe. Os resultados obtidos nesses processos, como já mencionado, foram idênticos. Dessa forma, serão considerados somente os desempenhos atrelados com o processo de lavagem.

A Figura 6.7 ilustra a estrutura da montagem realizada para os trabalhos experimentais enquanto que a Figura 6.8 mostra o arranjo laboratorial.

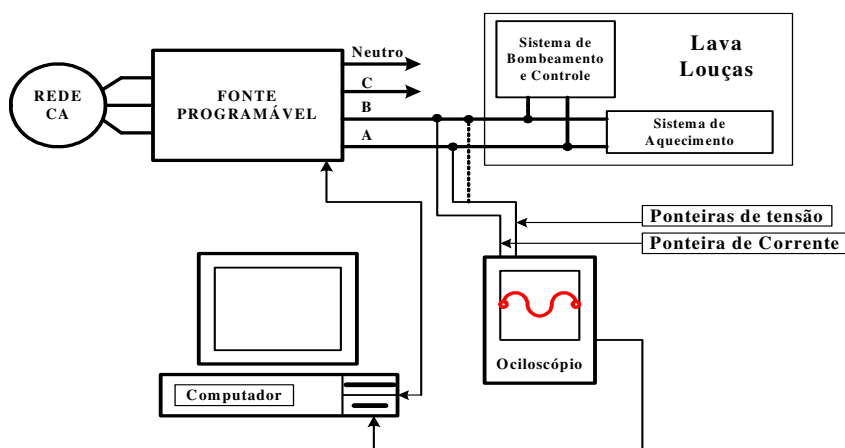


Figura 6.7 - Esquema de conexão para a realização dos experimentos na lava louças.

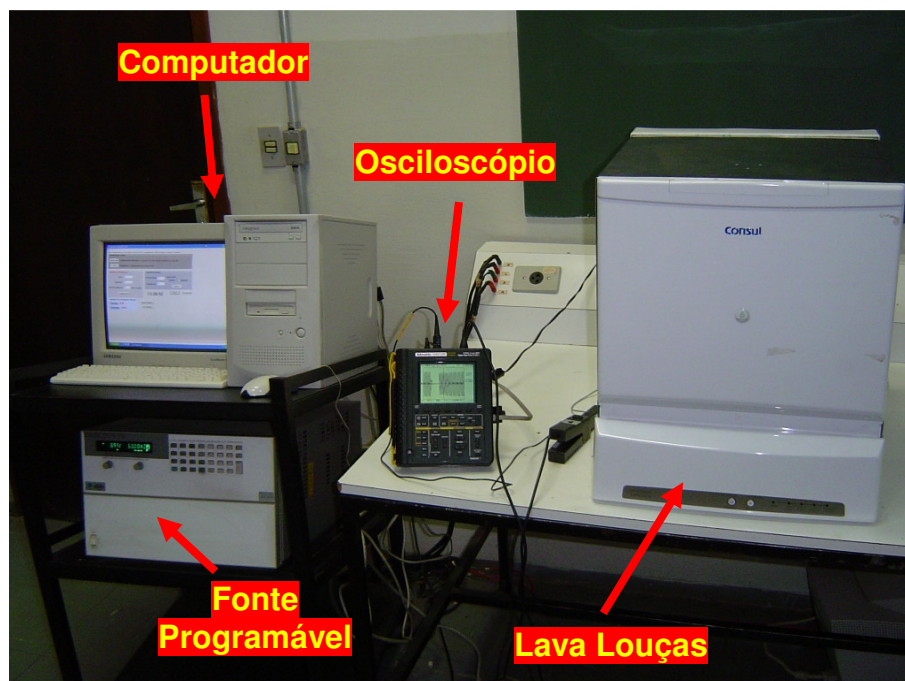


Figura 6.8 - Montagem dos ensaios laboratoriais para análise de desempenho da lava louças.

6.4 CASOS ESTUDADOS

A Tabela 6.3 apresenta uma síntese dos casos estudados.

Tabela 6.3 - Quadro Resumo dos Casos Analisados.

CASO	CARACTERÍSTICAS
1 – Condição Ideal	• Tensão nominal de 220 V, fase-fase, eficaz.
2 – Elevação de Tensão	• Tensão nominal de 220 V, fase-fase, eficaz; • Elevação para 115% da tensão nominal; • Duração do evento de 10 ciclos.
3 – Afundamento de Tensão	• Tensão nominal de 220 V, fase-fase, eficaz; • Afundamento para 60% da tensão nominal; • Duração do evento de 10 ciclos.
4 – Interrupção de Tensão	• Tensão nominal de 220 V, fase-fase, eficaz; • Interrupção de tensão; • Duração do evento de 10 ciclos.
5 – Flutuação de Tensão	• Tensão nominal de 220 V, fase-fase, eficaz; • Pst (Probability short-term) de 5 pu.
6 – Distorção Harmônica	• Tensão nominal de 220 V, fase-fase, eficaz; • Distorção harmônica com DHT = 20%.

6.4.1 Caso 1: Suprimento com Características Ideais

As Figuras 6.9 e 6.10 apresentam, respectivamente, as tensões e correntes experimentais e computacionais.

Os resultados evidenciam uma boa semelhança entre as respostas obtidas por ambos os métodos.

A Tabela 6.4 apresenta os valores de pico e eficaz da corrente de entrada do equipamento sob teste, bem como o seu fator de potência.

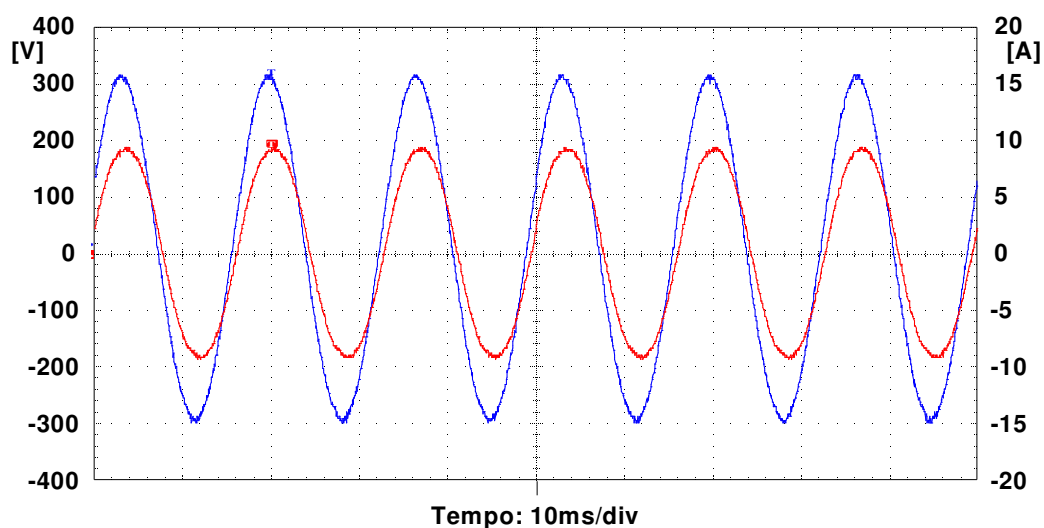


Figura 6.9 – Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças. Caso 1 - Experimental.

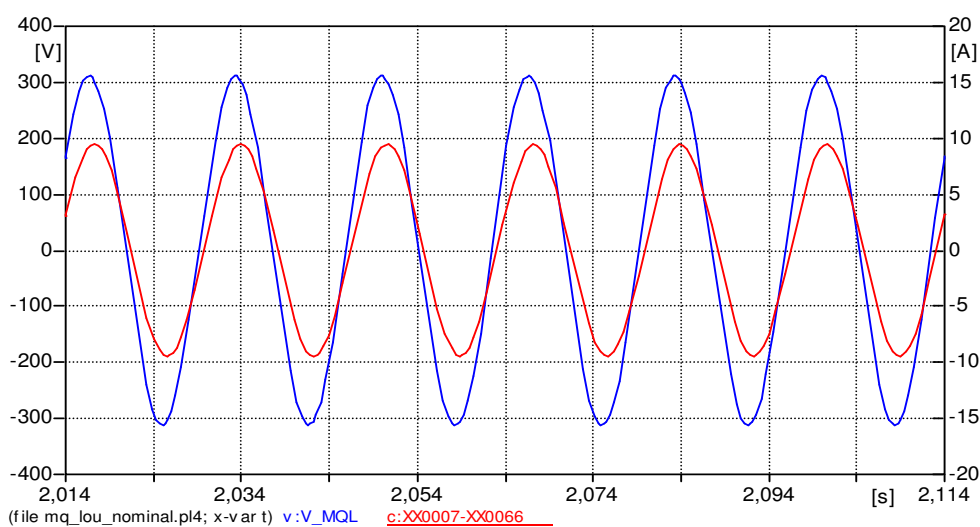


Figura 6.10 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças. Caso 1 - Computacional.

Tabela 6.4 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o caso 1 – Condição Nominal.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	9,40 A	9,43 A	0,32 %
Corrente Eficaz	6,69 A	6,67 A	0,30 %
Fator de Potência	0,975	0,976	0,10 %

6.4.2 Caso 2: Suprimento Contendo Elevação de Tensão de Curta Duração

As Figuras 6.11 e 6.12 ilustram as formas de onda da tensão de suprimento e corrente para uma elevação temporária de tensão que conduz o suprimento para 115 % da tensão nominal, com duração de 10 ciclos da frequência fundamental.

Da análise das figuras, verifica-se a pequena influência que este tipo de perturbação tem sobre o desempenho da corrente. Pode-se verificar que este equipamento apresenta uma característica de carga constante, isso se deve principalmente ao fato do sistema de aquecimento, que consiste de uma resistência elétrica, ser a principal carga elétrica da lava louças.

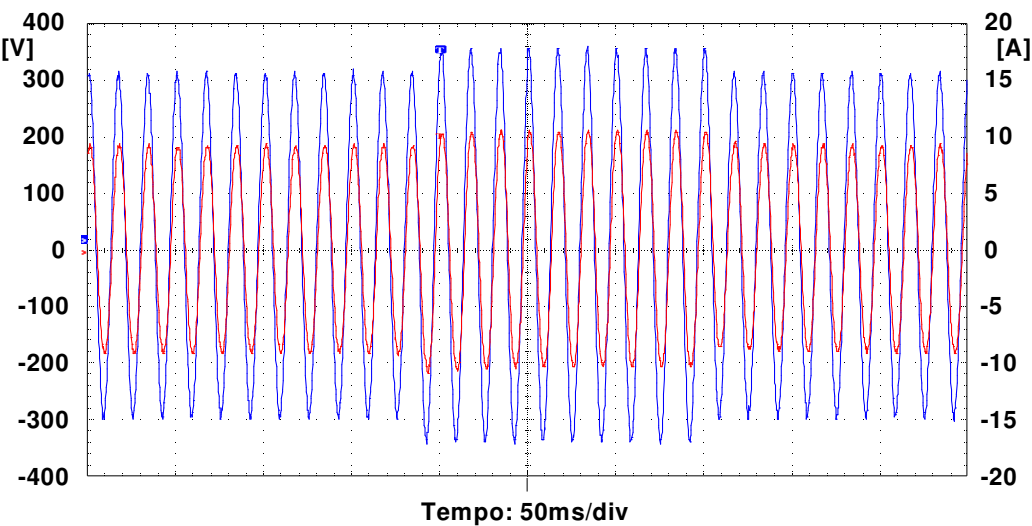


Figura 6.11 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças.
Caso 2 - Experimental.

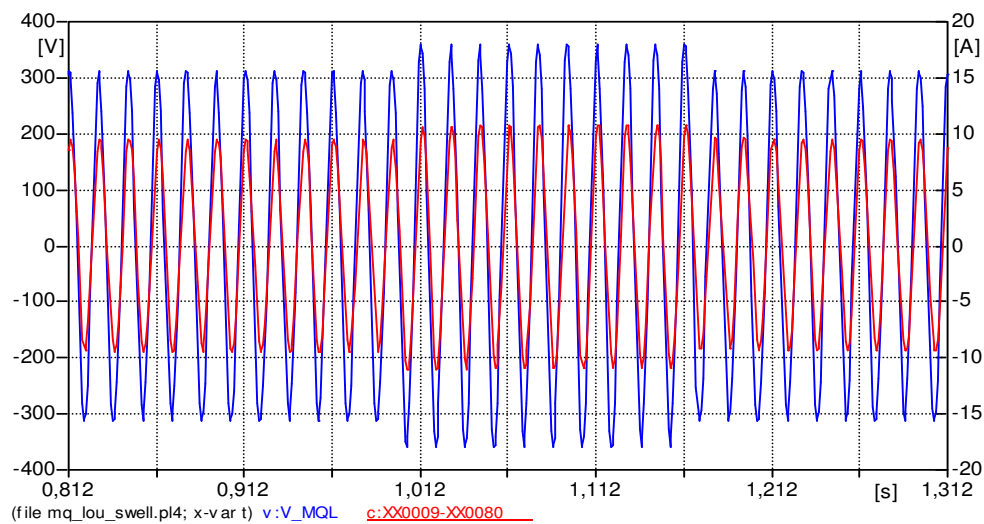


Figura 6.12 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças.
Caso 2 - Computacional.

A Tabela 6.5 apresenta os valores de pico das correntes verificadas no início do distúrbio aplicado.

Tabela 6.5 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o caso 2 – Elevação de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	-11,00 A	-11,13 A	1,17 %

6.4.3 Caso 3: Suprimento Contendo Afundamento de Tensão de Curta Duração

As Figuras 6.13 e 6.14 estão associadas com as formas de onda da tensão de suprimento e da corrente de entrada, quando da aplicação de um afundamento para 60% da tensão nominal, com duração de 10 ciclos.

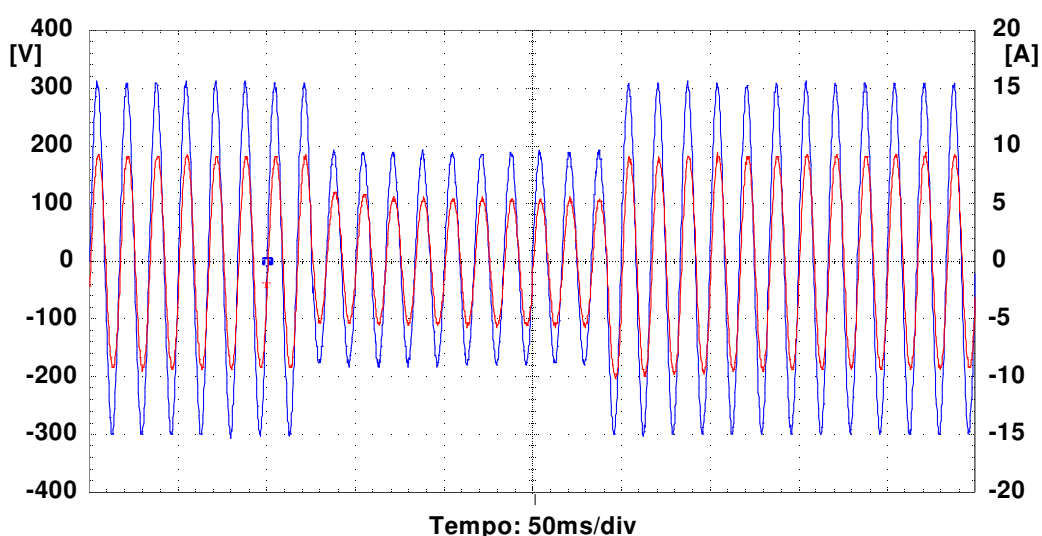


Figura 6.13 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças. Caso 3 - Experimental.

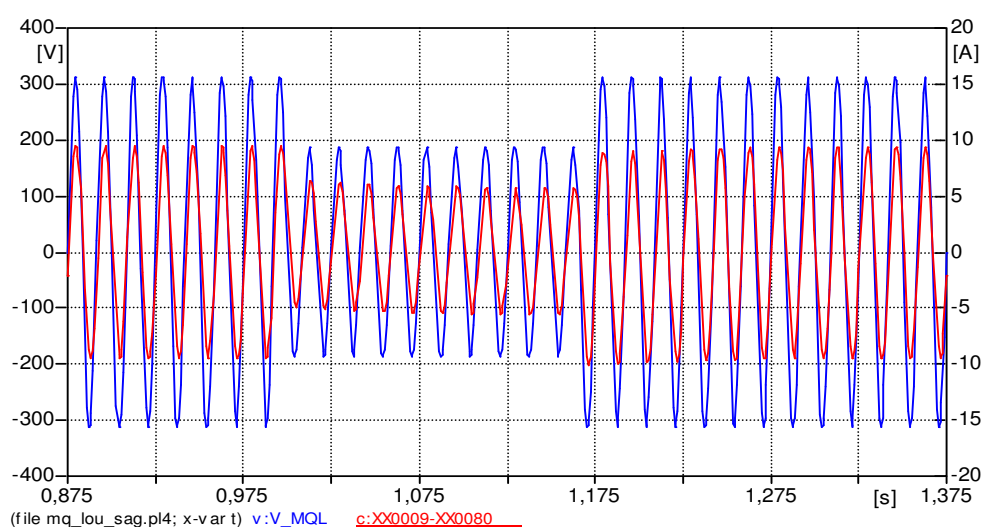


Figura 6.14 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças. Caso 3 - Computacional.

Novamente para este distúrbio, verifica-se a pequena influência que este tipo de perturbação tem sobre o desempenho da corrente. Nesse caso, pode-se

comprovar que a lava louças é um equipamento com características de uma carga do tipo impedância constante. Na verdade este resultado seria esperado, visto que o resistor constitui-se no maior consumo de energia do equipamento.

A Tabela 6.6 apresenta os valores de pico das correntes ao término do distúrbio aplicado.

Tabela 6.6 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o caso 3 – Afundamento de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	-10,10 A	-10,15 A	0,50 %

6.4.4 Caso 4: Interrupção do Fornecimento da Energia Elétrica

As Figuras 6.15 e 6.16 ilustram os oscilogramas da tensão de suprimento e da corrente solicitada pelo dispositivo quando aplicada uma interrupção plena, como duração de 10 ciclos. Observa-se que, no instante da aplicação do fenômeno a corrente no dispositivo registra uma drástica redução. O valor só não é nulo pelo fato de existir uma pequena corrente fornecida ao sistema eletrônico. Essa situação se estende por um tempo de aproximadamente de 1,5 segundo. Ao término desse intervalo o processo é reiniciado normalmente e equipamento volta ao seu funcionamento sem qualquer anomalia.

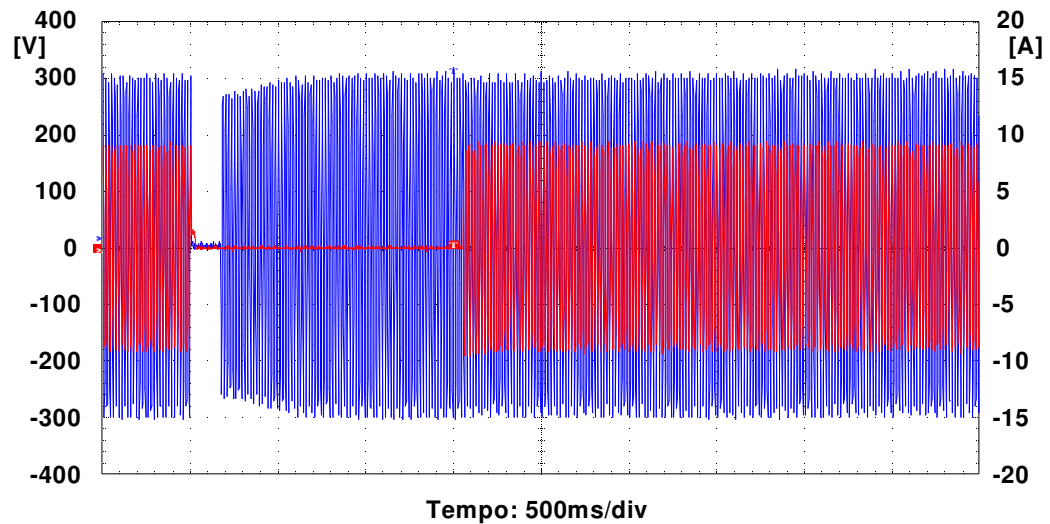


**Figura 6.15 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças.
Caso 4 - Experimental.**

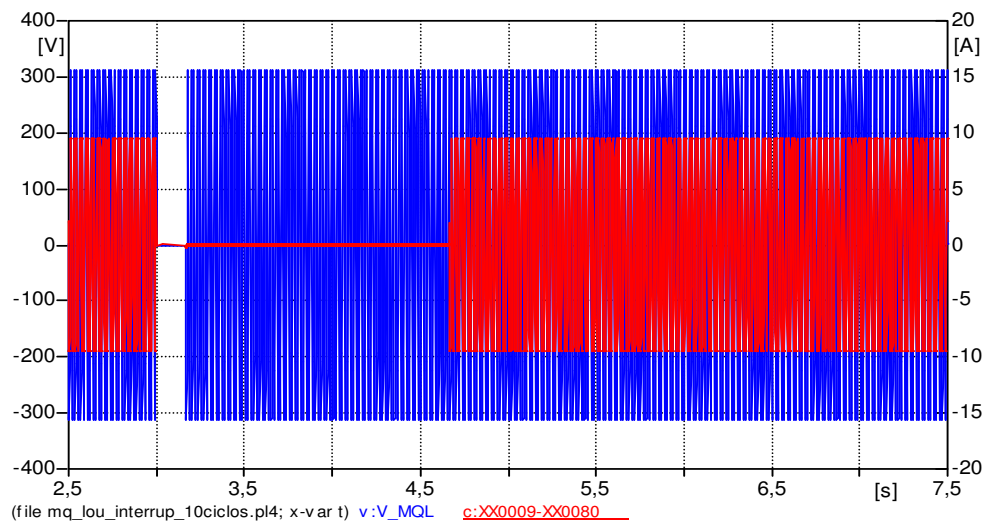


**Figura 6.16 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças.
Caso 4 - Computacional.**

A Tabela 6.7 apresenta os máximos valores obtidos para a corrente do equipamento.

Tabela 6.7 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o caso 4 – Interrupção da Energia.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	-9,60 A	-9,43 A	1,77 %

6.4.5 Caso 5: Suprimento Contendo Flutuação de Tensão

As Figuras 6.17 e 6.18 contêm os oscilogramas da tensão e da corrente para o caso de um suprimento contendo flutuação de tensão definida por um $PST=5$ pu e frequência moduladora de 20 Hz. Vê-se, da figura, que a oscilação da tensão tem efeito direto na corrente, cuja frequência de modulação é igual à da tensão.

A Tabela 6.8 resume os resultados obtidos para a presente situação, mostrando os valores máximos das correntes atingidos.

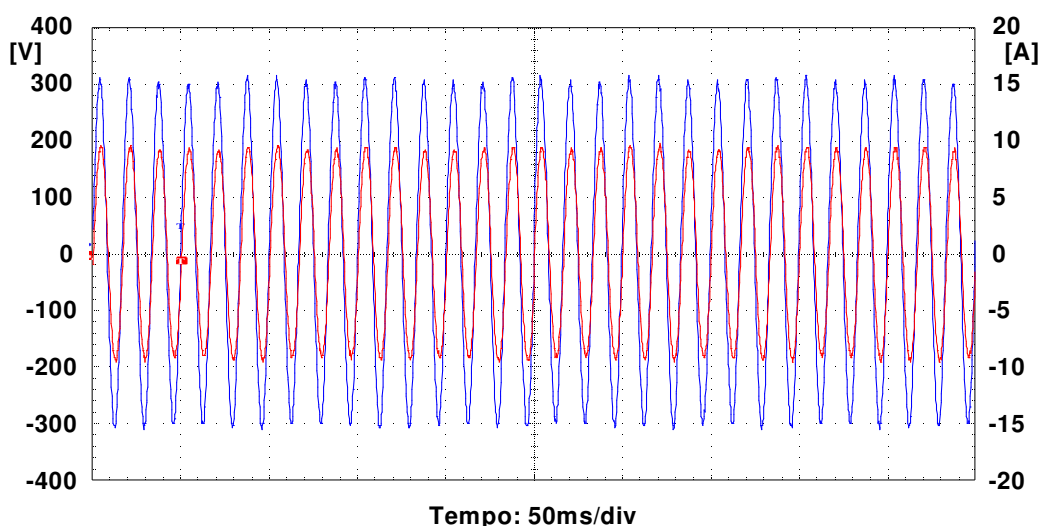


Figura 6.17 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças. Caso 5 - Experimental.

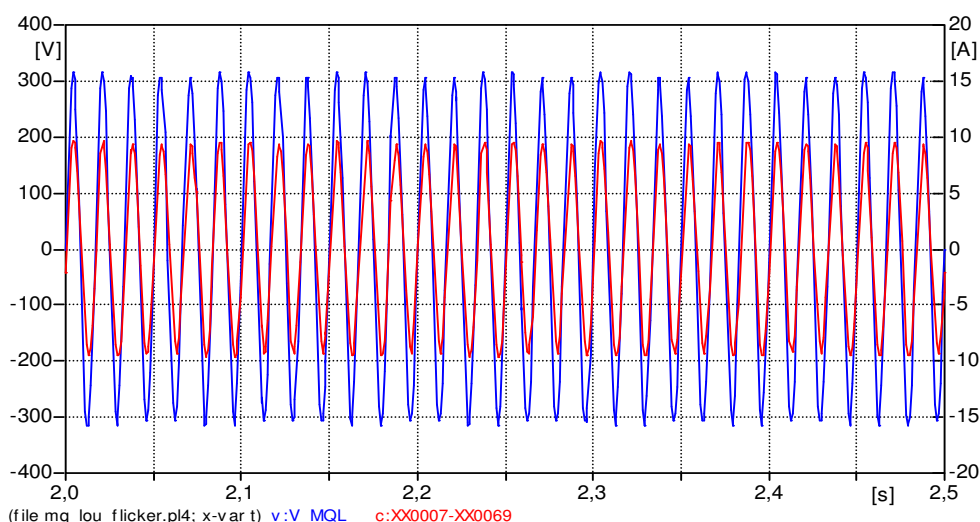


Figura 6.18 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças. Caso 5 - Computacional.

Tabela 6.8 - Comparação entre os resultados experimentais e computacionais para o caso 5 – Flutuação de Tensão.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	9,80 A	9,61 A	1,94 %

6.4.6 Caso 6: Suprimento Contendo Distorção Harmônica de Tensão

As Figuras 6.19 e 6.20 mostram os oscilogramas da tensão aplicada e da corrente total consumida pela carga, para um DHT de 20%, contendo as mesmas componentes individuais já definidas para os demais casos.

As Figuras 6.21 e 6.22 ilustram os espectros harmônicos para os estudos laboratoriais e computacionais, respectivamente. No espectro experimental a componente de 3^a harmônica apresenta uma magnitude bem mais elevada do que a verificada no computacional. Essa diferença de magnitudes deve-se, basicamente, aos efeitos da saturação magnética que não foram inseridos na modelagem proposta. Contudo, as demais componentes apresentam uma boa correlação.

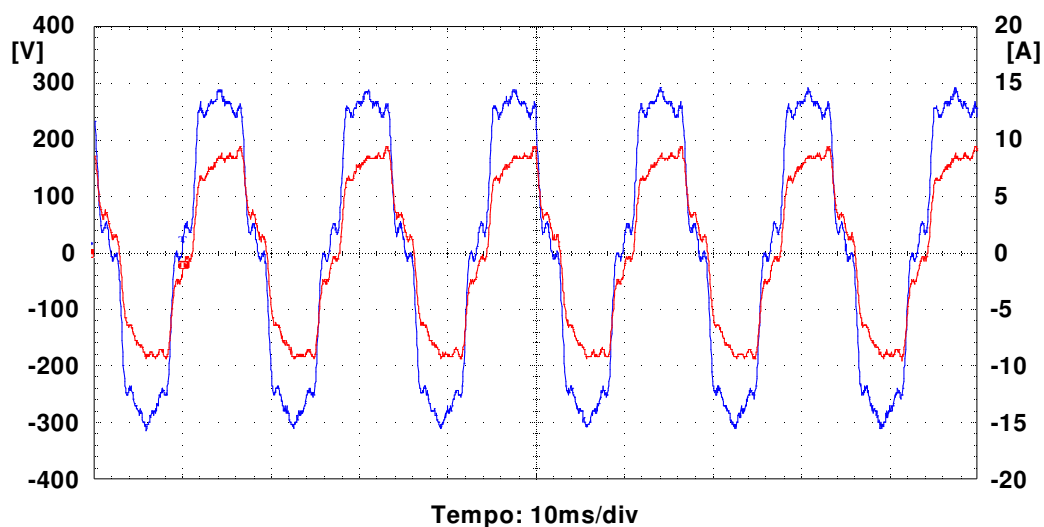


Figura 6.19 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças. Caso 6 - Experimental.

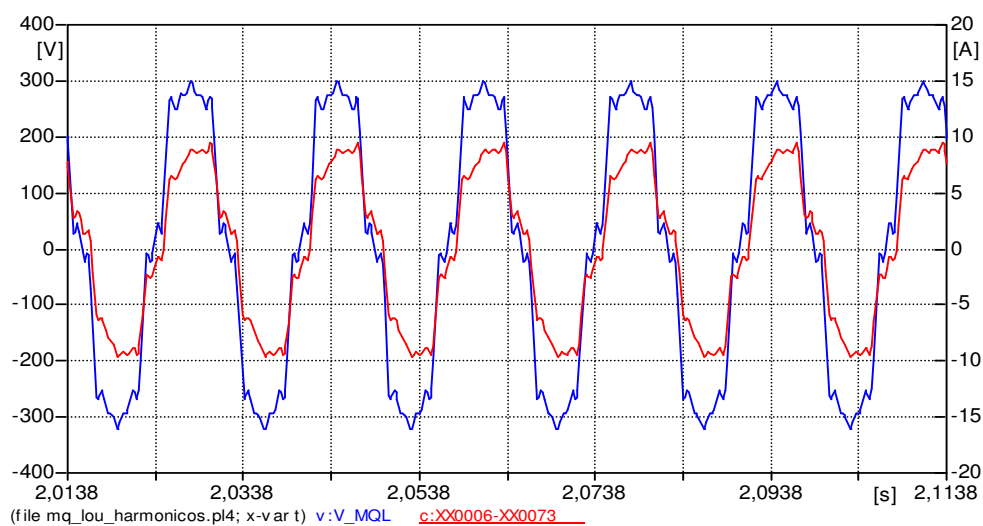


Figura 6.20 - Tensão de alimentação e corrente de entrada da lava louças. Caso 6 - Computacional.

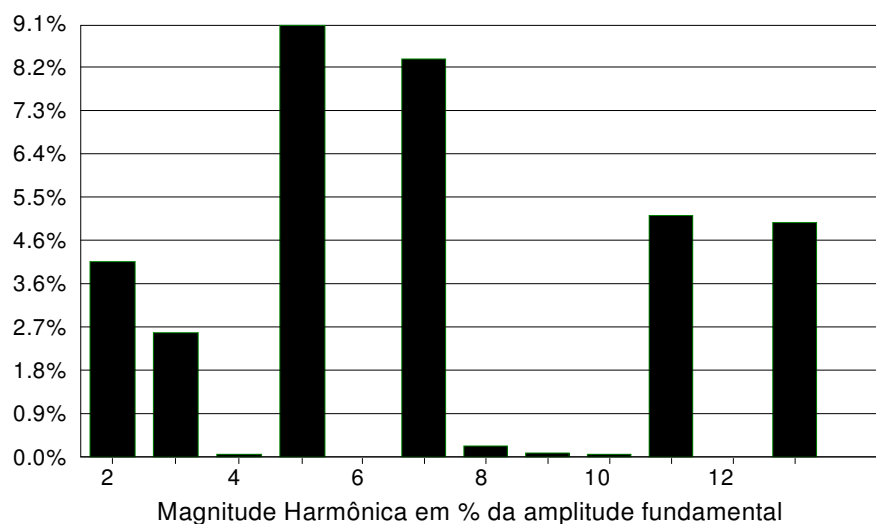


**Figura 6.21 - Espectro harmônico da corrente de entrada do equipamento.
Caso 6 - Experimental.**

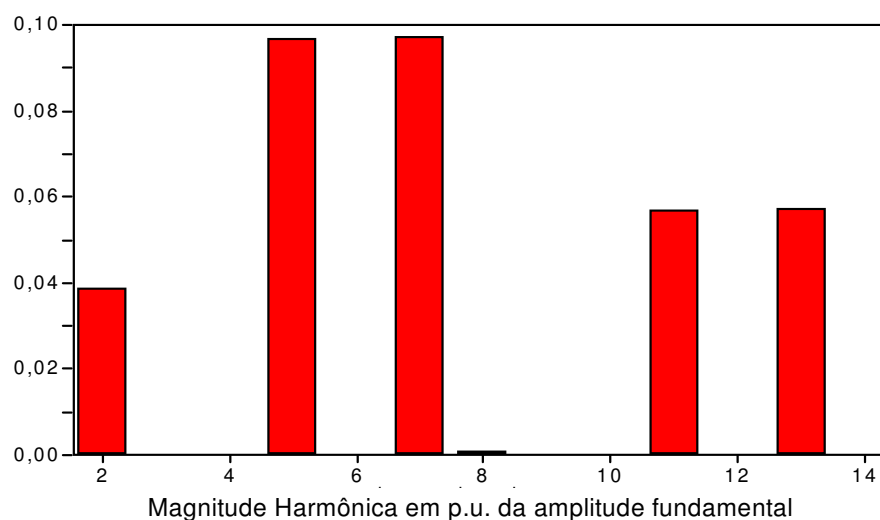


**Figura 6.22 - Espectro harmônico da corrente de entrada do equipamento.
Caso 6 - Computacional.**

A Tabela 6.9 destaca os valores de pico, eficaz e distorção harmônica total de corrente na entrada do equipamento, além dos valores individuais das harmônicas presentes na forma de onda da corrente.

Tabela 6.9 – Comparação das harmônicas entre os resultados experimentais e computacionais para o caso 6.

	EXPERIMENTAL	COMPUTACIONAL	ERRO
Corrente Pico	9,40 A	9,46 A	0,63 %
THDi	15,15 %	16,30 %	7,10 %
Ih fundamental	6,63 A	6,67 A	0,60 %
Ih 2 ^a	0,276 A	0,255 A	7,61 %
Ih 3 ^a	0,177 A	0,002 A	--
Ih 4 ^a	0,006 A	0,002 A	--
Ih 5 ^a	0,604 A	0,643 A	6,07 %
Ih 7 ^a	0,558 A	0,645 A	13,49 %
Ih 9 ^a	0,009 A	0,001 A	--
Ih 11 ^a	0,340 A	0,378 A	10,06 %
Ih 13 ^a	0,330 A	0,380 A	13,16 %

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As investigações realizadas permitem extrair as seguintes observações:

- Uma elevação de tensão aplicada ao equipamento não apresentou nenhum efeito significativo no seu desempenho. Também não se verificou incrementos de correntes em tempo algum durante o distúrbio. Pode-se perceber que a lava louças funciona como uma carga de impedância constante. Isto se deve ao fato do sistema de aquecimento, que basicamente é uma resistência elétrica, constituir-se na principal carga do presente neste equipamento;
- Afundamentos temporários de tensão também não causaram efeitos perceptíveis no funcionamento do equipamento. Com relação à forma de onda da corrente, como verificado no caso da elevação, nenhum incremento foi verificado. Novamente, percebe-se que a lava louças comporta-se como uma carga com impedância constante;

- Interrupções de tensão causaram um desligamento temporário do processo. Passado um tempo de aproximadamente 1,5 segundos o sistema retorna ao seu funcionamento normal. Durante este processo, não se verificou variações apreciáveis nas formas de onda da corrente;
- Flutuações de tensão nos níveis aplicados ao dispositivo em estudo também não produziram anormalidades que pudessem ser percebidas fisicamente. A flutuação de tensão causou uma pequena oscilação na corrente, contudo, os valores de pico destas correntes não foram muito significativos;
- Distorções harmônicas de tensão de 20 % causaram uma distorção em torno de 15 % de distorção harmônica na corrente. A magnitude desse valor e a presença característica de certas ordens harmônicas são características de cargas com alto fator de potência, como o verificado nesse equipamento. Com relação ao funcionamento do equipamento quando da aplicação desses harmônicos, não se verificou qualquer anormalidade no seu funcionamento;
- Novamente, como verificado na máquina de lavar roupa, as seleções das funções de programação são controladas por um circuito eletrônico. Para esse equipamento, segundo assistências técnicas autorizadas, o circuito eletrônico é o principal dispositivo a se danificar no presente produto. No caso computacional, esse circuito eletrônico foi implementado, levando em considerações as principais partes da placa eletrônica real. Não obstante a isto, destaca-se aqui a necessidade de maiores estudos a fim de melhorar o desempenho desta unidade.

Pode-se constatar que em praticamente todos os casos estudados, tanto no processo de lavagem como de centrifugação, verificou-se grande semelhança entre os resultados obtidos pelo método experimental e o computacional, permitindo dessa forma validar o modelo da lava louças implementado computacionalmente.

CAPÍTULO VII

CONCLUSÕES GERAIS

Não obstante a existência de comentários conclusivos ao término de cada um dos capítulos que compreendem esta dissertação, com vistas a oferecer uma visão mais ampla sobre as atividades desenvolvidas, apresenta-se, nesta unidade, uma síntese global das principais constatações e avanços obtidos por este trabalho de pesquisa.

O capítulo I apresentou, em termos gerais, a atualidade e importância do tema “Qualidade da Energia Elétrica”, focado na influência que a mesma tem nas características de operação de diversos equipamentos. Neste sentido, foram apresentados os principais trabalhos que relatam sobre o inter-relacionamento entre os distúrbios da rede elétrica e os impactos sobre os mais distintos equipamentos existentes em redes elétricas residenciais e comerciais e, de forma mais restrita, em algumas instalações industriais. Assim, após detido levantamento bibliográfico, ficou evidenciado o estado da arte sobre os estudos voltados para o desempenho, sensibilidade e suportabilidade de equipamentos. Isto posto, detectou-se as áreas de carência e estabeleceram-se os horizontes da presente dissertação, a qual passou a contemplar cinco tipos de produtos, a saber: refrigeradores domésticos, freezers domésticos, condicionadores de ar, máquinas de lavar roupas e lava louças. Também, a metodologia utilizada para os estudos foi detalhadamente apresentada. Encerrando o capítulo, foram descritas as contribuições deste trabalho e a estrutura completa da dissertação.

O capítulo II concentrou sua atenção, num primeiro momento, na busca de uma estratégia para a modelagem computacional para fins da representação de equipamentos refrigeradores domésticos e respectiva validação através da correlação entre os estudos teóricos e experimentais. Através da realização de ensaios sob distintas condições não ideais de suprimento, o modelo computacional proposto foi validado e os impactos sobre o funcionamento do equipamento foram devidamente verificados. De um modo geral, concluiu-se que os ensaios experimentais e computacionais realizados, sob condições de suprimento ideal e sob a ação de distúrbios, mostraram boa concordância em relação às grandezas observadas, fato este que ratifica o modelo implementado.

Os resultados obtidos tanto pelo método experimental, como pelo computacional, mostraram que o aparelho possui pouca sensibilidade e elevada suportabilidade à maioria dos distúrbios típicos, como: distorções harmônicas, elevações e afundamentos de tensão de curta duração, flutuações de tensão. O dispositivo mostrou-se, ainda, bastante tolerante a interrupções do fornecimento de energia, quando de curta duração. Exemplo da suportabilidade do dispositivo foi à aplicação de uma interrupção, com tensão nula e 7 ciclos de duração, sem que ocorresse o seu desligamento definitivo.

De modo similar ao anterior, o capítulo III enfocou a questão da modelagem computacional para fins da representação de freezers domésticos e respectiva validação através da comparação entre os resultados dos estudos teóricos e experimentais. Através de ensaios laboratoriais, devidamente comparados aos resultados computacionais, o modelo computacional proposto foi validado e os impactos sobre o funcionamento do equipamento devidamente verificados. De um modo geral todos os ensaios realizados conduziram a uma excelente correlação experimental versus computacional, fato este que permitiu validar a proposta de modelagem feita.

Mais uma vez pôde-se constatar uma grande robustez do freezer doméstico frente às condições não-ideais da rede de suprimento, assim como foi

verificado para o refrigerador. Para os distúrbios distorções harmônicas elevações e afundamentos de tensão de curta duração, flutuações de tensão, o equipamento apresentou baixa sensibilidade. Com relação à interrupção do fornecimento, isto é, tensão nula, o equipamento suportou fenômenos de até 25 ciclos, sem que ocorresse o seu desligamento definitivo.

O capítulo IV contemplou, tal como os anteriores, aspectos relacionados com a modelagem computacional. Desta feita, os condicionadores de ar foram alvos das investigações. Estudos de desempenho deste produto à luz de condições de suprimento mostraram, de modo geral, quer pelo método experimental quer pelo computacional, que o aparelho apresentou-se pouco sensível e com elevada suportabilidade à maioria dos distúrbios típicos, sem qualquer alteração funcional significativa. Estudos envolvendo interrupções do fornecimento não foram contemplados para este equipamento devido a limitações de potência impostas pela fonte programável.

O capítulo V foi direcionado à modelagem computacional das máquinas de lavar roupas. Para este produto os estudos experimentais e computacionais compreenderam a aplicação dos distúrbios de qualidade tanto no processo de lavagem como no processo de centrifugação. No processo de lavagem verificou-se uma grande robustez do sistema motriz, que fica constantemente num processo de partida. Para todos os distúrbios aplicados não se constatou nenhuma alteração no processo de lavagem. Para o processo de centrifugação, os distúrbios como distorções harmônicas, elevações de tensão de curta duração e flutuações de tensão não causaram, também, alterações significativas do processo. Contudo, interrupções de tensão, de qualquer tempo de duração, mostraram-se danosas ao equipamento, uma vez que, quando submetido a tais distúrbios, todo o processo é desligado. Passado algum tempo após o desligamento, o processo reinicia-se automaticamente.

É importante salientar que os processos desse equipamento são automatizados por um circuito eletrônico. Sendo este circuito, o principal componente com possibilidade de sofrer danos nas máquinas de lavar roupa.

O capítulo VI contemplou a modelagem computacional do último equipamento abordado nesta dissertação, uma lava louças. A metodologia para tal estudo foi semelhante à empregada para os demais equipamentos. Os resultados obtidos revelaram que os distúrbios como: distorções harmônicas, elevações de tensão de curta duração e flutuações de tensão, não causaram grandes alterações no funcionamento do equipamento. O mesmo não foi verificado para interrupções, com qualquer tempo de evento. Esses distúrbios, assim como verificado na máquina de lavar roupas, causaram um desligamento do processo por certo tempo. Após o qual, o equipamento restabeleceu seu funcionamento normal.

Novamente, como observado para as máquinas de lavar roupas, através de consultas feitas às oficinas de manutenção, constatou-se que a unidade mais vulnerável do produto corresponde a placa eletrônica, responsável pelo processo automático.

Uma observação merecedora de destaque neste momento está associada com o universo de produtos testados, o qual foi bastante restrito. De fato, apenas um tipo de cada produto foi modelado e ensaiado, o que conduz a uma cautela quanto à extensão dos resultados para todas as famílias de produtos similares. Naturalmente, em contraposição a esta ressalva, há de se considerar que as estruturas dos equipamentos analisados obedecem, via de regra, a uma filosofia comum. Isto sugere que os desempenhos obtidos possam ser aplicados a outros equipamentos, porém somente após um expressivo conjunto de ensaios tal assertiva poderá ser aplicada.

Um outro ponto merecedor de destaque está relacionado com o desenvolvimento das modelagens computacionais que foram validadas através de correspondentes ensaios experimentais. Apesar das simplificações impostas

aos modelos teóricos, ficou claro que, para a maioria dos ensaios e testes, as duas estratégias de simulação conduziram a desempenhos que, tanto qualitativa, como quantitativamente, se mostraram muito próximos comprovando, portanto, a fidelidade dos modelos propostos.

Além de nortear trabalhos destinados a subsidiar a análise de ressarcimento de danos por queima de equipamentos da linha branca, este trabalho apresentou, também, um compêndio de informações que podem contribuir como referência para concessionárias de energia, fabricantes e usuários de aparelhos eletroeletrônicos, com esclarecimentos que venham a beneficiar e adequar projetos e estratégias, no intuito de preservar a vida útil e a operação adequada destes equipamentos.

Mesmo diante dos avanços oferecidos por esta dissertação, os desenvolvimentos e discussões feitos ao longo deste trabalho deixaram lacunas a serem preenchidas. Desta forma, como sugestões para pesquisas futuras, podem ser destacadas:

- Aprimoramento do modelo matemático do compressor, de forma a melhor representar o equipamento real, incluindo as suas não linearidades;
- Estudos mais abrangentes envolvendo outros equipamentos similares, de maneira a possibilitar procedimentos estatísticos para a obtenção de curvas de sensibilidade genéricas;
- Investigações mais detalhadas sobre os circuitos eletrônicos dos equipamentos, principalmente, no que diz respeito a sensibilidade e/ou suportabilidade dos componentes eletrônicos empregados em tais circuitos;
- Extensão dos procedimentos para outros tipos de dispositivos residenciais, comerciais e industriais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dugan, Roger C.. et al, “Eletrical Power Systems Quality”, McGraw Hill, 1996.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, “Ressarcimento de Danos em Equipamentos Elétricos Causados por Descargas Atmosféricas e Manobras”, Brasília, março de 2002.
- [3] Cornick, K. J., Li, H. Q., “Power Quality and Voltage Dips: Problem, Requeriments, Responsibilities”, Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management, APSCOM 2000, pp 149 – 156, Hong Kong, Outubro 2000.
- [4] Reid, W. Edward, “Power Quality Issues – Standards Guidelines”, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 32, pp 625 – 632, May/June 1996.
- [5] PQTN Brief 39: “Ride-through Performance of Programmable Logic Controllers”, EPRI Power Eletronics Applications Center, Knoxville, TN, november 1996.
- [6] Smith, J. C., Lamoree, J., Vinett, P., Duffy, T. And Klein, M., “The Impact of Voltage Sags on Industrial Plant Loads”, Int. Conf. Power Quality: End-use applictions and perspectives (PQA-91), pp. 171 – 178.
- [7] IEEE “Recommended for Emergency and Stand-by Power Systems for Industrial and Comercial Applications”, Std. 446 IEEE Orange Book, 1995.
- [8] Ribeiro, T. N., “Uma Discussão dos Critérios e Normas Relativas à Qualidade da Energia Elétrica”, Dissertação de Mestrado, PUC, Belo Horizonte – MG, agosto, 1998.
- [9] Sekine, Y., Yamonoto, T., Mori, S., Saito, N., Kurokawa, H., “Present State of Momentary Voltage Dip Interferences and the Countermeasure in Japan”.Inc. Conf. On Large Eletric Networks (CIGRE), 34th Session 1992, Paris, France.

- [10] Anderson, Lisa M., Northeast Utilities, and Bowes, Kenth B., “The Effects of Power Line Disturbances on Consumer Eletronic Equipment”, IEEE Transation on Power Delivery, vol. 5, pp. 1062 – 1065, Apr. 1990.
- [11] Smith, Sthephen B. And Standler, Ronald B., “The Effects of Surges on Electronic Appliances”, IEEE Transaction on Power Delivery, vol. 7, pp. 1275 – 1282, Jul. 1992.
- [12] Arseneau, R., Ouellette, M., The Effects of Supply Harmonics on the Performance of Compact Fluorescent Lamps”, IEEE Transation on Power Delivery, vol. 8, pp. 473 – 479, Apr. 1993.
- [13] Fuchs, E. F., Roesler, D. J. and Kovacs, K. P., Sensibility of Eletrical Appliances to Harmonics and Fractional harmonics of the Power Systems Voltage. Part: Television sets, Induction Wathour and Universal Machines”, IEEE Transation on Power Delivery, vol. PWRD-2,, pp. 1275 – 1282, Apr. 1987.
- [14] Santos, A. C. D., “Desempenho de Fontes Lineares e Chaveadas no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, Uberlândia – MG, UFU, Dissertação de Mestrado – Setembro, 2001.
- [15] Carvalho, C. B., “Desempenho de Aparelho Condicionador de Ar no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, Uberlândia – MG, UFU, Dissertação de Mestrado, Julho, 2002..
- [16] Azevedo, A. C., “Desempenho de Refrigeradores Domésticos no Contexto da Qualidade da Energia Elétrica”, Uberlândia – MG, UFU, Dissertação de Mestrado – Julho, 2002.
- [17] Magalhães, R. N. “Controlador Lógico Programável no Contexto da Qualidade da Energia”, Uberlândia – MG, UFU, Dissertação de Mestrado – Julho, 2003.
- [18] Tavares, C. E. “Modelagem e Análise de Desempenho de Equipamentos Eletroeletrônicos Diante de Distúrbios de Qualidade da Energia”, Uberlândia – MG, UFU, Dissertação de Mestrado – Maio, 2004.

- [19] A. L. S. Pacheco, “Desenvolvimento de Sistema para Medir a Resistência de Enrolamento em Motores de Compressores Energizados”, Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis - SC, 2007.
- [20] D. W. M. Carmeis, “Os Efeitos da Diversidade de Tensões de Distribuição no Setor Elétrico Brasileiro. Estudo de Caso do Refrigerador Doméstico”, Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas - SP, 2002.
- [21] ASHRAE, “Refrigeration Handbook”, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, 1998.
- [22] Krause, P. C. “Simulation of Unsymmetrical 2-Phase Induction Machines”, IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. Pas-84, No. 11, pp. 1025-1037, September, 1965.
- [23] Sen, P. C., “Principles of Electrical Machines and Power Electronics”, Editora John Wiley & Sons.
- [24] Toro, V. D., “Fundamentos de Máquinas Elétricas”, Editora Prentice Hall do Brasil.
- [25] Fitzgerald, A. E., Kingsley, Jr, Kusko, Alexander, “Máquinas Elétricas, Conversão Eletromecânica de Energia”.
- [26] IEC Std. 6100-4-11, Eletromagnetic Compatibility (EMC), part 4-11: Testing and Measurement Techniques – Voltage dips, short interruptions and voltage immunity tests, Edition 1.1, 2001-03.
- [27] Needham, Joseph (1986). Science and Civilization: Volume 4, Physics and Physical Technology, Part 2, Mechanical Engineering. Taipei: Caves Books Ltd. Pages 99, 151, 233.
- [28] Mario Theriault, Great Maritime Inventions 1833-1950, Goose Lane, 2001, p. 28.
- [29] "Electric Washing Machine the Latest. Housewives can do Washing in one-third the Time," Des Moines Daily Capitol, November 12, 1904, p. 13.

- [30] William Howard Livens (23/10/1924). Improvements in apparatus for washing household crockery and the like. FR579765. UK Intellectual Property Office.
- [31] K. Makowski, “Determination of Performance Characteristics of a Single-Phase Shaded Pole Induction Motor by Circuit-Field Method”, Institute of Electrical Machines, Drives and Measurements, Wroclaw University of Technology, 50-372 Wroclaw 51, Poland, 2002.
- [32] Manuais da Empresa Tecumseh do Brasil, São Carlos – SP, disponível em www.tecumseh.com.br.
- [33] Manuais da Empresa Embraco, Joinville – SC, disponível em www.embraco.com.br.
- [34] Manuais da Empresa WEG, disponível em www.weg.net/br.
- [35] Manuais da Empresa Metal Corte, disponível em: www.metalcorte.com.br/portal/manager/ba/arquivos/microacionamentosPOR.pdf.
- [36] Site Carrier, disponível em www.springer.com.br.
- [37] Site da Copel, disponível em: www.copelconforto.com/climatizacao

ANEXOS

ANEXO A

Template do Refrigerador Doméstico

BEGIN NEW DATA CASE

C -----

C Generated by ATPDRAW outubro, quinta-feira 23, 2008

C A Bonneville Power Administration program

C Programmed by H. K. Høidalen at SEfAS - NORWAY 1994-2003

C -----

C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >

1.E-6 .001

500 1 1 1 1 0 0 1 0

MODELS

/MODELS

INPUT

MM0001 {v(XX0010)}

OUTPUT

XX0008

XX0031

MODEL REFRIG

COMMENT

#####

#

REFRIG - REFRIGERADOR DOMÉSTICO

Eng. IVANDRO ANTONIO BACCA - UBERLÂNDIA, JUNHO DE 2008

#

Este modelo representa o equivalente elétrico de um refrigerador doméstico

que utiliza um motor de indução monofásico com relé PTC (PTCSIR). O modelo

desse motor foi concebido com base no modelo desenvolvido por Ana Cláudia

de Azevedo na dissertação "Desempenho de Refrigeradores no contexto da

qualidade da energia elétrica", UFU-julho 2002.

#

#####

ENDCOMMENT

INPUT

vinp -- tensão eficaz aplicada ao motor, [V];

OUTPUT

fcem -- força contra-eletromotriz do motor, [V];

rprot -- sinal do relé de proteção geral;

DATA

----- parâmetros do motor -----

```

Pnom {dflt:0.12} -- potência nominal do motor,[cv];
rsa  {dflt:4.07} -- resist. enrolamento principal do estator,[Ohm];
xsa  {dflt:5.517} -- reat. enrolamento principal do estator,[Ohm];
rsb  {dflt:6.64} -- resist. enrolamento auxiliar do estator,[Ohm];
xsb  {dflt:3.52} -- reat. enrolamento auxiliar do estator,[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:0.0006} -- momento de inércia do motor,[kg*m^2];
np   {dflt:2}    -- número de pólos do motor;
k0   {dflt:3}    -- perdas rot.,[%];

```

----- parâmetros da carga -----

```

Pc    {dflt:0.12} -- Potência nominal da carga, [cv];
x0    {dflt:0}    -- conj. carga constante, [%];
x1    {dflt:0.0065} -- conj. carga varia linearmente com a veloc.,[%];
x2    {dflt:0}    -- conj. carga varia com o quadrado da veloc.,[%];

```

CONST

```

freq {VAL:60} -- frequência nominal do motor,[Hz];

```

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 aplicada ao motor, [V];
vrms     -- tensão rms, [V];
fcem     -- força contra-eletromotriz do 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;
period   -- período;
--%%%%%%%%# relé térmico
rprot    -- relé de proteção total do compressor;
t1       -- tempo inicia da interrupção;
t2       -- tempo final da interrupção;
t3       -- diferença entre os tempos t1 e t2;
t4       -- tempo de atuação do relé geral;
--%%%%%%%%# relé PTC
ptc      -- função que representa variação da condutância do relé;
ptc1     -- parte 1ª da função ptc;
ptc2     -- parte 2ª da função ptc;

----- variáveis da carga -----

conj_carga -- conjugado nominal da carga, [Nm];
nn         -- velocidade nominal da carga, [rad/s];
Tnom       -- variável auxiliar do conjugado nominal carga;

```

```

-----
----- variáveis 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;
e1          -- força contra-eletromotriz;
v2          -- tensão ao quadrado;
iv2         -- integral da tensão ao quadrado;
K1          -- const. representa a atuação da proteção geral;
k2          -- const. representa a partida do motor;
k3          -- const. representa equalização prévia das pressões;
jmc         -- const. representa momento de inércia fictício conjunto;
TIMESTEP min:1E-5
DELAY CELLS(iv2):1/freq/timestep+ 1
INIT
  t1:=0
  t2:=0
  t3:=0
  t4:=0
  isa:=0
  isb:=0
  ira:=0
  irb:=0
  teta:=0
  n_rpm:=0
  t_ptc:=0
  itotal:=0
  vel_eletr:=0
  vel_motor:=0
  histdef(e1):=0
  histdef(c1):=0
  histdef(c2):=0
  histdef(iv2):=0
  histdef(isa):=0
  histdef(isb):=0
  histdef(ira):=0
  histdef(irb):=0
  histdef(fcem):=0
  histdef(teta):=0
  histdef(Crot):=0
  histdef(lsarA):=0
  histdef(lsarB):=0
  histdef(lsbrA):=0
  histdef(lsbrB):=0

```

```

histdef(lrAsa):=0
histdef(lrAsb):=0
histdef(lrBsa):=0
histdef(lrBsb):=0
histdef(dteta):=0
histdef(n_rpm):=0
histdef(itotal):=0
histdef(flux_a):=0
histdef(flux_b):=0
histdef(flux_ra):=0
histdef(flux_rb):=0
histdef(dflux_a):=0
histdef(dflux_b):=0
histdef(dflux_ra):=0
histdef(dflux_rb):=0
histdef(vel_motor):=0
histdef(conj_eixo):=0
histdef(vel_eletr):=0
histdef(conj_elmag):=0
histdef(dvel_motor):=0
histdef(conj_carga):=0
histdef(integral(v2)):=0
histdef(integral(dteta)):=0
histdef(integral(dvel_motor)):=0
period:=recip(freq)
ENDINIT
EXEC
-----
----- equacionamento da carga -----
-----
ns:=(120*freq)/np
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 -----
-----
n_motor:=(4*pi*freq)/np
krot:=((k0/100)*Pnom*736)/(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
v2:=v*v
iv2:=integral(v2)
vrms:=sqrt((iv2-delay(iv2,period))/period)
-----
----- relé de proteção geral -----
-----
IF vrms = 0 THEN
    t1:=t
ENDIF
t1:=t1
IF vrms <> 0 AND t1 <= 0.1 THEN
    t2:=t
ENDIF
t2:=t2
IF t > t1 AND t1 >= 0.1 THEN
    t3:=t1-t2
ENDIF
t3:=t3
IF t3 > 0.155 THEN
    k1:=1
    t4:=t4+timestep
ELSE
    k1:=0
ENDIF
IF t4 >= 16 AND k1 = 1 THEN
    rprot:=0
ELSE
    rprot:=1
ENDIF
-----
----- 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}
IF ptc > 0.1 THEN
    k2:=0.0006
ELSE
    k2:=0
ENDIF

```

```

----- variação da equalização das pressões -----
-----
IF ptc <= 0.1 AND t3 > 0 AND t3 <= 0.0334 THEN
    k3:=0.0001
ELSIF ptc <= 0.1 AND t3 > 0.0334 AND t3 <= 0.0667 THEN
    k3:=0.0003
ELSIF ptc <= 0.1 AND t3 > 0.0667 AND t3 <= 0.1000 THEN
    k3:=0.0005
ELSIF ptc <= 0.1 AND t3 > 0.1000 AND t3 <= 0.1334 THEN
    k3:=0.0007
ELSIF ptc <= 0.1 AND t3 > 0.1334 AND t3 <= 0.1667 THEN
    k3:=0.0009
ELSE
    k3:=0
ENDIF
jmc:=jm+k1+k2+k3
-----
----- Iteração para a obtenção dos parâmetros do motor -----
----- Método de Newton - Raphson -----
-----
COMBINE ITERATE 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/(jmc))*(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

-----
----- força contra-eletromotriz -----
-----

e1:=v-(1000*itotal)
fcem:=predval(e1,t+ timestep)
ENDEXEC
ENDMODEL
RECORD
REFRIG.conj_elmag      AS    c_elmg
REFRIG.conj_carga      AS    c_carg
REFRIG.conj_eixo       AS    c_eixo
REFRIG.vel_motor       AS    v_mot
REFRIG.n_rpm           AS    n_rpm
USE REFRIG AS REFRIG
INPUT
vinp:= MM0001
DATA
Pnom:= 0.12
rsa:= 4.07
xsa:= 5.517
rsb:= 6.64

```

```

xsb:= 3.52
rr:= 4.07
xr:= 5.517
xm:= 200.
jm:= 6.E-4
np:= 2.
k0:= 3.
Pc:= 0.12
x0:= 0.0
x1:= 0.0065
x2:= 0.0
OUTPUT
XX0008:=fcem
XX0031:=rprot
ENDUSE
ENDMODELS
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C
34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567
890
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
XX0008 1.E20 0
XX0011XX0008 1.E3 0
TRANSFORMER TX0001 1.E7 0
9999
1XX0039XX0041 1.E-8 1.E-8 1.
2XX0035 1.E-8 1.E-8 1.
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< Ie ><Vf/CLOP>< type >
XX0010XX0011 MEASURING 0
13XX0035XX0010 XX0031 0
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
60XX0008 0 10.
/OUTPUT
XX0035
BLANK MODELS
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

ANEXO B

Template do Freezer Doméstico

BEGIN NEW DATA CASE

C -----

C Generated by ATPDRAW outubro, quinta-feira 23, 2008

C A Bonneville Power Administration program

C Programmed by H. K. Høidalen at SEfAS - NORWAY 1994-2003

C -----

C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >

1.E-6 .001

500 1 1 1 1 0 0 1 0

MODELS

/MODELS

INPUT

MM0001 {v(XX0010)}

OUTPUT

XX0008

XX0031

MODEL FREEZER

COMMENT

#####

#

#

FREEZER - FREEZER DOMÉSTICO

Eng. IVANDRO ANTONIO BACCA - UBERLÂNDIA, JUNHO DE 2008

#

#

Este modelo representa o equivalente elétrico de um freezer doméstico

que utiliza um motor de indução monofásico com relé de corrente (RSIR).

O modelo desse motor foi concebido com base no modelo desenvolvido por

Ana Cláudia de Azevedo na dissertação "Desempenho de refrigeradores no

contexto da qualidade da energia elétrica",UFU-julho 2002.

#

#

#####

ENDCOMMENT

INPUT

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

OUTPUT

fcem -- força contra-eletromotriz do motor, [V];

rprot -- sinal do relé de proteção geral;

DATA

----- parâmetros do motor -----

Pnom {dflt:0.203} -- potência nominal do motor, [cv];

rsa {dflt:10.7} -- resist. enrolamento principal do estator,[Ohm];

xsa {dflt:11.5} -- reat. enrolamento principal do estator,[Ohm];

rsb {dflt:32} -- resist. enrolamento auxiliar do estator,[Ohm];

```

xsb    {dflt:23}    -- reat. enrolamento auxiliar do estator,[Ohm];
rr      {dflt:10.6}  -- resistência do rotor, por fase, [Ohm];
xr      {dflt:11.5}  -- reatância do rotor, por fase, [Ohm];
xm      {dflt:420}   -- reatância de magnetização, [Ohm];
jm      {dflt:0.001} -- momento de inércia do motor, [kg*m^2];
np      {dflt:2}     -- número de pólos do motor
k0      {dflt:3}     -- perdas rot., [%];

-----
----- parâmetros da carga -----
-----
Pc      {dflt:0.203} -- Potência nominal da carga, [cv];
x0      {dflt:0}     -- conj. carga constante, [%];
x1      {dflt:0.0059} -- conj. carga varia linearmente com a veloc.,[%];
x2      {dflt:0}     -- conj. carga varia com o quadrado da veloc.,[%];
CONST
freq    {VAL:60}     -- frequência nominal do motor,[Hz];
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];
irms      -- corrente eficaz verdadeira da corrente total,[A];
--%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%-- # tensões
v         -- tensão eficaz fase-fase aplicada ao motor, [V];

```

```

vrms          -- tensão rms, [V];
fcem          -- força contra-eletromotriz do 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];
jmc           -- momento de inércia total do conjunto, [kgm^2];
--%%%%%%%%# 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
period        -- período, [s];
--%%%%%%%%# relé térmico
rprot         -- relé de proteção total do compressor;
t1            -- tempo inicia da interrupção;
t2            -- tempo final da interrupção;
t3            -- diferença entre os tempos t1 e t2;
t4            -- tempo de atuação do relé geral;
--%%%%%%%%# relé de partida
sw            -- relé de corrente;

-----
----- 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;
jc            -- momento de inércia da carga, [kgm^2];
-----
----- variáveis auxiliares -----
-----
c1            -- parcela do conjUgado eletromagnético;
c2            -- parcela do conjugado eletromagnético;
v2            -- tensão ao quadrado;
iv2           -- integral da tensão ao quadrado;
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;
e1            -- força contra-eletromotriz;
K1            -- const. representa atuação da proteção geral;
k2            -- const. representa partida do motor;
k3            -- const. representa equalização prévia das pressões;
i2            -- quadrado das correntes;
ii2           -- integral do quadrado das correntes;
TIMESTEP min:1E-5
DELAY CELLS(ii2):1/freq/timestep+ 1
      CELLS(iv2):1/freq/timestep+ 1
INIT
  t1:=0
  t2:=0
  t3:=0
  t4:=0
  sw:=0
  isa:=0
  isb:=0
  ira:=0
  irb:=0
  teta:=0
  n_rpm:=0
  itotal:=0
  vel_eletr:=0
  vel_motor:=0
  histdef(e1):=0
  histdef(c1):=0
  histdef(c2):=0
  histdef(isa):=0
  histdef(isb):=0
  histdef(ira):=0
  histdef(irb):=0
  histdef(iv2):=0
  histdef(ii2):=0
  histdef(fcem):=0
  histdef(teta):=0
  histdef(Crot):=0
  histdef(lsarA):=0
  histdef(lsarB):=0
  histdef(lsbrA):=0
  histdef(lsbrB):=0
  histdef(lrAsa):=0
  histdef(lrAsb):=0
  histdef(lrBsa):=0
  histdef(lrBsb):=0
  histdef(dteta):=0
  histdef(n_rpm):=0
  histdef(itotal):=0

```

```

histdef(flux_a):=0
histdef(flux_b):=0
histdef(flux_ra):=0
histdef(flux_rb):=0
histdef(dflux_a):=0
histdef(dflux_b):=0
histdef(dflux_ra):=0
histdef(dflux_rb):=0
histdef(vel_motor):=0
histdef(conj_eixo):=0
histdef(vel_eletr):=0
histdef(conj_elmag):=0
histdef(dvel_motor):=0
histdef(conj_carga):=0
histdef(integral(i2)):=0
histdef(integral(v2)):=0
histdef(integral(dteta)):=0
histdef(integral(dvel_motor)):=0
period:=recip(freq)
ENDINIT
EXEC
----- equacionamento do motor - parâmetros constantes -----
ns:=(120*freq)/np
n_motor:=(4*pi*freq)/np
krot:=((k0/100)*Pnom*736)/(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
----- 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 -----
----- Tensão nominal aplicada ao motor -----
v:=vinp
v2:=v*v
iv2:=integral(v2)
vrms:=sqrt((iv2-delay(iv2,period))/period)
----- relé de proteção geral -----
IF vrms = 0 THEN
    t1:=t
ENDIF
t1:=t1
IF vrms <> 0 AND t1 <= 0.1 THEN
    t2:=t
ENDIF
t2:=t2
IF t > t1 AND t1 >= 0.1 THEN
    t3:=t1-t2
ENDIF
t3:=t3
IF t3 > 0.405 THEN
    k1:=1
    t4:=t4+imestep
ELSE
    k1:=0
ENDIF
IF t4 >= 5 AND k1 = 1 THEN
    rprot:=0
ELSE
    rprot:=1
ENDIF
----- relé de partida do enrolamento auxiliar -----
i2:=isa*isa
ii2:=integral(i2)
irms:=sqrt((ii2-delay(ii2,period))/period)
IF irms >= 6.7 THEN
    sw:=1
ENDIF
sw:=sw
IF irms <= 6.3 THEN
    sw:=0
ENDIF
sw:=sw

```

```

----- variação da equalização das pressões -----
-----
IF sw = 1 AND t <= 0.45 THEN
    k2:=0.00285
ELSE
    k2:=0
ENDIF
IF sw = 1 AND t3 >= 0.00001 AND t3 < 0.1667 THEN
    k3:=0.0
ELSIF sw = 1 AND t3 >= 0.1667 AND t3 < 0.2505 THEN
    k3:=0.00095
ELSIF sw = 1 AND t3 >= 0.2500 THEN
    k3:=0.001
ELSE
    k3:=0
ENDIF
jmc:=jm+k1+k2+K3
-----
----- Iteração para a obtenção dos parâmetros do motor --
----- Métdod de Newotn - 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/(jmc))*(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)*sw)
        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:=lrArA*ira+lrAsb*isb+lrAsa*isa
        flux_rb:=lrBrB*irb+lrBsb*isb+lrBsa*isa
        ENDCOMBINE

-----
----- força contra-eletromotriz -----
-----

        e1:=v-(1000*itotal)
        fcem:=predval(e1,t+timstep)
    ENDEXEC
ENDMODEL
RECORD
    FREEZER.conj_elmag      AS    c_elmg
    FREEZER.conj_carga      AS    c_carg
    FREEZER.conj_eixo       AS    c_eixo
    FREEZER.vel_motor       AS    v_mot
    FREEZER.n_rpm           AS    n_rpm
USE FREEZER AS FREEZER
INPUT
    vinp:= MM0001
DATA
    Pnom:= 0.203
    rsa:= 10.7
    xsa:= 11.5

```

```

rsb:= 32.
xsb:= 23.
rr:= 10.6
xr:= 11.5
xm:= 420.
jm:= 0.001
np:= 2.
k0:= 3.
Pc:= 0.203
x0:= 0.0
x1:= 0.0059
x2:= 0.0
OUTPUT
XX0008:=fcem
XX0031:=rprot
ENDUSE
ENDMODELS
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C
34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567
890
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
XX0008 1.E20 0
XX0011XX0008 1.E3 0
TRANSFORMER TX0001 1.E7 0
9999
1XX0039XX0041 1.E-8 1.E-8 1.
2XX0035 1.E-8 1.E-8 1.
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< Ie ><Vf/CLOP>< type >
XX0010XX0011 MEASURING 0
13XX0035XX0010 XX0031 0
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
60XX0008 0 10.
/OUTPUT
XX0035
BLANK MODELS
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

ANEXO C

Template do Condicionador de Ar

BEGIN NEW DATA CASE

C -----

C Generated by ATPDRAW outubro, quinta-feira 23, 2008

C A Bonneville Power Administration program

C Programmed by H. K. Høidalen at SEfAS - NORWAY 1994-2003

C -----

C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >

1.E-6 .001

500 1 1 1 1 0 0 1 0

MODELS

/MODELS

INPUT

MM0001 {v(XX0019)}

OUTPUT

XX0012

MODEL COND_AR

COMMENT

#####

#

COND_AR - CONDICIONADOR DE AR

Eng. IVANDRO ANTONIO BACCA - UBERLÂNDIA, JUNHO DE 2008

#

Este modelo representa o equivalente elétrico de um condicionador de ar

que utiliza um motor de indução monofásico com capacitor permanente e

capacitor de partida (CSR). O modelo desse motor de indução monofásico

foi concebido com base no modelo desenvolvido Bismark Castilho Carvalho

na dissertação "Desempenho de aparelho condicionador de ar no contexto

da qualidade da energia elétrica", UFU-julho 2002.

#

#####

ENDCOMMENT

INPUT

vinp -- tensão fase-fase aplicada ao motor [V]

OUTPUT

fcem -- força contra-eletromotriz, [V];

DATA

----- parâmetros do motor -----

Pnom {dflt:1.23} -- potência nominal do motor, [cv];

rsa {dflt:3.86} -- resist. enrolamento principal do estator,[Ohm];

xsa {dflt:5.86} -- reat. enrolamento principal do estator,[Ohm];

rsb {dflt:11.49} -- resist. enrolamento auxiliar do estator,[Ohm];

xsb {dflt:9.49} -- reat. enrolamento auxiliar do estator,[Ohm];

```

rr      {dflt:3.86}    -- resistência do rotor, por fase, [Ohm];
xr      {dflt:4.5}     -- reatância do rotor, por fase, [Ohm];
xm      {dflt:92}      -- reatância de magnetização, [Ohms];
jmc     {dflt:0.00095} -- momento de inércia do motor + carga, [kg.m^2];
np      {dflt:2}       -- número de pólos do motor;
k0      {dflt:3}       -- perdas rot., [%];
ccap    {dflt:23}      -- capacitor permanente, [uF];

-----
----- parâmetros da carga -----
-----
Pc      {dflt:1.23}    -- Potência nominal da carga, [cv];
x0      {dflt:0}       -- conj. carga constante,;
x1      {dflt:0.0053}  -- conj. carga varia linearmente com a veloc.;
x2      {dflt:0}       -- conj. carga varia com o quadrado da veloc.;
CONST
freq    {VAL:60}       -- frequência nominal do motor,[Hz];
cap_e   {VAL:20E-6}    -- capacitor de partida, [F];
VAR
-----
----- variáveis do motor -----
-----
--%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%-- # impedâncias
lsa      -- indut. dispersão do enrol. principal do estator;
lsb      -- indut. dispersão do enrol. auxiliar do estator;
lr       -- indut. dispersão do rotor;
m        -- indut. mútua máxima entre estator e rotor;
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 fase-fase aplicada ao motor, [V];
vcap       -- tensão aplicada no capacitor, [V];
fcem       -- força contra-eletromotriz, [V];
--% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %-- # conjugados
conj_elmag -- conjugado eletromagnético, [Nm];
conj_carga -- conjugado da carga, [Nm];
conj_eixo  -- conjugado do eixo, [Nm];
--% % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % % %-- # velocidades
ws         -- velocidade síncrona, [rad/s];
n_motor    -- rotação nominal do motor, [rad/s];
teta       -- âng. 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      -- rotação nominal do motor, [rpm];
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];

-----
----- variáveis da carga -----
-----

conj_carga -- conjugado nominal da carga, [Nm];
Tnom       -- variável auxiliar do conjugado nominal da carga;
nn         -- velocidade nominal da carga, [rad/s];

-----
----- variáveis auxiliares -----
-----

el         -- variável auxiliar da força contra-eletromotriz;
c1         -- variáveis auxiliares do conj. eletromagnético;
c2         -- variáveis auxiliares do conj. eletromagnético;
iisb       -- integral da corrente isb
dteta      -- derivada do ângulo elétrico
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 veloc. do motor;
vrms       -- tensão rms, [V];
v2         -- tensão ao quadrado;
iv2        -- integral do quadrado da tensão;
period     -- período;
vref       -- tensão de referência do relé voltimétrico;
vref_rms   -- tensão eficaz de referência;
icap_e     -- corrente do capacitor eletrolítico;
```

```
icap_p      -- corrente do capacitor de poliester;
vcap_p      -- tensão do capacitor de poliester;
ch          -- chave do relé voltimétrico.
TIMESTEP MIN:1E-5
DELAY CELLS(iv2):1/freq/timestep+ 1
INIT
  ch:=0
  isa:=0
  isb:=0
  ira:=0
  irb:=0
  vref:=0
  teta:=0
  icap_e:=0
  icap_p:=0
  flux_a:=0
  flux_b:=0
  flux_ra:=0
  flux_rb:=0
  dflux_a:=0
  dflux_b:=0
  dflux_ra:=0
  dflux_rb:=0
  vel_eletr:=0
  vel_motor:=0
  histdef(v):=0
  histdef(c1):=0
  histdef(c2):=0
  histdef(e1):=0
  integral(v2):=0
  histdef(iv2):=0
  histdef(isa):=0
  histdef(isb):=0
  histdef(ira):=0
  histdef(irb):=0
  histdef(iisb):=0
  histdef(fcem):=0
  histdef(teta):=0
  histdef(Crot):=0
  histdef(vref):=0
  histdef(vcap):=0
  histdef(lsarA):=0
  histdef(lsarB):=0
  histdef(lsbrA):=0
  histdef(lsbrB):=0
  histdef(lrAsa):=0
  histdef(lrAsb):=0
  histdef(lrBsa):=0
  histdef(lrBsb):=0
  histdef(dteta):=0
```

```

histdef(n_rpm):=0
histdef(itotal):=0
histdef(flux_a):=0
histdef(flux_b):=0
histdef(icap_p):=0
histdef(icap_e):=0
histdef(flux_ra):=0
histdef(flux_rb):=0
histdef(dflux_a):=0
histdef(dflux_b):=0
histdef(dflux_ra):=0
histdef(dflux_rb):=0
histdef(conj_eixo):=0
histdef(vel_eletr):=0
histdef(vel_motor):=0
histdef(conj_carga):=0
histdef(conj_elmag):=0
histdef(dvel_motor):=0
histdef(integral(v2)):=0
histdef(integral(dteta)):=0
histdef(integral(icap_p)):=0
histdef(integral(dvel_motor)):=0
period:=recip(freq)
ENDINIT
EXEC
-----
----- relé voltimétrico -----
-----
v2:=vref*vref
iv2:=integral(v2)
vref_rms:=sqrt((iv2-delay(iv2,period))/period)
IF vref_rms >= 168 THEN
    ch:=1
ENDIF
ch:=ch
IF vref_rms <= 65 THEN
    ch:=0
ENDIF
ch:=ch
-----
----- equacionamento do motor - parâmetros constantes -----
-----
ns:=(120*freq)/np
n_motor:=(2*pi*((120*freq)/np))/60
krot:=((k0/100)*Pnom*736)/(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

```

```

----- 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 -----

```

```

----- Tensão nominal aplicada ao motor -----

```

```

v:=vinp

```

```

----- Iteração para a obtenção dos parâmetros do motor --
----- Métdod de Newton - Raphson -----

```

```

COMBINE ITERATE 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/(jmc))*(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
-----
----- tensão no capacitor -----
-----
vcap:=((1/(ccap*1E-6))*(iisb))
vref:=itotal*15
icap_e:=cap_e*deriv(vref)*ch
icap_p:=isb-icap_e
iisb:=integral(icap_p)
-----
----- Correntes do estator -----
-----
isa:=((v-(dflux_a))/rsa)+0.5*sin(2*pi*2.4*t)
isb:=((v-(vcap+dflux_b))/rsb)
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
-----
----- força contra-eletromotriz -----
-----
e1:=v-(1000*itotal)
fcem:=predval(e1,t+ timestep)
ENDEXEC
ENDMODEL

```

RECORD

COND_AR.conj_elmag	AS	c_elmg
COND_AR.conj_eixo	AS	c_eixo
COND_AR.conj_carga	AS	c_carg
COND_AR.vel_motor	AS	v_mot
COND_AR.n_rpm	AS	n_rpm

USE COND_AR AS COND_AR

INPUT

vinp:= MM0001

DATA

Pnom:= 1.23
 rsa:= 3.86
 xsa:= 5.86
 rsb:= 11.49
 xsb:= 9.49
 rr:= 3.86
 xr:= 4.5
 xm:= 92.
 jmc:= 9.5E-4
 np:= 2.
 k0:= 3.
 ccap:= 23.
 Pc:= 1.23
 x0:= 0.0
 x1:= 0.0053
 x2:= 0.0

OUTPUT

XX0012:=fcem

ENDUSE

ENDMODELS

C 1 2 3 4 5 6 7 8

C

34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567890
890

/BRANCH

C < n 1 > < n 2 > < ref1 > < ref2 > < R > < L > < C >

C < n 1 > < n 2 > < ref1 > < ref2 > < R > < A > < B > < Leng > < > < > 0

TRANSFORMER TX0001 1.E7 0
9999

1XX0033XX0035 1.E-8 1.E-8 1.

2XX0019 1.E-8 1.E-8 1.

XX0023XX0012 1.E3 0

XX0012 1.E20 0

/SWITCH

C < n 1 > < n 2 > < Tclose > < Top/Tde > < Ie > < Vf/CLOP > < type >

XX0019XX0023 MEASURING 0

/SOURCE

C < n 1 > < > < Ampl. > < Freq. > < Phase/T0 > < A1 > < T1 > < TSTART > < TSTOP >

60XX0012 0 10.

/OUTPUT

XX0019
BLANK MODELS
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

ANEXO D

Template da Máquina de Lavar Roupas

BEGIN NEW DATA CASE

C -----

C Generated by ATPDRAW outubro, quinta-feira 23, 2008

C A Bonneville Power Administration program

C Programmed by H. K. Høidalen at SEfAS - NORWAY 1994-2003

C -----

C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >

1.E-6 .001

500 1 1 1 1 0 0 1 0

MODELS

/MODELS

INPUT

MM0001 {v(XX0077)}

OUTPUT

XX0029

MODEL MQ_ROUPA

COMMENT

```
#####
#
#           MQ_ROUPA - MÁQUINA DE LAVAR ROUPA
#           Eng. IVANDRO ANTONIO BACCA - UBERLÂNDIA, JUNHO DE 2008
#
# Este modelo representa o equivalente elétrico de uma máquina de lavar
# roupa que utiliza um motor de indução monofásico com capacitor permanente
# (PSC). O modelo desse motor de indução monofásico foi concebido com base
# no modelo desenvolvido Bismark Castilho Carvalho na dissertação
# "Desempenho de aparelho condicionador de ar no contexto da qualidade da
# energia elétrica", UFU-julho 2002.
#
#####
```

ENDCOMMENT

INPUT

vinp -- tensão fase-fase aplicada ao motor [V]

OUTPUT

fcem -- força contra-eletromotriz, [V];

DATA

```
-----
----- parâmetros do motor -----
-----
```

```
Pnom {dflt:0.25} -- potência nominal do motor, [cv];
rsa  {dflt:7.12} -- resist. enrolamento principal do estator,[Ohm];
xsa  {dflt:5.65} -- reat. enrolamento principal do estator,[Ohm];
rsb  {dflt:7.12} -- resist. enrolamento auxiliar do estator,[Ohm];
xsb  {dflt:5.65} -- reat. enrolamento auxiliar do estator,[Ohm];
```

```

rr      {dflt:7.12}  -- resistência do rotor, por fase, [Ohm];
xr      {dflt:5.65}  -- reatância do rotor, por fase, [Ohm];
xm      {dflt:60}    -- reatância de magnetização, [Ohms];
jm      {dflt:0.002} -- momento de inércia do motor, [kg.m^2];
np      {dflt:4}     -- número de pólos do motor;
k0      {dflt:3}     -- perdas rot., [%];
ccap    {dflt:29}    -- capacitor de partida, [uF];

-----
----- parâmetros da carga -----
-----
proces {dflt:1}      -- processo da máquina, 1=lavagem, 2=centrifugação
Pc     {dflt:0.25}   -- Potência nominal da carga, [cv];
x0     {dflt:0}      -- conj. carga constante,;
x1     {dflt:0}      -- conj. carga varia linearmente com a veloc.;
x2     {dflt:0.00013} -- conj. carga varia com o quadrado da veloc.;
CONST
freq   {VAL:60}      -- frequência nominal do motor,[Hz];
VAR

-----
----- variáveis do motor -----
-----
--%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%-- # impedâncias
lsa     -- indut. dispersão do enrol. principal do estator;
lsb     -- indut. dispersão do enrol. auxiliar do estator;
lr      -- indut. dispersão do rotor;
m       -- indut. mútua máxima entre estator e rotor;
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 fase-fase aplicada ao motor, [V];
vcap       -- tensão aplicada no capacitor, [V];
fcem       -- força contra-eletromotriz, [V];
--%%%%%%%%# conjugados
conj_elmag -- conjugado eletromagnético, [Nm];
conj_carga -- conjugado da carga, [Nm];
conj_eixo  -- conjugado do eixo, [Nm];
--%%%%%%%%# velocidades
ws         -- velocidade síncrona, [rad/s];
n_motor    -- rotação nominal do motor, [rad/s];
teta       -- âng. 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      -- rotação nominal do motor, [rpm];
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];

----- variáveis da carga -----
conj_carga -- conjugado nominal da carga, [Nm];
Tnom       -- variável auxiliar do conjugado nominal da carga;
nn         -- velocidade nominal da carga, [rad/s];
jc         -- momento de inércia da carga, [kgm^2];

----- variáveis auxiliares -----
e1         -- variável auxiliar da força contra-eletromotriz;
c1         -- variáveis auxiliares do conj. eletromagnético;
c2         -- variáveis auxiliares do conj. eletromagnético;
iisb       -- integral da corrente isb
dteta      -- derivada do ângulo elétrico
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 veloc. do motor;
t_lav      -- tempo de referência da lavagem;
ch_lav     -- chave de lavagem;
t_centra   -- tempo de referência da centrifugação;
ch_centra  -- chave de centrifugação;
jc         -- momento de inércia da carga;
xaux       -- const. auxiliar da carga;

```

```
lig          -- var. auxiliar do processo de centrifugação;
v1           -- tensão de entrada;
v2           -- derivada da tensão de entrada;
v3           -- retificação da tensão de entrada;
v4           -- retificação da derivada da tensão de entrada;
v5           -- soma das tensões retificadas.
t1           -- tempo de referência.
ix           -- corrente auxiliar.
TIMESTEP MIN:1E-5
INIT
  t1:=0
  isa:=0
  isb:=0
  ira:=0
  irb:=0
  lig:=0
  vcap:=0
  teta:=0
  t_lav:=0
  ch_lav:=0
  flux_a:=0
  flux_b:=0
  flux_ra:=0
  flux_rb:=0
  dflux_a:=0
  dflux_b:=0
  t_cent:=0
  ch_cent:=0
  dflux_ra:=0
  dflux_rb:=0
  vel_eletr:=0
  vel_motor:=0
  histdef(v):=0
  histdef(ix):=0
  histdef(c1):=0
  histdef(c2):=0
  histdef(e1):=0
  histdef(isa):=0
  histdef(isb):=0
  histdef(ira):=0
  histdef(irb):=0
  histdef(iisb):=0
  histdef(fcem):=0
  histdef(vcap):=0
  histdef(teta):=0
  histdef(Crot):=0
  histdef(vinp):=0
  histdef(lsarA):=0
  histdef(lsarB):=0
  histdef(lsbrA):=0
```

```

histdef(lsbrB):=0
histdef(lrAsa):=0
histdef(lrAsb):=0
histdef(lrBsa):=0
histdef(lrBsb):=0
histdef(dteta):=0
histdef(n_rpm):=0
histdef(itotal):=0
histdef(flux_a):=0
histdef(flux_b):=0
histdef(flux_ra):=0
histdef(flux_rb):=0
histdef(dflux_a):=0
histdef(dflux_b):=0
histdef(dflux_ra):=0
histdef(dflux_rb):=0
histdef(conj_eixo):=0
histdef(vel_eletr):=0
histdef(vel_motor):=0
histdef(conj_carga):=0
histdef(conj_elmag):=0
histdef(dvel_motor):=0
histdef(integral(isb)):=0
histdef(integral(dteta)):=0
histdef(integral(dvel_motor)):=0

```

ENDINIT

EXEC

----- equacionamento do motor - parâmetros constantes -----

```

ns:=(120*freq)/np
n_motor:=(2*pi*((120*freq)/np))/60
krot:=((k0/100)*Pnom*736)/(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

```

----- equacionamento da carga - proces = 1 # Lavagem -----

```

t_lav:=t_lav+timestep

```

```

IF proces = 1 THEN
  IF t_lav = 0.500 THEN
    t_lav:=0
  ENDIF
  t_lav:=t_lav
  IF t_lav >= 0.2518 THEN
    ch_lav:=0
    jc:=0.001999
  ELSE
    ch_lav:=1
    jc:=0
  ENDIF
  ch_cent:=1
  nn:=(2*pi*ns)/60
  Tnom:=(Pnom*736)/nn
  conj_carga:=(x0*Tnom)+(x1*Tnom*vel_motor)+(x2*Tnom*(vel_motor**2))

```

----- equacionamento da carga - proces = 2 # centrifugação -----

```

ELSIF proces = 2 THEN
  v1:=vinp
  v2:=deriv(vinp)/(2*pi*freq)
  v3:=abs(v1)
  v4:=abs(v2)
  v5:=v3+v4
  IF v5 <= 2 AND t >= 10*timestep THEN
    lig:=1
    t1:=t1+timestep
  ELSE
    t1:=t1
  ENDIF
  IF lig = 1 THEN
    t_cent:=t_cent+timestep
  ENDIF
  IF t_cent > 0 AND t_cent <= (5+t1) THEN
    ch_cent:=0
    lig:=1
  ELSE
    ch_cent:=1
    lig:=0
  ENDIF
  IF ch_cent = 0 THEN
    jc:=0.001999
  ELSE
    jc:=-0.05
  ENDIF
  ch_lav:=1
  xaux:=4.25E-5
  nn:=(2*pi*ns)/60
  Tnom:=(Pnom*736)/nn

```

```

conj_carga:=(x0*Tnom)+(x1*Tnom*vel_motor)+((x2-
xaux)*Tnom*(vel_motor**2))
ENDIF

----- equacionamento do motor -----

----- Tensão nominal aplicada ao motor -----

v:=vinp

----- Iteração para a obtenção dos parâmetros do motor -----
----- Método de Newton - Raphson -----

COMBINE ITERATE 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

----- tensão no capacitor -----

vcap:=((1/(ccap*1E-6))*(ix))

```

```

ix:=iisb*ch_lav
iisb:=integral(isb)
----- Correntes do estator -----
isa:=((v-(dflux_a))/rsa)*ch_lav*ch_centr
isb:=((v-(vcap+dflux_b))/rsb)*ch_lav*ch_centr
itotal:=isa+isb*ch_lav*ch_centr
----- 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
----- força contra-eletromotriz -----
e1:=v-(1000*itotal)
fcem:=predval(e1,t+ timestep)
ENDEXEC
ENDMODEL
RECORD
MQ_ROUPA.conj_elmag      AS    c_elmg
MQ_ROUPA.conj_eixo       AS    c_eixo
MQ_ROUPA.conj_carga      AS    c_carg
MQ_ROUPA.vel_motor       AS    v_mot
MQ_ROUPA.n_rpm           AS    n_rpm
USE MQ_ROUPA AS MQ_ROUPA
INPUT
vinp:= MM0001
DATA
Pnom:= 0.25
rsa:= 7.12
xsa:= 5.65
rsb:= 7.12
xsb:= 5.65

```

```

rr:= 7.12
xr:= 5.65
xm:= 60.
jm:= 0.002
np:= 4.
k0:= 3.
ccap:= 29.
proces:= 1.
Pc:= 0.25
x0:= 0.0
x1:= 0.0
x2:= 1.3E-4
OUTPUT
XX0029:=fcem
ENDUSE
ENDMODELS
C 1 2 3 4 5 6 7 8
C
34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567
890
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
TRANSFORMER TX0001 1.E7 0
9999
1XX0077 1.E-8 1.E-8 1.
2XX0041XX0051 1.E-8 1.E-8 1.
XX0045XX0049 .75758 3.3 0
XX0047XX0045 10. 0
XX0049XX0045 1.7E6 0
XX0051XX0043 .0025 1.E3 0
XX0043XX0049 10. 0
XX0085XX0029 1.E3 0
XX0029 1.E20 0
TRANSFORMER TX0002 1.E7 0
9999
1XX0097XX0099 1.E-6 1.E-6 1.
2XX0093 1.E-6 1.E-6 1.
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose >< Top/Tde >< Ie >< Vf/CLOP >< type >
XX0041XX0047 MEASURING 1
11XX0049XX0051 CLOSED 0
XX0093XX0077 MEASURING 0
XX0077XX0085 MEASURING 1
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl. >< Freq. >< Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
60XX0029 0 10.
/OUTPUT
XX0093
BLANK MODELS

```

BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

ANEXO E

Template da Lava Louças

```

BEGIN NEW DATA CASE
C -----
C Generated by ATPDRAW outubro, quinta-feira 23, 2008
C A Bonneville Power Administration program
C Programmed by H. K. Høidalen at SEfAS - NORWAY 1994-2003
C -----
$DUMMY, XYZ000
C dT >< Tmax >< Xopt >< Copt >
  1.E-6 .001
    500  1  1  1  1  0  0  1  0
MODELS
/MODELS
INPUT
MM0001 {v(XX0104)}
MM0002 {v(XX0112)}
OUTPUT
  XX0033
  XX0046
  XX0122
MODEL chave
INPUT
  v
OUTPUT
  ch
VAR
  v1
  v2
  v3
  v4
  v5
  ch
  lig
  t1
  t_cont
INIT
  t1:=0
  lig:=0
  t_cont:=0
ENDINIT
EXEC
  v1:=v
  v2:=deriv(v)/(2*pi*60)
  v3:=abs(v1)
  v4:=abs(v2)

```

```

v5:=v3+v4
IF v5 <= 8 AND t >= 10*timestep THEN
    lig:=1
    t1:=t1+timestep
ELSE
    t1:=t1
ENDIF
IF lig = 1 THEN
    t_cont:=t_cont+timestep
ENDIF
IF t_cont > 0 AND t_cont <= (1.5+t1) THEN
    ch:=0
ELSE
    ch:=1
ENDIF
ENDEXEC
ENDMODEL
MODEL MQ_LOU
COMMENT
#####
#
#                               MQ_LOU - MÁQUINA DE LAVAR LOUÇA
#                               Eng. IVANDRO ANTONIO BACCA - UBERLÂNDIA, JUNHO DE 2008
#
# Este modelo representa o equivalente elétrico de uma máquina de lavar
# louça que utiliza um motor de indução monofásico do tipo Shaded Pole (Anel
# de defasamento).
#
#####
ENDCOMMENT
INPUT
    vinp                -- tensão eficaz aplicada ao motor, [V];
OUTPUT
    fcem                -- força contra-eletromotriz do motor, [V];
    ch                  -- chave que atua durante a interrupção.
DATA
-----
----- parâmetros do motor -----
-----
Pnom {dflt:0.2} -- potência nominal do motor,[cv];
rsa  {dflt:6.5} -- resist. enrolamento principal do estator,[Ohm];
xsa  {dflt:7.5} -- reat. enrolamento principal do estator,[Ohm];
rr   {dflt:6.5} -- resistência do rotor, [Ohm];
xr   {dflt:7.5} -- reatância do rotor, [Ohm];
xm   {dflt:140} -- reatância de magnetização,[Ohm];
jmc  {dflt:0.01} -- momento de inércia do motor + carga,[kg*m^2];
np   {dflt:2}   -- número de pólos do motor;
k0   {dflt:3}   -- perdas rot.,[%];

```

```

-----
----- parâmetros da carga -----
-----
Pc      {dflt:0.2}    -- Potência nominal da carga, [cv];
x0      {dflt:0}      -- conj. carga constante;;
x1      {dflt:0}      -- conj. carga varia linearmente com a veloc.;
x2      {dflt:0.00012}-- conj. carga varia com o quadrado da veloc.;
CONST
  freq   {VAL:60}     -- frequência nominal do motor,[Hz];
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;
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];
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 aplicada ao motor, [V];
fcem      -- força contra-eletromotriz do 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];

```

----- variáveis da carga -----

```

conj_carga -- conjugado nominal da carga, [Nm];
nn         -- velocidade nominal da carga, [rad/s];
Tnom       -- variável auxiliar do conjugado nominal carga;

```

----- variáveis 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;
e1         -- força contra-eletromotriz;
ch         -- chave que atua durante a interrupção;
t_cont     -- tempo de referência da chave ch;
lig        -- var. auxiliar da interrupção;
v1         -- tensão de entrada;
v2         -- derivada da tensão de entrada;
v3         -- retificação da tensão de entrada;
v4         -- retificação da derivada da tensão de entrada;
v5         -- soma das tensões retificadas;
t1         -- tempo de interrupção da tensão.

```

TIMESTEP MIN:1E-5

INIT

```

ch:=0
t1:=0
isa:=0
ira:=0
irb:=0
lig:=0
teta:=0
n_rpm:=0
itotal:=0
t_cont:=0

```

```

vel_eletr:=0
vel_motor:=0
histdef(e1):=0
histdef(c1):=0
histdef(c2):=0
histdef(isa):=0
histdef(ira):=0
histdef(irb):=0
histdef(fcem):=0
histdef(teta):=0
histdef(Crot):=0
histdef(lsarA):=0
histdef(lsarB):=0
histdef(lsbrA):=0
histdef(lsbrB):=0
histdef(lrAsa):=0
histdef(lrAsb):=0
histdef(lrBsa):=0
histdef(lrBsb):=0
histdef(dteta):=0
histdef(n_rpm):=0
histdef(itotal):=0
histdef(flux_a):=0
histdef(flux_b):=0
histdef(flux_ra):=0
histdef(flux_rb):=0
histdef(dflux_a):=0
histdef(dflux_b):=0
histdef(dflux_ra):=0
histdef(dflux_rb):=0
histdef(vel_motor):=0
histdef(conj_eixo):=0
histdef(vel_eletr):=0
histdef(conj_elmag):=0
histdef(dvel_motor):=0
histdef(conj_carga):=0
histdef(integral(dteta)):=0
histdef(integral(dvel_motor)):=(((120*freq)/np)*pi)/30
ENDINIT
EXEC
-----
----- equacionamento da carga -----
-----
ns:=(120*freq)/np
nn:=(2*pi*ns)/60
Tnom:=(Pnom*736)/nn
conj_carga:=(x0*Tnom)+(x1*Tnom*vel_motor)+(x2*Tnom*(vel_motor**2))

```

----- chave geral para interrupção da energia -----

```

v1:=vinp
v2:=deriv(vinp)/(2*pi*freq)
v3:=abs(v1)
v4:=abs(v2)
v5:=v3+v4
IF v5 <= 8 AND t >= 10*timestep THEN
    lig:=1
    t1:=t1+timestep
ELSE
    t1:=t1
ENDIF
IF lig = 1 THEN
    t_cont:=t_cont+timestep
ENDIF
IF t_cont > 0 AND t_cont <= (1.5+t1) THEN
    ch:=0
ELSE
    ch:=1
ENDIF

```

----- equacionamento do motor -----

```

----- Parâmetros constantes -----
n_motor:=(4*pi*freq)/np
krot:=((k0/100)*Pnom*736)/(n_motor*n_motor)
ws:=2*pi*freq
m:=xm/ws
lsa:=xsa/ws
lr:=xr/ws
lsasa:=m+lsa
lsasb:=0
lsbsa:=0
lsbsb:=m
lrArA:=m+lr
lrArB:=0
lrBrA:=0
lrBrB:=m+lr

```

----- Tensão nominal aplicada ao motor -----

```

v:=vinp

```

```

----- Iteração para a obtenção dos parâmetros do motor --
-----          Métdod de Newton - Raphson          -----
-----
COMBINE ITERATE 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:=-m*ira*cos(teta)
conj_elmag:=(np)*(c1+c2)
Crot:=krot*vel_motor
-----
-----      velocidade elétrica e mecânica      -----
-----
dvel_motor:=(1/(jmc))*(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)
itotal:=isa
-----
-----      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:=(lsbrA*ira+lsbrB*irb)
        flux_ra:=(lrArA*ira+lrAsa*isa)*0.02
        flux_rb:=(lrBrB*irb+lrBsa*isa)*0.02
ENDCOMBINE
-----
----- força contra-eletromotriz -----
-----
        e1:=v-(1000*itotal)
        fcem:=predval(e1,t+timestep)
ENDEXEC
ENDMODEL
RECORD
        MQ_LOU.conj_elmag      AS      c_elmg
        MQ_LOU.conj_carga      AS      c_carg
        MQ_LOU.conj_eixo       AS      c_eixo
        MQ_LOU.vel_motor       AS      v_mot
        MQ_LOU.n_rpm           AS      n_rpm
USE chave AS chave
INPUT
        v:= MM0001
OUTPUT
        XX0033:=ch
ENDUSE
USE MQ_LOU AS MQ_LOU
INPUT
        vinp:= MM0002
DATA
        Pnom:= 0.2
        rsa:= 6.5
        xsa:= 7.5
        rr:= 6.5
        xr:= 7.5
        xm:= 140.
        jmc:= 0.01
        np:= 2.
        k0:= 3.
        Pc:= 0.2
        x0:= 0.0
        x1:= 0.0
        x2:= 1.2E-4
OUTPUT
        XX0046:=fcem
        XX0122:=ch

```

```

ENDUSE
ENDMODELS
C      1      2      3      4      5      6      7      8
C
34567890123456789012345678901234567890123456789012345678901234567
890
/BRANCH
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< L >< C >
C < n 1>< n 2><ref1><ref2>< R >< A >< B ><Leng><><>0
XX0056XX0058      500.      0
XX0060XX0056      33.      .1      0
XX0064XX0056      33.      .1      0
XX0016XX0056      .5      0
XX0012XX0056      .5      0
XX0056XX0058      1.E3      0
TRANSFORMER      TX0001 1.E8      0
9999
1XX0142XX0144      1.E-8 1.E-8 1.
2XX0104      1.E-8 1.E-8 1.
XX0120XX0046      1.E3      0
XX0046      1.E20      0
XX0126      37.8      0
$INCLUDE, C:\ATP\project\usp\TRAFO_~1.LIB, XX0102, #####, XX0060, XX0058 $$
, XX0064
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< Ie ><Vf/CLOP >< type >
11XX0064XX0012      CLOSED      0
XX0104XX0102      MEASURING      0
11XX0060XX0016      0
XX0104XX0112      MEASURING      0
13XX0104XX0126      XX0033 0
13XX0112XX0120      XX0122 1
/SOURCE
C < n 1><>< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
60XX0046 0      10.
/INITIAL
2XX0056      12.
2XX0058      12.
3XX0056XX0058      0.0
/OUTPUT
XX0104
BLANK MODELS
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK INITIAL
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```