

TESE

1108

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

*“Sistemas Alternativos para o Acionamento
de Cargas Domésticas”*

JONAS IVANHOÉ DE MORAES

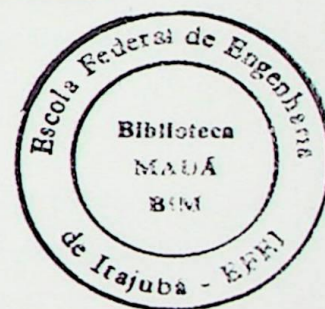
ITAJUBÁ - Dezembro de 2000



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**“SISTEMAS ALTERNATIVOS PARA O
ACIONAMENTO DE CARGAS DOMÉSTICAS”**

JONAS IVANHOÉ DE MORAES



*Dissertação apresentada à Escola Federal de Engenharia
de Itajubá como parte dos requisitos necessários para
obtenção do Título de Mestre em Engenharia Elétrica*

Orientador: *Prof. Dr. Ângelo José Junqueira Resek*
Co-orientador: *Prof. Msc. Valberto Ferreira da Silva*

Itajubá, Dezembro de 2000



Ministério da Educação
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Reconhecida Lei 3232 - 05/01/1917

ANEXO II

FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA

Título da Dissertação: **"Sistemas Alternativos para o Acionamento de Cargas Domésticas"**

Autor: **Jonas Ivanhoé de Moraes**

JULGAMENTO

Examinadores	Conceito	Rubrica
1º	A	<i>[Handwritten signature]</i>
2º	A	<i>[Handwritten signature]</i>
3º	A	<i>[Handwritten signature]</i>
4º	A	<i>[Handwritten signature]</i>

Resultado Médio: Conceito: A, ou seja, aprovado

Observações: _____

Itajubá, 21 de dezembro de 2000.

[Handwritten signature]
Álvaro Manoel de Souza Soares
1º Examinador - UNITAU

[Handwritten signature]
Prof. José Antonio Cortez
2º Examinador - EFEI

[Handwritten signature]
Antonio Tadeu Lyrio de Almeida
3º Examinador - EFEI

[Handwritten signature]
Prof. Ângelo José Junqueira Rezek
4º Examinador - (Orientador) - EFEI



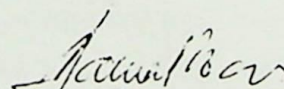
Ministério da Educação
ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Reconhecida Lei 3232 - 05/01/1917


A N E X O I

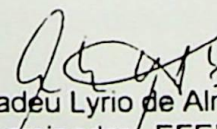
PRONUNCIAMENTO DA BANCA EXAMINADORA

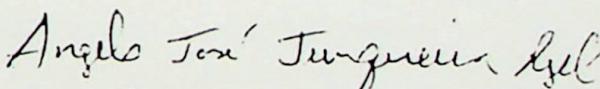
A Banca Examinadora, abaixo assinada, nomeada pela Portaria nº 356 de 20 de dezembro de 2000, considerando o resultado do Julgamento da Prova de Defesa Pública da Dissertação de Mestrado intitulada: “**Sistemas Alternativos para o Acionamento de Cargas Domésticas**” apresenta pronunciamento no sentido de que o Coordenador dos Cursos de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Escola Federal de Engenharia de Itajubá solicite ao DRA (Departamento de Registro Acadêmico) a expedição do título de **Mestre em Ciências em Engenharia Elétrica**, na **Área de Concentração Automação e Sistemas Elétricos Industriais**, satisfeitas as demais exigências regimentais, a **Jonas Ivanhoé de Moraes**.

Itajubá, 21 de dezembro de 2000.


Álvaro Manoel de Souza Soares
1º Examinador - UNITAU


José Antonio Cortez
2º Examinador - EFEI


Antonio Tadeu Lyrio de Almeida
3º Examinador - EFEI


Ângelo José Junqueira Rezek
4º Examinador - EFEI- Orientador

Agradecimentos

Aos professores Valberto F. da Silva e Ângelo Resek pela oportunidade e confiança depositadas.

Aos colegas Wlliender, Rodrigo, Tiago e Edson (depto. de Eletrônica e mecânica da EFEI.) no auxílio à implementação prática deste estudo.

Aos meus pais por tudo.

À minha esposa, pela compreensão e dedicação nas horas difíceis.

Enfim, a todos que participaram de alguma forma deste projeto.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IV
LISTA DE TABELAS	VII
RESUMO	VIII
SUMMARY	IX
CAPÍTULO 1 - Combate ao desperdício da energia elétrica	
1.1. – Introdução	1
1.2. – O PROCEL	5
CAPÍTULO 2 – A conservação de energia aplicada a motores elétricos	
2.1. – Introdução	7
2.1.1. – Adequação da potência do motor com a necessidade mecânica	8
2.1.2. – Otimização do material do núcleo magnético	8
2.1.3. – Aplicação de inversores de frequência no acionamento de motores	9
CAPÍTULO 3 – Características gerais sobre lavadoras de roupas domésticas e acionamentos alternativos	
3.1 – Aspectos gerais	10
3.2 – As vantagens na aplicação do inversor de frequência	10
3.3 – A aplicação de inversores de frequência em lavadora de roupa	11
3.4 – Motor monofásico usualmente utilizado em máquinas lavadoras de roupa	13
3.5 – Aquecimento da água	14
3.6 – Velocidades características do tambor para lavagem e centrifugação ...	15
CAPÍTULO 4 – Comparação e implementação de um sistema alternativo para o acionamento de motores aplicados a máquinas lavadoras de roupa	
4.1 – Introdução ao conceito	16
4.2 – A impossibilidade da implementação do acionamento mecânico com acoplamento pôr eixo direto	17
4.3 – Especificação do sistema de redução mecânica	19
4.4 – Perdas no sistema de redução	22
4.5 – Motores adotados para este trabalho	23
4.6 – Mancais e eixo de transmissão entre tambor e redutor mecânico	25

4.7 – A bancada de testes	28
4.8 – Inversores de frequência	29
4.9 – Equipamento de aquisição de dados	31
4.10 – O arranjo experimental	32
4.10.1 – Ciclo de trabalho	33
CAPÍTULO 5 – Análise dos resultados obtidos nos ensaios laboratoriais	
5.1 – Introdução	36
5.2 – Legenda adotada nos ensaios	36
5.3 – Análise comparativa do comportamento da corrente da corrente para carga de lavagem "leve"	37
5.4 – Análise comparativa do comportamento da corrente para carga de lavagem "pesada"	41
5.5 – Análise do comportamento da tensão elétrica para os casos de operação em carga leve e pesada	44
5.6 – Análise comparativa dos harmônicos gerados pelos sistemas de acionamentos para a lavagem e centrifugação para carga leve e pesada	50
5.6.1 – Comportamento dos harmônicos de corrente na lavagem com carga leve	51
5.6.2 – Comportamento dos harmônicos de corrente na centrifugação com carga leve	54
5.6.3 - Comportamento dos harmônicos de corrente na lavagem com carga pesada	57
5.6.4 - Comportamento dos harmônicos de corrente na centrifugação com carga pesada	60
5.6.5 – Considerações gerais	63
5.7 – Análise da energia consumida pelo sistema para realização do mesmo trabalho mecânico	64
5.7.1 – Comportamento da potência ativa para carga leve	65
5.7.2 – Comportamento da potência ativa para carga pesada	68
5.7.3 – Análise técnica sobre a energia consumida	71
5.8 – Análise da influência do controle vetorial no consumo energia ativa, harmônicos e corrente	74
CAPÍTULO 6 – Conclusões	75
ANEXO A – Listagem de dados obtidos	77
ANEXO B – Perfil de corrente para um ciclo completo	86
APÊNDICE – Condições teóricas sobre motores de indução	88
1 – Resistência ôhmica dos enrolamentos	89

1.1 – Resistência ôhmica	89
1.2 – Como medir a resistência ôhmica	89
2 – Influência da temperatura na resistência ôhmica	92
3 – Medida de resistência de isolamento	92
4 – Determinação da máxima tensão superficial	94
5 – Determinação do circuito equivalente completo em operação carga	95
5.1 – Resistência ôhmica	95
5.2 – Determinação de escorregamento a vazio do motor	98
5.3 – Determinação dos parâmetros do motor com reator bloqueado	99
5.4 – Circuito equivalente completo em carga	101

Referências bibliográficas 104

Figura 2.1 – Conexão cumulativa de energia em máquinas de lavar	12
Figura 3.1 – Conexão trifásica X tensão do motor	12
Figura 4.1.1 – Máquina lavadora doméstica INXUTA Master III	16
Figura 4.2.1 – Montagem do sistema de redução mecânica (vista de frente)	20
Figura 4.2.2 – Montagem do sistema de redução mecânica (vista lateral)	21
Figura 4.2.3 – Montagem do sistema de redução mecânica (vista de cima)	21
Figura 4.5.1 – Motor de indução trifásico de 1/2 cv	24
Figura 4.5.2 – Motor de indução trifásico de 1 cv	24
Figura 4.6.1 – Eixo de acoplamento (vista de cima)	27
Figura 4.6.2 – Eixo de acoplamento (vista lateral)	27
Figura 4.7.1 – Bancada de testes	28
Figura 4.8.1 – Micromaster VC de 2 cv marca SIEMENS	30
Figura 4.8.2 – Sinovort VC de 19 cv marca SIEMENS	30
Figura 4.9.1 – RCC Interlogar	32
Figura 5.3.1 – Perfil de corrente na condição 1	38
Figura 5.3.2 – Perfil de corrente na condição 3	38
Figura 5.3.3 – Perfil de corrente na condição 5	38
Figura 5.3.4 – Perfil de corrente na condição 7	39
Figura 5.3.5 – Perfil de corrente na condição 9	39
Figura 5.3.6 – Perfil de corrente na condição 11	39
Figura 5.4.1 – Perfil de corrente na condição 2	42
Figura 5.4.2 – Perfil de corrente na condição 4	42
Figura 5.4.3 – Perfil de corrente na condição 6	42
Figura 5.4.4 – Perfil de corrente na condição 8	43
Figura 5.4.5 – Perfil de corrente na condição 10	43
Figura 5.4.6 – Perfil de corrente na condição 12	43
Figura 5.5.1 – Perfil de tensão na condição 1	54
Figura 5.5.2 – Perfil de tensão na condição 3	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Relações de consumo energético	3
Figura 2 – Demanda de energia em máquinas de lavar com três temperaturas de ciclos de lavagem	3
Figura 3 – Consumo cumulativo de energia em máquinas de lavar com três temperaturas de ciclos de lavagem	4
Figura 3.1 – Relação frequência X Torque do motor	12
Figura 4.1.1 – Máquina lavadora doméstica ENXUTA Master III	16
Figura 4.3.1 – Montagem do sistema de redução mecânica (vista de frente)	20
Figura 4.3.1 – Montagem do sistema de redução mecânica (vista lateral)	21
Figura 4.3.1 – Montagem do sistema de redução mecânica (vista de cima)	21
Figura 4.5.1 – Motor de indução trifásico de ½ cv	24
Figura 4.5.2 – Motor de indução trifásico de 1 cv	24
Figura 4.6.1 – Eixo de acoplamento (vista de cima)	27
Figura 4.6.2 – Eixo de acoplamento (vista lateral)	27
Figura 4.7.1 – Bancada de testes	28
Figura 4.8.1 – Micromaster VC de 2 cv marca SIEMENS	30
Figura 4.8.2 – Simovort VC de 10 c.v. marca SIEMENS	30
Figura 4.9.1 – RCC Interlogger	32
Figura 5.3.1 – Perfil de corrente na condição 1	38
Figura 5.3.2 – Perfil de corrente na condição 3	38
Figura 5.3.3 – Perfil de corrente na condição 5	38
Figura 5.3.4 – Perfil de corrente na condição 7	39
Figura 5.3.5 – Perfil de corrente na condição 9	39
Figura 5.3.6 – Perfil de corrente na condição 11	39
Figura 5.4.1 – Perfil de corrente na condição 2	42
Figura 5.4.2 – Perfil de corrente na condição 4	42
Figura 5.4.3 – Perfil de corrente na condição 6	42
Figura 5.4.4 – Perfil de corrente na condição 8	43
Figura 5.4.5 – Perfil de corrente na condição 10	43
Figura 5.4.6 – Perfil de corrente na condição 12	43
Figura 5.5.1 – Perfil de tensão na condição 1	54
Figura 5.5.2 – Perfil de tensão na condição 3	45

Figura 5.5.3 – Perfil de tensão na condição 5	45
Figura 5.5.4 – Perfil de tensão na condição 7	46
Figura 5.5.5 – Perfil de tensão na condição 9	46
Figura 5.5.6 – Perfil de tensão na condição 11	46
Figura 5.5.7 – Perfil de tensão na condição 2	48
Figura 5.5.8 – Perfil de tensão na condição 4	48
Figura 5.5.9 – Perfil de tensão na condição 6	48
Figura 5.5.10 – Perfil de tensão na condição 8	49
Figura 5.5.11 – Perfil de tensão na condição 10	49
Figura 5.5.12 – Perfil de tensão na condição 12	49
Figura 5.6.1.1 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 1	51
Figura 5.6.1.2 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 3	51
Figura 5.6.1.3 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 5	51
Figura 5.6.1.4 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 7	52
Figura 5.6.1.5 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 9	52
Figura 5.6.1.6 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 11	52
Figura 5.6.2.1 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 1	54
Figura 5.6.2.2 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 3	54
Figura 5.6.2.3 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 5	54
Figura 5.6.2.4 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 7	55
Figura 5.6.2.5 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 9	55
Figura 5.6.2.6 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 11	55
Figura 5.6.3.1 – perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 2	57
Figura 5.6.3.2 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 4	57
Figura 5.6.3.3 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 6	57
Figura 5.6.3.4 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 8	58
Figura 5.6.3.5 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na	

condição 10	58
Figura 5.6.3.6 – Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição	58
Figura 5.6.4.1 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 2	60
Figura 5.6.4.2 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 4	60
Figura 5.6.4.3 – perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 6	60
Figura 5.6.4.4 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 8	61
Figura 5.6.4.5 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 10	61
Figura 5.6.4.6 – Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 12	61
Figura 5.7.1.1 – Perfil da potência ativa na condição 1	65
Figura 5.7.1.2 – Perfil da potência ativa na condição 3	65
Figura 5.7.1.3 – Perfil da potência ativa na condição 5	65
Figura 5.7.1.4 – Perfil da potência ativa na condição 7	66
Figura 5.7.1.5 – Perfil da potência ativa na condição 9	66
Figura 5.7.1.6 – Perfil da potência ativa na condição 11	66
Figura 5.7.2.1 – Perfil da potência ativa na condição 2	68
Figura 5.7.2.2 – Perfil da potência ativa na condição 4	68
Figura 5.7.2.3 – Perfil da potência ativa na condição 6	68
Figura 5.7.2.4 – Perfil da potência ativa na condição 8	69
Figura 5.7.2.5 – Perfil da potência ativa na condição 10	69
Figura 5.7.2.6 – Perfil da potência ativa na condição 12	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.2.1 - Condições de trabalho	37
Tabela 5.7.3.1 - Condições de lavagem X Centrifugação	71
Tabela 5.7.3.2 - Energia ativa medida pelo RCC	73

RESUMO

Observando-se pela ótica da qualidade no fornecimento de energia elétrica, podemos verificar que fatores como desequilíbrio de fases e distorções harmônicas contribuem consideravelmente para a diminuição na qualidade da energia fornecida ao consumidor final.

No entanto, os programas de conservação de energia adotados por empresas e organizações governamentais e não governamentais de vários países, consideram o sistema de suprimento de energia (sistema elétrico de potência) como sendo possuidor de formas de onda de tensão e de corrente puramente senoidais e com valores eficazes iguais para as tensões de linha, desconsiderando possíveis desequilíbrios na alimentação das cargas.

A aplicação de cargas não lineares, como inversores de frequência no controle de motores, poderá trazer vantagens no aspecto controle de velocidade e partidas com menor valor inicial de corrente, mas com certeza, contribuem para o aumento da distorção harmônica.

Este estudo, tem como base a comparação entre três motores distintos, com modos de operação diferentes, acionando uma carga mecânica doméstica (máquina de lavar roupas) e várias situações de operação.

Este estudo objetiva-se ao desenvolvimento de técnicas usando inversores de frequência tanto no modo vetorial, quanto no modo escalar, para a realização do acionamento de motores elétricos aplicados a máquinas lavadoras de roupa, que permitam a redução do consumo de energia elétrica, quando comparado a sistemas tradicionalmente usados pelos fabricantes na atualidade.

Mesmo não sendo tratado neste trabalho a aplicação de tais técnicas em outros eletrodomésticos, isto seria viável em qualquer equipamento acionado por um ou mais motores.

SUMMARY

Looking by the quality in the electric purchase, we can see that some factors like phase non-equilibrium and harmonic distortion are considerable contributors to diminution in the quality as power delivered to final consumers.

However, the power conservation programs which are adopted by companies and government and non-government organizations in many countries, consider the supply power system (power electric system) to be a possessor of wave form of tension and current strictly sinusoidal and with efficiency values equal to the line tensions, ignoring the possible non-equilibrium in the supply charge.

The application of non-linear loads, as frequency invertors in the control of motors, may bring advantages concerning speed control and start-ups with smaller initial values; on the other hand, it contributes to the increase of harmonic distortion.

This study compares three motors on a domestic mechanical load basis (a washing machine), by assessing the advantages and disadvantages of each operation, considering available machines in the national and international markets. In order to attain it, theoretical conclusions and developed methodologies are applied practically, aiming at the confirmation and technical improvement.



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

1.1 - INTRODUÇÃO

Para uma análise da influência dos eletrodomésticos no consumo de energia de residências foram usados resultados obtidos por pesquisas realizadas nos EUA e na Europa recentemente*. Na última década, algumas instituições europeias realizaram campanhas de medição no setor residencial para poderem monitorar o consumo de energia de cada aplicação individualmente. O objetivo principal dessas campanhas era analisar como a energia estava sendo usada e, em particular, o quanto estava sendo usado para cada aplicação. Com base nos dados dessas pesquisas foram conclusões concretas em relação ao consumo de energia das máquinas de lavar roupas e compará-las a...

CAPÍTULO 1

COMBATE AO DESPÉRDIO DA ENERGIA ELÉTRICA

... pois os dados disponíveis não refletiram a realidade brasileira, pode-se ter uma ideia do impacto que um eletrodoméstico desse tipo causa no consumo de energia de uma residência em geral.

As diferentes campanhas realizadas, além de terem sido feitas em países distintos, tinham métodos de coleta de dados, tamanho da amostragem, data, duração e frequência de medição diferentes. Porém não será necessário detalhá-las, pois o que se pretende aqui é apenas fazer uma comparação para identificar a relação entre consumos em uma mesma campanha e não compará-las as diferentes campanhas de medição isoladamente.

* www.fec.ufes.br

CAPÍTULO I

COMBATE AO DESPERDÍCIO DA ENERGIA ELÉTRICA

1.1 - INTRODUÇÃO

Para uma análise da influência dos eletrodomésticos no consumo de energia de residências foram usados resultados obtidos por pesquisas realizadas nos EUA e na Europa recentemente*. Na última década, algumas instituições européias realizaram campanhas de medição no setor residencial para poderem monitorar o consumo de energia de cada aplicação individualmente. O objetivo principal dessas campanhas era analisar como a energia estava sendo usada e, em particular, o quanto estava sendo usada para cada aplicação. Com base nesses dados pôde-se tirar conclusões concretas em relação ao consumo de energia nas máquinas de lavar roupas e compará-lo a outras aplicações domésticas. É importante salientar que os dados obtidos estão relacionados à Europa, podendo-se não aplicar ao Brasil, já que nesse país a carência de campanhas desse tipo é grande. Porém, apesar de os dados disponíveis não refletirem a realidade brasileira, pode-se ter uma idéia do impacto que um eletrodoméstico desse tipo causa no consumo de energia de uma residência em geral.

As diferentes campanhas realizadas, além de terem sido feitas em países distintos, tinham métodos de coleta de dados, tamanho da amostragem, data, duração e frequência de medição diferentes. Porém não será necessário descrevê-los, pois o que se pretende aqui é apenas fazer uma comparação para identificar a relação entre consumos em uma mesma campanha e não compararmos as diferentes campanhas de medição isoladamente.

As aplicações analisadas foram divididas nas seguintes classes:

- Equipamentos frigoríficos tais como geladeira, freezer e geladeira/freezer (combinados);
- Equipamentos de lavagem tais como máquina de lavar roupas, secar roupas e lavar louças;
- Equipamentos eletrônicos em geral tais como TV, vídeo cassete, computador, entre outros;
- Equipamentos de iluminação, lâmpadas em geral.

Na Europa as estações do ano são bem definidas, e de acordo com a época do ano as variações de temperatura são muito significativas, isto resulta em um consumo de energia variado no decorrer do ano, portanto, levou-se em conta o consumo anual das aplicações.

Além desta verificação da variação no consumo devido as diferenças climáticas, notou-se também uma variação neste consumo dependente do ciclo de operação utilizado nas máquinas de lavar. Assim, em algumas campanhas, desenvolveu-se sistemas que permitiam a identificação do ciclo de operação na máquina, o que levou a uma análise das curvas de consumo.

De acordo com a figura 1, as campanhas de medição demonstraram que o consumo de energia de uma máquina de lavar em uma residência comparado com o consumo de energia total, fica entre 8 e 10%. Isto significa que, em uma residência, o consumo de energia total é pouco afetado pelo uso deste eletrodoméstico.

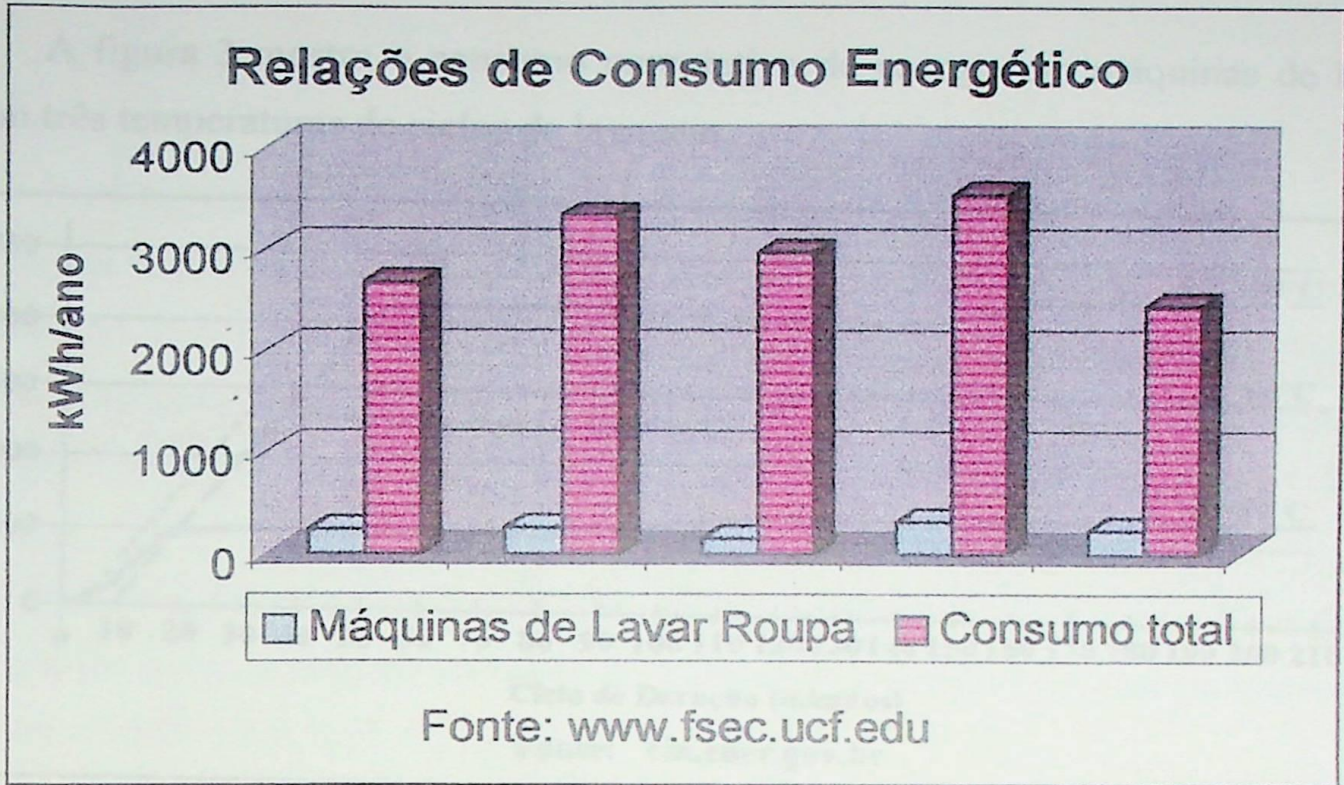


Figura 1: Relações de Consumo Energético

Numa outra forma de coleta de dados observou-se, o consumo total das máquinas de lavar e o consumo relacionado com os ciclos de operação das máquinas. A partir da figura 2, pode-se observar o efeito causado pelos ciclos de operações das máquinas de lavar que usam diferentes temperaturas de lavagem.

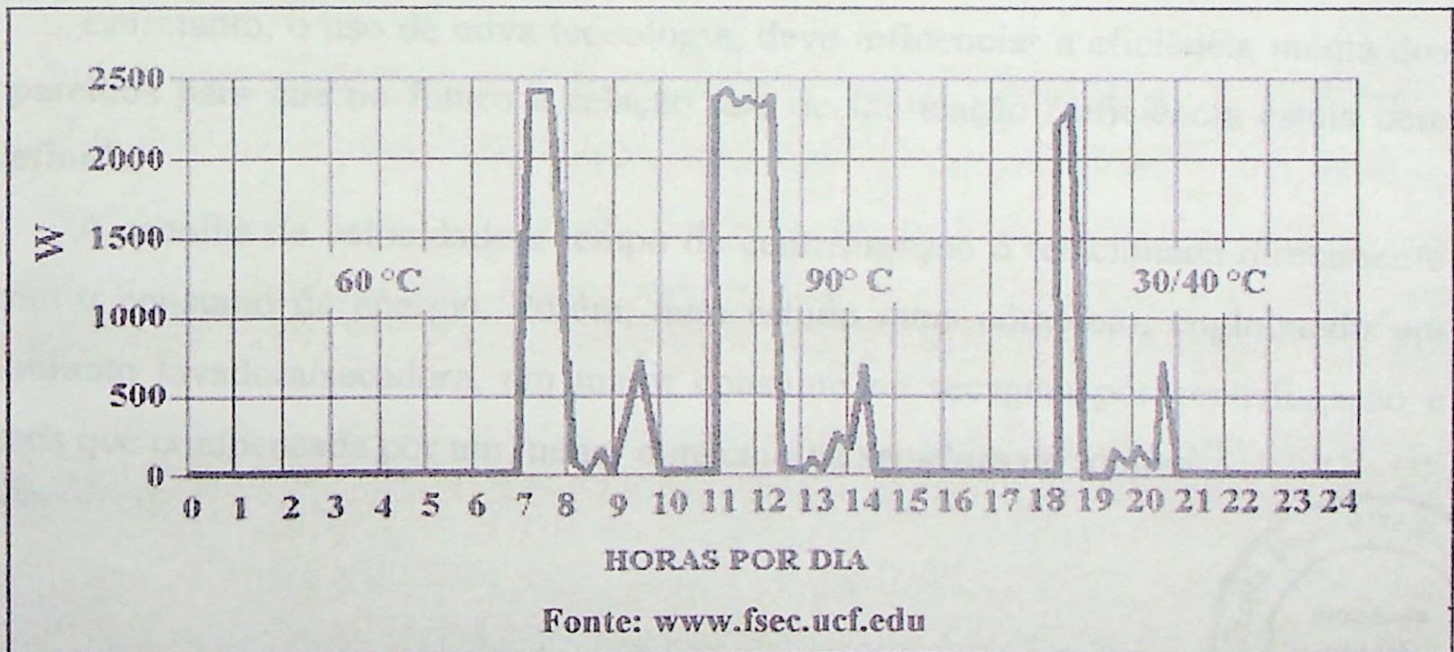


Figura 2: Demanda de energia em máquinas de lavar com três temperaturas de ciclos de lavagem.

A figura 3 mostra o consumo cumulativo de energia em máquinas de lavar com três temperaturas de ciclos de lavagem.

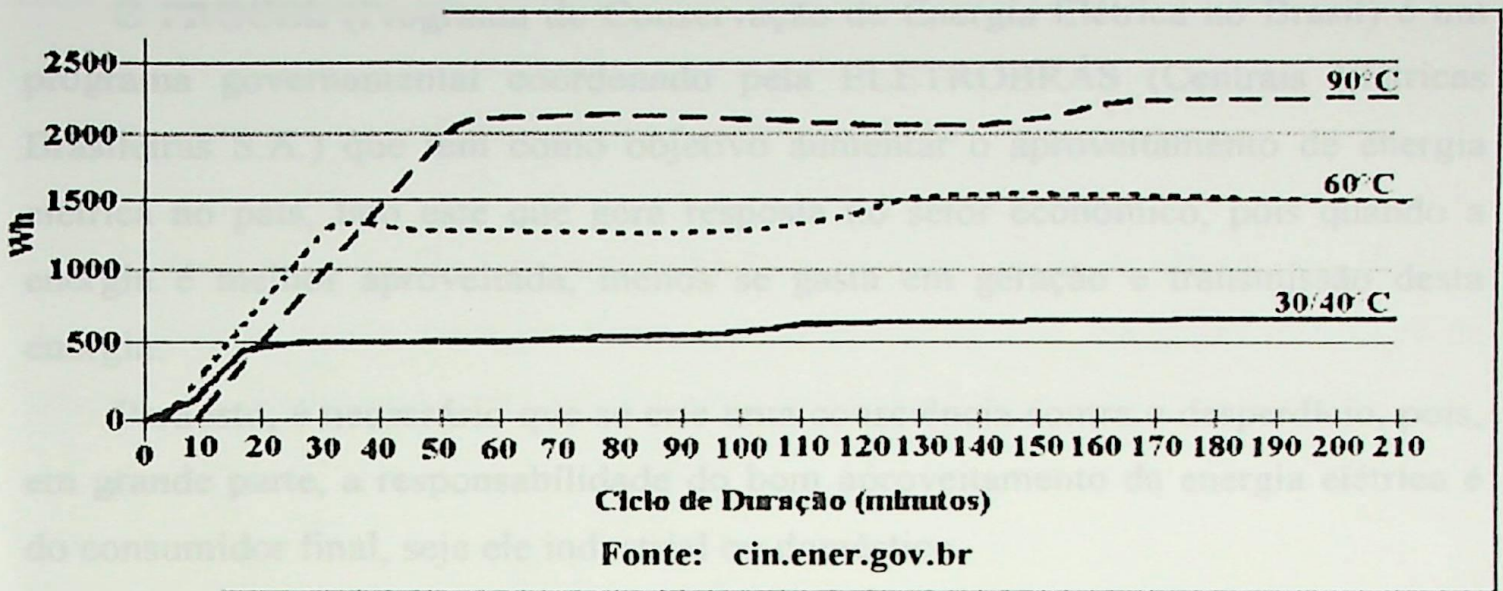
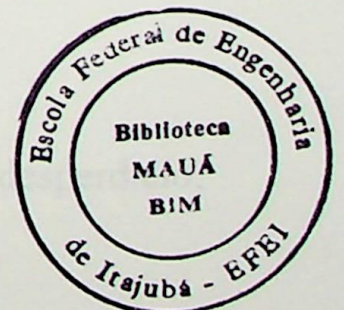


Figura 3: Consumo cumulativo de energia em máquinas de lavar com três temperaturas de ciclos de lavagem.

Nota-se que as medições também demonstraram que as máquinas de lavar com modelos de fabricação mais novos não tiveram melhoras significativas no consumo de energia.

Entretanto, o uso de nova tecnologia, deve influenciar a eficiência média dos aparelhos para que no futuro a relação ano de fabricação / eficiência esteja bem definida.

A escolha da velocidade e tempo de centrifugação é relacionada diretamente com o consumo de energia. Porém, num estudo mais completo, englobando um conjunto lavadora/secadora, um maior consumo na secagem por centrifugação é mais que compensada por um menor consumo na secadora de roupas **.



** www.fsec.ucf.edu

1.2 - O PROCEL

O PROCEL (Programa de Conservação de Energia Elétrica no Brasil) é um programa governamental coordenado pela ELETROBRÁS (Centrais Elétricas Brasileiras S.A.) que tem como objetivo aumentar o aproveitamento de energia elétrica no país, fato este que gera resposta no setor econômico, pois quando a energia é melhor aproveitada, menos se gasta em geração e transmissão desta energia.

Para isto, é necessário que se crie uma consciência contra o desperdício, pois, em grande parte, a responsabilidade do bom aproveitamento da energia elétrica é do consumidor final, seja ele industrial ou doméstico.

Foram estabelecidas metas para a otimização no aproveitamento da energia elétrica e estas metas constam no plano estratégico cujo prazo contabilizado é de dez anos. Tal plano é chamado de plano decenal.

Para uma base de raciocínio sobre o impacto deste programa brasileiro, pode-se verificar que entre os anos de 1995 e 1998, a ação do PROCEL resultou em uma economia de aproximadamente 7,3 TWh, o que equivale a uma usina de 1500 MW^{***} ou duas turbinas de Itapu.

O programa prevê também metas contidas no Plano 2015 da ELETROBRÁS, cujos indicadores levam a crer que até o ano de 2015 deverá ocorrer uma redução no consumo de energia da ordem de 130 TWh, evitando-se assim a ampliação em 25000 MW^{***} (equivalente a 2 usinas de Itaipú).

Para garantir que tais metas sejam atingidas, o PROCEL tem atuado em várias áreas como:

- Elaboração de planos de ação para programas de combate ao desperdício;
- Adequação e aplicação de metodologias;

- Projetos de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD);
- Proposição de políticas de incentivo;
- Elaboração e implementação de planos de marketing;
- Projetos de planejamento integrado de recursos (PIR);
- Atuação no uso final (todos os consumidores).

O presente trabalho tem como objetivo principal, atuar na última área da lista anteriormente citada, mais precisamente na operação das máquinas lavadoras de roupas, que em termos quantitativos, concentra-se nos consumidores domésticos.

CAPÍTULO 2

A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA APLICADA A MOTORES ELÉTRICOS

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica



CAPÍTULO 2
A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA
APLICADA A MOTORES ELÉTRICOS

CAPÍTULO 2

A CONSERVAÇÃO DE ENERGIA APLICADA A MOTORES ELÉTRICOS

2.1 - INTRODUÇÃO

Os motores elétricos devem executar o trabalho exigido pelas cargas mecânicas. Obtemos o maior aproveitamento quando o motor opera com características muito próximas às exigidas pela carga mecânica, seja pelo lado da potência, torque ou velocidade.

Quando um motor encontra-se super dimensionado ou subdimensionado, este apresenta um aproveitamento baixo, além de gerar distorções na rede que o alimenta.

Quantizando o significado da carga elétrica do motor para o sistema de fornecimento de energia elétrica brasileiro, verifica-se que 22,95%* da energia total consumida no país, é devido a motores.

Tal fato, justifica a tentativa de se conseguir um controle maior sobre o desperdício neste tipo de carga.

Pode-se otimizar a operação dos motores, observando alguns pontos como:

* – Relatório do PROCEL – 1998
– Gama, Paulo H. R. Pereira – 1998 - Dissertação de mestrado

2.1.1 - ADEQUAÇÃO DA POTÊNCIA DO MOTOR COM A NECESSIDADE MECÂNICA

Segundo estudos recentes^{**}, mais de 20% dos motores operam com cargas mecânicas que exigem apenas 50% ou menos da potência do motor, ou seja, metade ou menos da potência nominal do motor instalado, provocando assim uma queda efetiva e considerável no rendimento do motor, ou seja, proporcionalmente, haverá maior desperdício quando comparado o consumo de um motor dimensionado para uma carga mecânica e um motor sobredimensionado para a mesma carga. O consumo do motor sobredimensionado será significativamente maior, pois seu rendimento nesta situação diminuirá. Assim sendo, pode-se afirmar que o redimensionamento dos motores elétricos em operação mostra-se na linha da conservação de energia.

2.1.2 - OTIMIZAÇÃO DO MATERIAL DO NÚCLEO MAGNÉTICO

O CEPEL (Centro de Pesquisas de Energia Elétrica) realizou estudos que indicam que é possível a redução das perdas no núcleo fabricado com aço convencional na ordem de 40%^{***} e em aço silício, na ordem de 14% para situações de operação a vazio.

Considerando-se o motor padrão como sendo o de 10 Hp, pois este apresenta o maior volume de vendas, o estudo do CEPEL obteve para motores com núcleos fabricados com aço convencional, uma redução média na potência de 46 W quando comparado com um motor de mesma potência e com núcleo de aço tratado.

^{**} Relatório PROCEL – Consumo de energia – 1998

^{***} Relatório do CEPEL – 1998

2.1.3 - APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA NO ACIONAMENTO DE MOTORES

A variação de velocidade exigida pelas cargas mecânicas faz com que o uso de motores elétricos com velocidade variável seja cada vez mais difundido. Isto se deve ao fato de que com o avanço da tecnologia aplicada aos inversores de frequência, o custo destes equipamentos reduziu muito, possibilitando-se um retorno mais rápido do capital aplicado na aquisição do inversor. Retorno este, conseguido através da economia de energia.

Atualmente, motores de grande, médio e pequeno porte são acionados por inversores de frequência. O que faz com que a aplicação do inversor no acionamento de um motor resulte em economia de energia é o fato de que pode-se ajustar o motor para a operação em um ponto otimizado, mesmo para velocidades variáveis.

Tal técnica é aplicada em motores que acionam máquinas de fluxo, como bombas e compressores, máquinas rotativas como máquinas de moer ou lavar e máquinas de usinagem mecânica.



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS GERAIS SOBRE
LAVADORAS DE ROUPAS DOMÉSTICAS E
ACIONAMENTOS ALTERNATIVOS.

CAPÍTULO 3

CARACTERÍSTICAS GERAIS SOBRE LAVADORAS DE ROUPAS DOMÉSTICAS E ACIONAMENTOS ALTERNATIVOS

3.1 - ASPECTOS GERAIS

A literatura técnica atual, pouco menciona sobre as vantagens e desvantagens da aplicação de inversores de frequência em cargas domésticas como ar-condicionados, lavadoras de roupa, centrífugas, entre outras. Porém, a parcela de consumo do consumidor final doméstico é significativa, e, portanto qualquer diminuição no desperdício da energia utilizada por este tipo de consumidor deve ser contabilizada.

Com este intuito, algumas pesquisas adotam esta linha de trabalho como seu objetivo maior, mas infelizmente, em sua maioria, são realizadas por organizações de outros países, tendo como base de dados, as realidades das suas localidades de origem.

Tal fato dificultou em muito a obtenção de dados para este trabalho, pois quase nada tem sido realizado neste sentido no Brasil.

3.2 - AS VANTAGENS NA APLICAÇÃO DO INVERSOR DE FREQUÊNCIA

A vantagem de se utilizar um acionamento que controle a velocidade de rotação da carga mecânica por inversão de frequência, se estabelece em dois fatos básicos:

1) OTIMIZAÇÃO NO RENDIMENTO PELA RELAÇÃO POTÊNCIA MECÂNICA / POTÊNCIA ELÉTRICA

O rendimento do motor, possui seu melhor ponto quando este está operando com carga nominal, e assim sendo, pode-se ajustar a rotação do eixo mecânico, controlando o trabalho mecânico realizado, sem gerar, necessariamente, uma mudança na carga mecânica acoplada ao eixo do motor. Desta forma, temos um pequeno deslocamento no ponto ótimo de rendimento, atendendo as necessidades da carga mecânica.

2) OPERAÇÃO COM MOTORES TRIFÁSICOS EM REDES MONOFÁSICAS

O motor de indução monofásico geralmente usado no acionamento de cargas mecânicas residenciais possui um rendimento inferior a um motor trifásico de mesma potência, mas a maioria das residências não possui uma alimentação trifásica, o que impossibilita a operação direta de um motor trifásico em cargas deste tipo.

3.3 - A APLICAÇÃO DE INVERSORES DE FREQUÊNCIA EM LAVADORAS DE ROUPA

Para aplicações em máquinas lavadoras de roupa, a idéia consiste em aplicar ao motor, uma frequência inferior a 60 Hz que possibilite ao tambor de lavagem da máquina trabalhar em uma rotação em torno de 60 rpm quando esta estiver operando em lavagem, e superior a 60 Hz quando o tambor estiver executando a operação de centrifugação, com uma rotação de aproximadamente 180 rpm.

Quando o motor recebe uma frequência inferior a 60 Hz, este opera na região de torque constante e quando na operação com frequências acima de 60 Hz, este se encontra na região de potência constante. (figura 3.1)

Com esta estratégia, conseguimos uma melhor relação entre a potência disponível no eixo do motor e a potência solicitada pela carga mecânica.

Quando o motor opera na região de potência constante, ocorre uma diminuição no momento conjugado máximo do motor, mantendo-se constante a potência entregue a carga mecânica.

Desta maneira, haverá uma restrição no aumento da frequência para operação em sobrevelocidade, pois quando o conjugado do tambor for igual ao conjugado máximo do motor, este não responderá mais ao aumento da frequência na alimentação como ilustrado na figura 3.1.

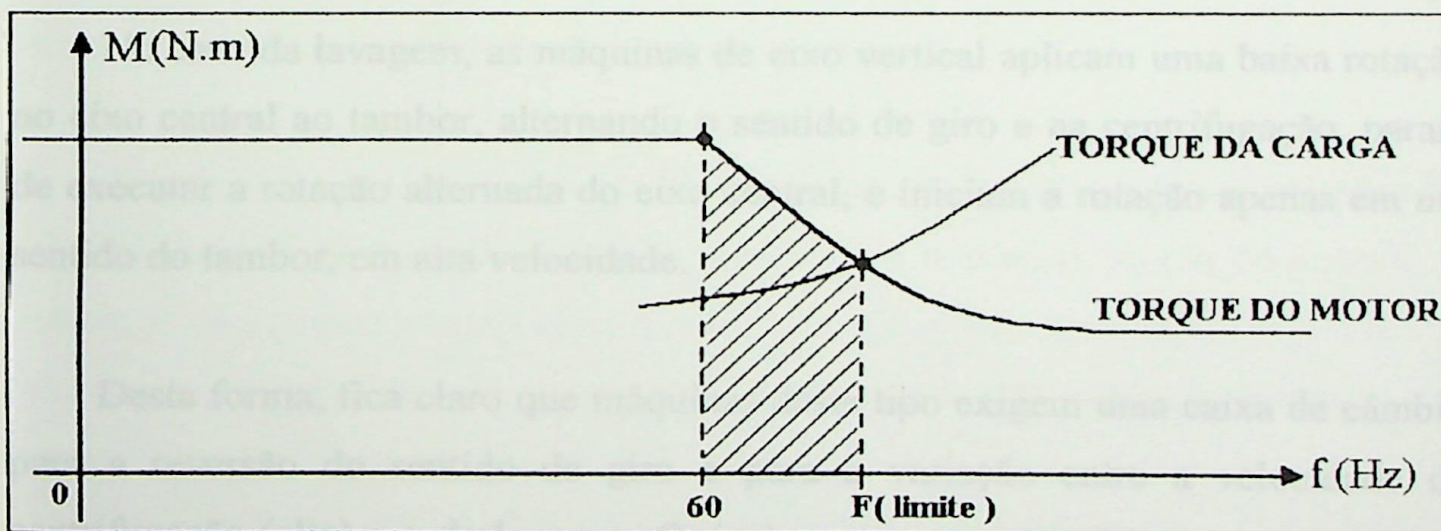


Figura - 3.1: Relação frequência X Torque do motor

Outro ponto a ser considerado, é o fato da sobrevelocidade ser limitada também pelo aumento da intensidade do conjunto de forças que atuam sobre o rotor devido a desequilíbrios mecânicos, podendo assim danificar os rolamentos

dos mancais, e, em última análise, levar até ao contato físico entre rotor e estator da máquina durante a rotação.

De maneira geral, em aplicações reais, a sobrevelocidade de centrifugação ocorre antes deste ponto crítico, para motores dimensionados de acordo com a carga mecânica.

3.4 - MOTOR MONOFÁSICO USUALMENTE UTILIZADO EM MÁQUINAS LAVADORAS DE ROUPA

As máquinas atuais, possuem operações de lavagem, molho e centrifugação.

As etapas de lavagem e de centrifugação exigem rotação da roupa a ser lavada, seja esta obtida pela rotação do tambor (máquina com eixo horizontal) ou pela rotação de um eixo central interno ao tambor (máquina com eixo vertical).

No caso da lavagem, as máquinas de eixo vertical aplicam uma baixa rotação no eixo central ao tambor, alternando o sentido de giro e na centrifugação, param de executar a rotação alternada do eixo central, e iniciam a rotação apenas em um sentido do tambor, em alta velocidade.

Desta forma, fica claro que máquinas deste tipo exigem uma caixa de câmbio para a reversão do sentido de giro e para a variação entre a velocidade de centrifugação (alta) e a de lavagem (baixa), assim como também, para a troca de carga mecânica a ser acionada, pois na lavagem quem gira é o eixo central e na centrifugação é o tambor ou o tambor é fixo central.

Certos fabricantes, optam como resolução do problema da mudança de velocidade, a aplicação de um motor de dupla velocidade, diminuindo-se assim a

complexidade mecânica da caixa de câmbio, que continua sendo necessária para as repetidas reversões na velocidade do eixo central e para a troca entre rotação do eixo ou do tambor, no caso das máquinas com eixo vertical.

A potência média dos motores usados nas máquinas domésticas oferecidas no mercado brasileiro é de 600 W *, podendo variar de 350 W até 1000 W em máquinas de maior capacidade de lavagem.

3.5 - AQUECIMENTO DA ÁGUA

Nas máquinas atuais, o aquecimento da água é realizado através do chaveamento de um banco de resistência comandados por termostatos pré-ajustados. Desta forma, o controle da temperatura é realizado sucessivos ciclos de ligado e desligado.

Este sistema solicita da rede (normalmente monofásica) uma corrente de valor elevado quando o banco de resistência está ligado.

Verifica-se em implementações práticas que, se o controle fosse realizado por semicondutores de maneira contínua, variando-se apenas o ângulo de disparo, os impactos de corrente na rede seriam reduzidos, e também o consumo, pois a inércia térmica a ser vencida em cada ciclo de dissipação de potência térmica, seria menor, e o controle mais preciso.

* – Manuais técnicos: Brastemp, Consul, Bosch e Enxuta
– cin.enen.gov.br

3.6 - VELOCIDADES CARACTERÍSTICAS DO TAMBOR PARA LAVAGEM E CENTRIFUGAÇÃO

As velocidades do tambor de lavagem das máquinas domésticas brasileiras fica em torno de 60 rpm^{**}, existindo modelos que apresentam, valores inferiores, atingindo 30 rpm.

As informações sobre a relação entre a velocidade de rotação do tambor e a eficiência de lavagem não são precisas, porém, alguns fabricantes optam por velocidades mais baixas para evitar danos as roupas durante a lavagem, pois o poder de diluição química da sujeira pelo sabão usado, é fundamental, apresentando-se como um fator de grande importância ou relevância, no processo de lavagem. Não necessitando-se assim de altas velocidades de rotação do tambor.

Pela garantia da integridade física do material a ser lavado, a velocidade de centrifugação também varia muito, de máquina para máquina, dependendo do raio do tambor, podendo começar com valores de 150 rpm^{***} e chegar a 800 rpm^{****} para algumas máquinas especiais.

A força que atua na água interna a roupa depende da velocidade tangencial e do raio do ponto onde se encontra a roupa.

Porém, nas aplicações práticas, realizadas em laboratório para este trabalho verificou-se que a diferença na rotação do tambor, a partir de uma certa velocidade já não muda muito a quantidade de água drenada, pois, ocorre também o fechamento das fibras das roupas que estão mais próximas a lateral do tambor, provocando um estancamento da água a ser drenada.

** Manual técnico Brastemp

*** Manual técnico Enxuta Mafter III

**** Artigo técnico Hailes S. Rajamani: IEEE – 1997

CAPÍTULO 4

COMPARAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA ALTERNATIVO PARA O ACIONAMENTO DE MOTORES APLICADOS A MÁQUINAS LAVADORAS DE ROUPA

4.1. - INTRODUÇÃO AO CONCEITO

Tal conceito consiste em monitorar o comportamento das grandezas elétricas envolvidas no processo convencional de lavagem, quando este é realizado por motores e acionamentos elétricos diferentes.

A carga mecânica em questão é uma lavadora de roupas marca ENXUTA modelo Master III com capacidade máxima de lavagem para 4 quilos de roupa.



Figura 4.1.1: Máquina lavadora doméstica ENXUTA Master III



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

CAPÍTULO 4

COMPARAÇÃO E IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA
ALTERNATIVO PARA O ACIONAMENTO DE MOTORES
APLICADOS A MÁQUINAS LAVADORAS DE ROUPA.

4.2 - A IMPOSSIBILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DO ACIONAMENTO
MECÂNICO COM ACOPLAMENTO POR EIXO DIRETO

Através do uso de um equipamento de aquisição de dados, torna-se possível uma análise instantânea da corrente, tensão, energia, fator de potência, potência e harmônicos.

Este último será objeto de grande atenção, pois atualmente, o fator qualidade da tensão fornecida é de vital importância para o sistema de distribuição de energia elétrica.

Desta forma, compara-se então os valores obtidos das grandezas elétricas acima citada quando a carga mecânica é acionada por um motor monofásico original, para as situações de lavagem e centrifugação com carga leve (1,5 kg) e com carga pesada (4kg) com a situação na qual se aciona tal carga mecânica nas mesmas condições através de motores trifásicos de $\frac{1}{2}$ e 1 cv, cuja alimentação é fornecida por inversores de frequência diferentes.

Também compara-se para o mesmo motor trifásico, o desempenho deste quando é acionado por um inversor com potência disponível muito superior ao motor usado e um inversor com potência disponível próxima a do motor usado, para os modos de operação escalar e vetorial.

Um ponto a ser considerado para a realização desta comparação, é o fato do motor de indução monofásico possuir um rendimento inferior ao motor trifásico para a mesma potência.

Também considera-se a idéia de realizar-se a centrifugação na região de potência constante, adequando-se assim a relação torque disponível com torque solicitado, melhorando-se o rendimento geral do acionamento eletromecânico.

4.2. - A IMPOSSIBILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DO ACIONAMENTO MECÂNICO COM ACOPLAMENTO POR EIXO DIRETO

Em algumas pesquisas realizadas fora do Brasil*, pesquisadores realizaram o estudo da relação energia consumida por trabalho realizado usando o acoplamento

* Kaesuyukilshida – 1997, IEEE May/Jun

entre o eixo do motor e o tambor da máquina com eixo direto, o que só é possível mediante a aquisição de um motor especial, de alto custo, o que atualmente impossibilita a aplicação em uma produção industrial comercial.

Outro fator considerado nestas pesquisas é a velocidade de centrifugação, que nas publicações são da ordem de 800 rpm, não sendo esta uma realidade para as atuais máquinas oferecidas no mercado nacional, nem em muitos outros países.

A velocidade de centrifugação do tambor na maioria das máquinas varia de 150 a 400 rpm^{**}, tendo seu valor mais comum em torno dos 200 rpm.

Desta forma, como o objetivo é realizar a operação de lavagem com o motor operando na região de torque constante e de centrifugação na região de potência constante, para termos, por exemplo, uma centrifugação em 400 rpm com o motor na região de potência constante, deveríamos usar um motor de 10 pares de pólos, (que teria uma rotação máxima de 360 rpm a 60 Hz) o que não é um produto de baixo custo.

Mesmo que tal motor fosse um produto com custo baixo, haveria mais uma impossibilidade, que consiste no fato de que se a 60 Hz tal motor operasse próximo a 360 rpm, para este motor operar com a rotação de lavagem, que possui um valor próximo a 50 rpm para a maioria dos modelos atuais, a frequência aplicada deveria ser de aproximadamente 8 Hz.

O problema consiste no fato de que com frequências tão inferiores à frequência nominal, o motor de indução passa a operar com um rendimento baixo, já não se justificando assim tal acionamento.

Neste caso, haveria a opção de se usar um motor de dupla velocidade, o que amenizaria o problema, porém o motor ainda teria que possuir um número elevado de pares de pólos.

A máquina disponível para os ensaios realizados neste trabalho, possui uma máxima rotação do tambor na centrifugação de 250 rpm, sendo que, quando em

operação a velocidade superiores a esta, os esforços mecânicos estão acima do máximo suportado pela estrutura deste equipamento.

4.3. - ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA DE REDUÇÃO MECÂNICA

O objetivo é realizar o acionamento com motores produzidos em alta escala no mercado nacional, pois estes custam mais barato, e possuem uma manutenção mais barata.

Desta forma, adotando motores com velocidade de operação nominal de 1740 rpm aproximadamente, precisa-se de uma redução que possibilite uma rotação no tambor de aproximadamente 180 rpm e uma rotação em lavagem em torno de 60 rpm.

A velocidade de centrifugação deverá ocorrer com frequências superiores a 60 Hz.

Para tal, deve-se usar uma redução de 11,5 vezes aproximadamente, pois quando o tambor estiver operando em 180 rpm, o motor estará operando em 2070 rpm e quando o tambor estiver operando em 60 rpm, o motor estará em 690 rpm.

Desta forma, a frequência não estaria muito baixa na lavagem, nem muito alta na centrifugação.

O fato, é que a aquisição de uma redução de 11,5 : 1 no mercado custa muito, por este motivo, utilizou-se de uma redução danificada adquirida em um ferro velho industrial e realizou-se uma manutenção, deixando-a em perfeito estado de utilização.

Porém, tal redução possui uma relação de 29 : 1, e, desta forma, não poderia ser usada para o fim proposto.

Contornou-se este problema fazendo-se uso de uma segunda redução realizada por polias na relação de 1 : 2,6, sendo o resultado global entre as duas reduções de 11,6 : 1.

** Manuais técnicos: Brastemp, Consul Semer, Bosch, Enxuta, Baumer

A possibilidade de uma única redução por polias foi descartada devido ao fato de uma das polias necessitar de um diâmetro 11,5 vezes maior que a outra, tornando-se assim impraticável a implementação na bancada de ensaios que foi desenvolvida neste trabalho.

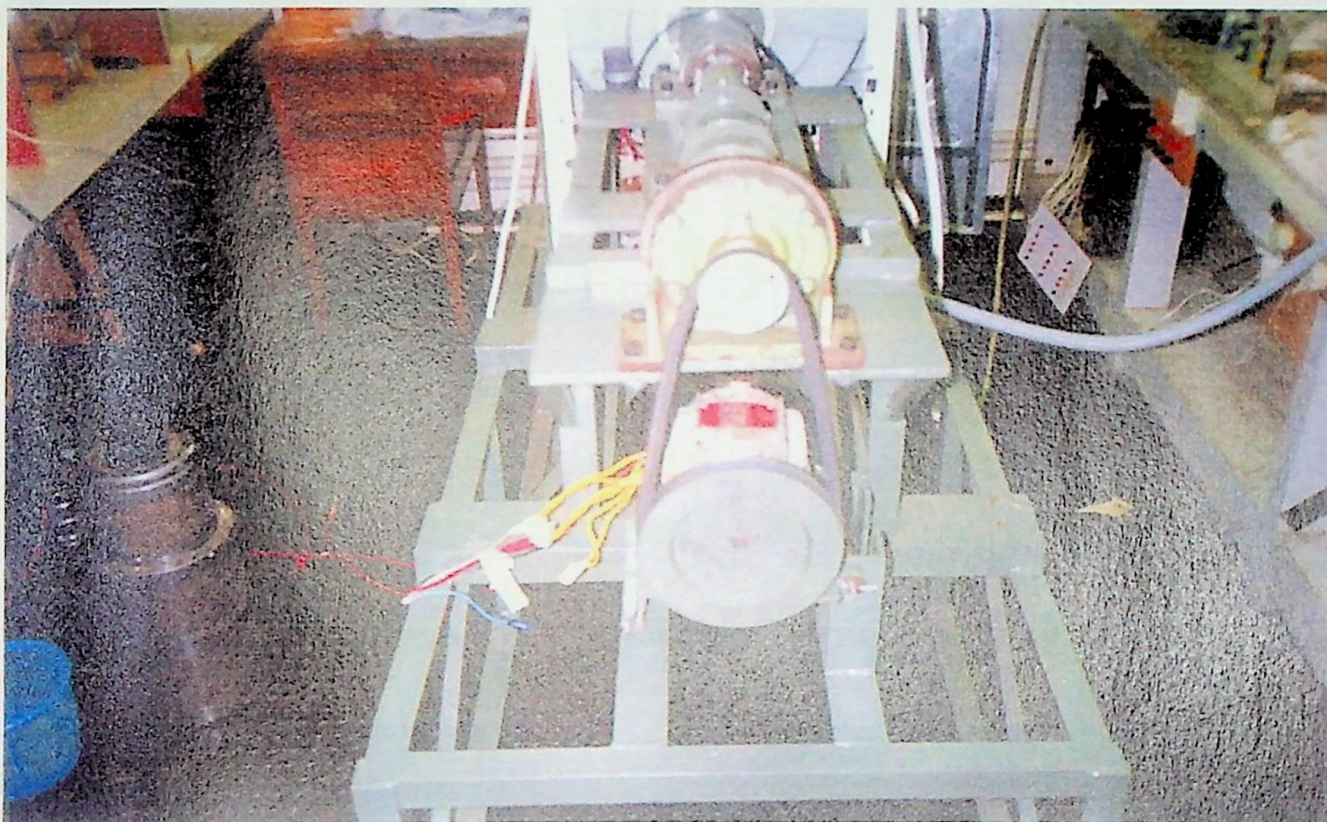


Figura 4.3.1: Montagem do sistema de redução mecânica. (vista de frente)

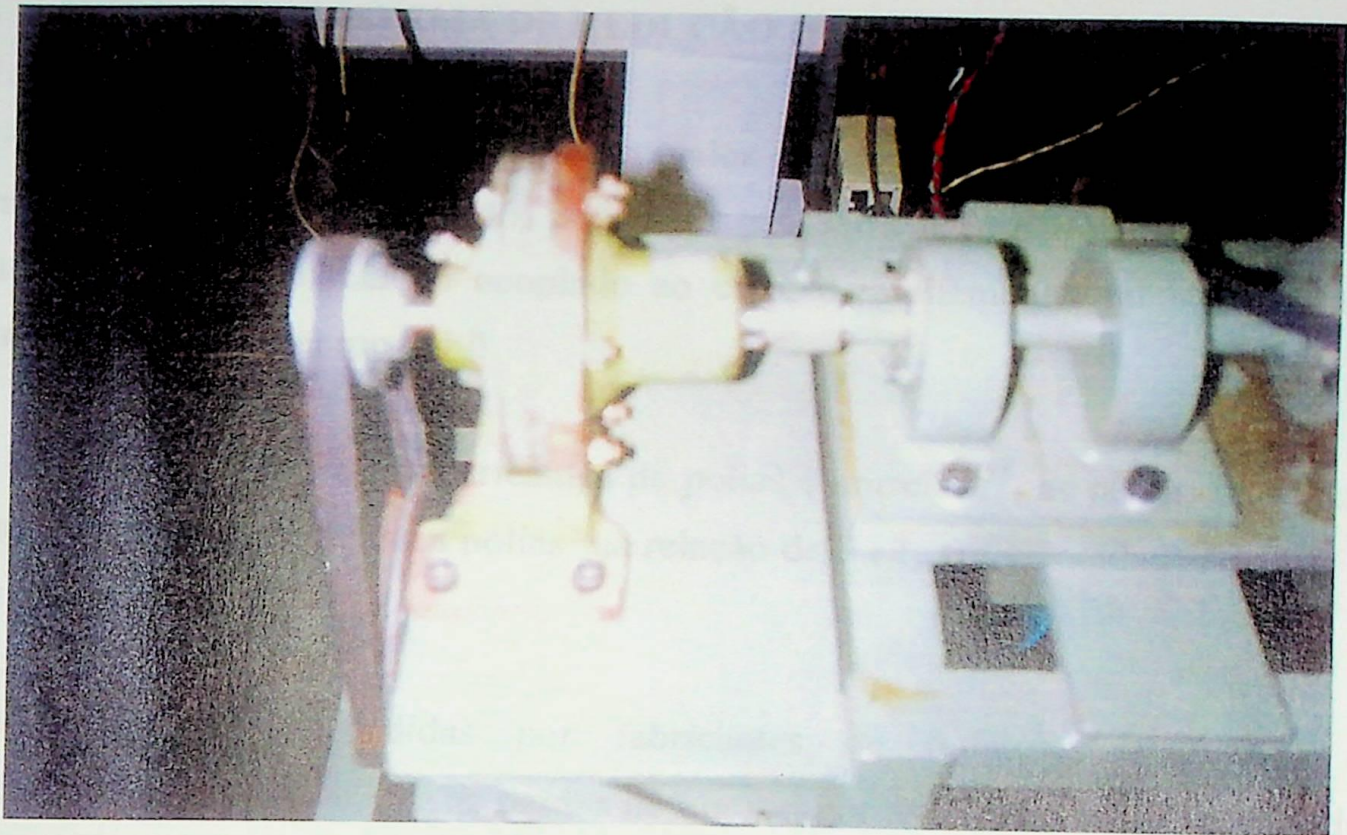


Figura 4.3.2: Montagem do sistema de redução mecânica. (vista lateral)

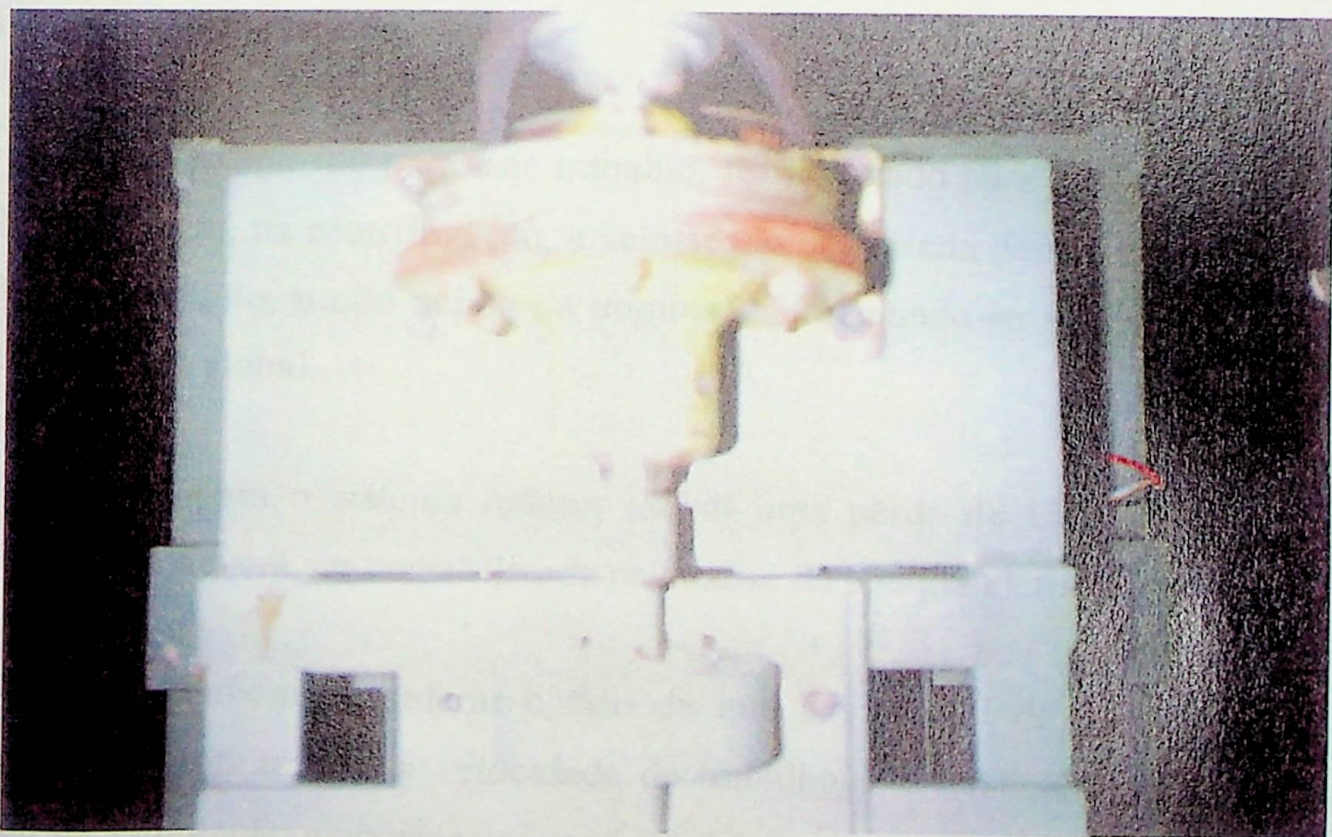


Figura 4.3.3: Montagem do sistema de redução mecânica. (vista de cima)

4.4. - PERDAS NO SISTEMA DE REDUÇÃO

Esta implantação não possui um valor exato para as perdas mecânicas ocorridas no sistema de redução, pois para isto seria necessário um sistema de medição de torque mecânico acoplado ao eixo, e infelizmente, tal sistema não ficou disponível em tempo hábil.

De acordo com alguns fabricantes de polias e correias^{***}, as perdas ocorridas em uma redução que use duas polias na relação de 3 : 1, em velocidades de 500 a 2000 rpm é de 3 a 4%.

As informações cedidas por fabricantes de redutores mecânicos a engrenagens, já reforçam que as perdas de um redutor mecânico de 29 : 1 quando operando na velocidade nominal, que no caso do redutor adquirido é 1800 rpm, varia de 5 a 8%, podendo dobrar para cada aumento em 50% sobre a velocidade para a qual o redutor foi fabricado.

O redutor adquirido para este trabalho, foi fabricado para uma velocidade de 1800 rpm, porém, na centrifugação, a velocidade de entrada deste gira em torno de 5220 rpm, portanto, muito acima da nominal, aumentando-se assim as perdas no sistema redutor global.

Estima-se para o sistema redutor global uma perda de 15%^{***} no mínimo, perda esta que deverá ser contabilizada na análise da energia elétrica consumida.

Deve-se também considerar o fato de que a vida útil de um rolamento é inversamente proporcional à velocidade de trabalho e inversamente proporcional ao cubo da solicitação mecânica.

^{***} Manual técnico Clark Transmissões e Manual Técnico Sumitomo Reduções

O rendimento também acompanha tal raciocínio, e, o redutor mecânico adotado foi fabricado para uma potência de $\frac{1}{2}$ cv, portanto, quando em solicitações mecânicas superiores a esta, o sistema de redução adotado terá uma baixa eficiência.

Este sistema só foi adotado devido ao baixo custo de implementação.

Dados técnicos da redução de engrenagens usados nesta implementação:

- Marca: Sumitomo
- Modelo: Ciclo redutor H 51.
- Relação: 29 : 1
- Número: 860548
- Potência: 0,5 cv
- Velocidade: 1800 rpm.

4.5. - MOTORES ADOTADOS PARA ESTE TRABALHO

Dentre os motores disponíveis, a escolha recaiu sobre um motor trifásico de $\frac{1}{2}$ cv, um motor trifásico de 1 cv, e obviamente, sobre o motor monofásico original da máquina.

Pode-se observar o aspecto físico destes motores nas figuras 4.5.1 e 4.5.2:

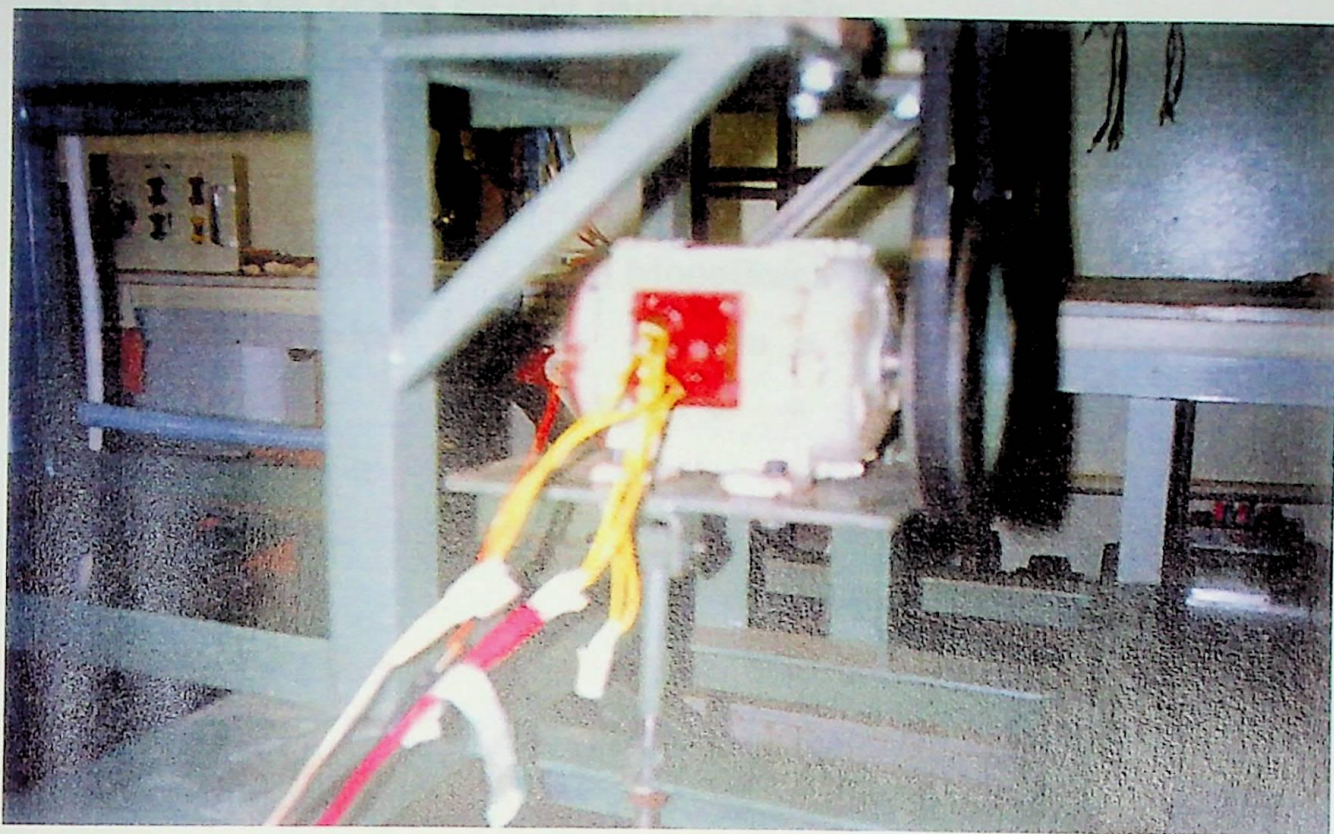


Figura 4.5.1: Motor de indução trifásico de $\frac{1}{2}$ cv



Figura 4.5.2: Motor de indução trifásico de 1 cv

Os dados de placa destes motores são:

Motor original.

- Marca: WEG
- Alimentação: Monofásica
- Velocidades: 430 rpm e 3 400 rpm
- Tensão: 120 V
- Frequência: 60 Hz
- Potência: 560 W

Motor trifásico 1

- Marca: WEG
- Alimentação: 220 / 380 V
- Velocidades: 1710 rpm
- Frequência: 60 Hz
- Potência: 0,5 cv

Motor trifásico 2

- Marca: WEG
- Alimentação: 220 / 380 / 440 / 760 V
- Velocidades: 1720 rpm
- frequência: 60 Hz
- Potência: 1 cv

4.6. - MANCAIS E EIXO DE TRANSMISSÃO ENTRE TAMBOR E REDUTOR MECÂNICO

O intuito ao se construir a bancada de testes, foi de além de se conseguir os dados para este trabalho, possibilitar a continuidade deste em outras pesquisas.

Desta forma, o eixo e os mancais de acoplamento mecânico foram projetados para alojar em seu meio um sensor de torque.

Na verdade, as especificações destes mancais foram retiradas das necessidades a serem supridas para o acoplamento de um sensor de torque.

Para se evitar vibrações, usou-se um conjunto de dois mancais por lado, formando-se assim dois eixos independentes, sendo o redutor acoplado a ponta de um, e o tambor a ponta do outro.

Entre estes dois eixos, será ajustado o sensor de torque, por intermédio de duas flanges.

Desta forma, em ensaios futuros usando-se um sensor de torque, haverá a possibilidade de saber com exatidão o comportamento da carga mecânica que o tambor representa, assim como o rendimento do sistema redutor.

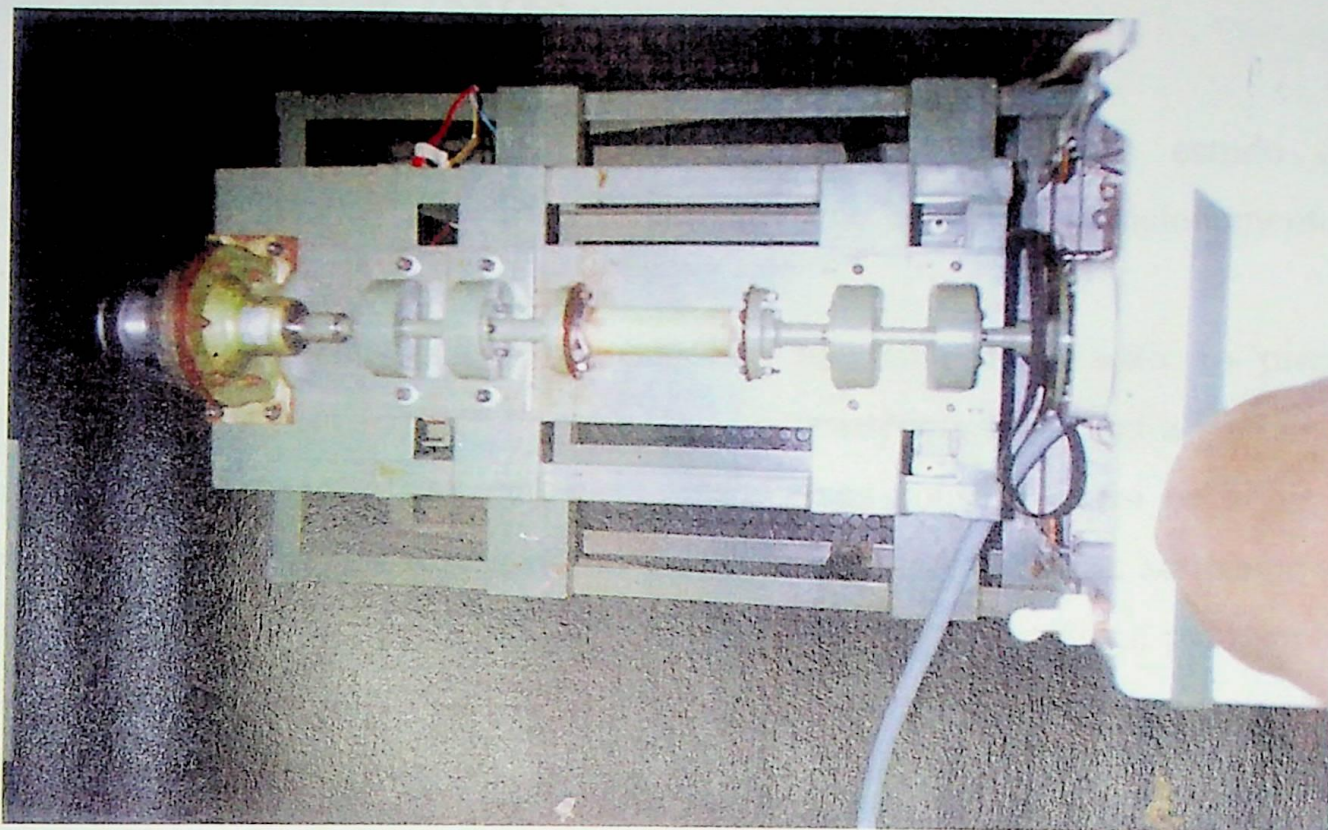


Figura 4.6.1: Eixo de acoplamento (vista de cima)



Figura 4.6.2: Eixo de acoplamento (vista lateral)

4.7. - A BANCADA DE TESTES

Como citado anteriormente, esta bancada possibilitará o estudo tanto mecânico como elétrico de vários fenômenos que envolvem o acionamento de cargas mecânicas.

Visando isto, para que a bancada não necessite de fixação no piso do laboratório, e também para que apresente alta resistência mecânica a solicitações estáticas e dinâmicas, o material usado para a sua construção foi perfil de aço proporcionando-se assim uma massa de aproximadamente 200 kg, suficiente para se garantir a estabilidade quando em serviço e resistência mecânica para suportar máquinas pesadas.

Pode-se observar o aspecto geral da bancada com a máquina ENXUTA e o motor acoplados na figura seguinte:



Figura 4.7.1: Bancada de testes

4.8. - INVERSORES DE FREQUÊNCIA

Na realização desta implementação, utilizou-se dois inversores distintos, um com potência disponível muito maior que os motores acionados e outro com uma baixa relação potência disponível por potência da carga.

Este fato, possibilita a comparação de um mesmo motor acionado por inversores diferentes, obtendo-se assim, dados para a análise dos efeitos gerados pelo acionamento elétrico.

Os inversores usados são de 2 cv e de 10 cv de potência disponível.

Neste caso, para o inversor de 2 cv, temos uma boa relação potência disponível por potência instalada o que já não é realidade para o inversor de 10 cv, pois os motores acionados são de 0,5 e 1,0 cv.

Esta relação para o acionamento do motor de 0,5 cv através do inversor de 10 cv é tão crítica, que este inversor não consegue sequer realizar os ensaios necessários para o acionamento com controle vetorial, estando este impossibilitado de ser realizado para esta configuração de carga.

Informações técnicas adquiridas através do estudo de várias implementações práticas com a utilização de inversores de frequência com altas relações de potência disponível por potência instalada tem mostrado que fatores como rendimento do equipamento inversor, desequilíbrio de fases e harmônicos alteram-se quando comparados com inversores mais adequados aos motores acionados.

O inversores utilizados são:

- Micromaster VC de 2 cv marca SIEMENS.
- Simovert VC de 10 cv marca SIEMENS.



Figura 4.8.1: Micromaster VC de 2 cv marca SIEMENS.



Figura 4.8.2: Simovert VC de 10 cv marca SIEMENS.

Ambos possuem capacidade de inversão de até 600 Hz, porém, as frequências características usadas neste trabalho são aproximadamente de 30 Hz para lavagem e 70 Hz para centrifugação.

4.9. - EQUIPAMENTO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

O equipamento usado para a aquisição de dados para análise foi o *RCC interlogger*.

Este equipamento possibilitou o monitoramento do comportamento do motor como carga elétrica para as diversas solicitações mecânicas oriundas do tambor da máquina de lavar.

Através da técnica de aquisição de dados, obteve-se uma massa de dados, que permitiu uma boa visão a respeito da real situação de operação do motor e dos impactos que os acionamentos adotados apresentam para o sistema de suprimento de energia elétrica.

O tempo mínimo de monitoramento para que os dados adquiridos se tornem confiáveis é de 1 minuto, sendo o valor apresentado, a média dos valores correntes durante este minuto.

A escolha do RCC se deve ao fato de este ser confiável e possuir comandos simples, além de ser estável na comunicação com o microcomputador no transporte dos dados.

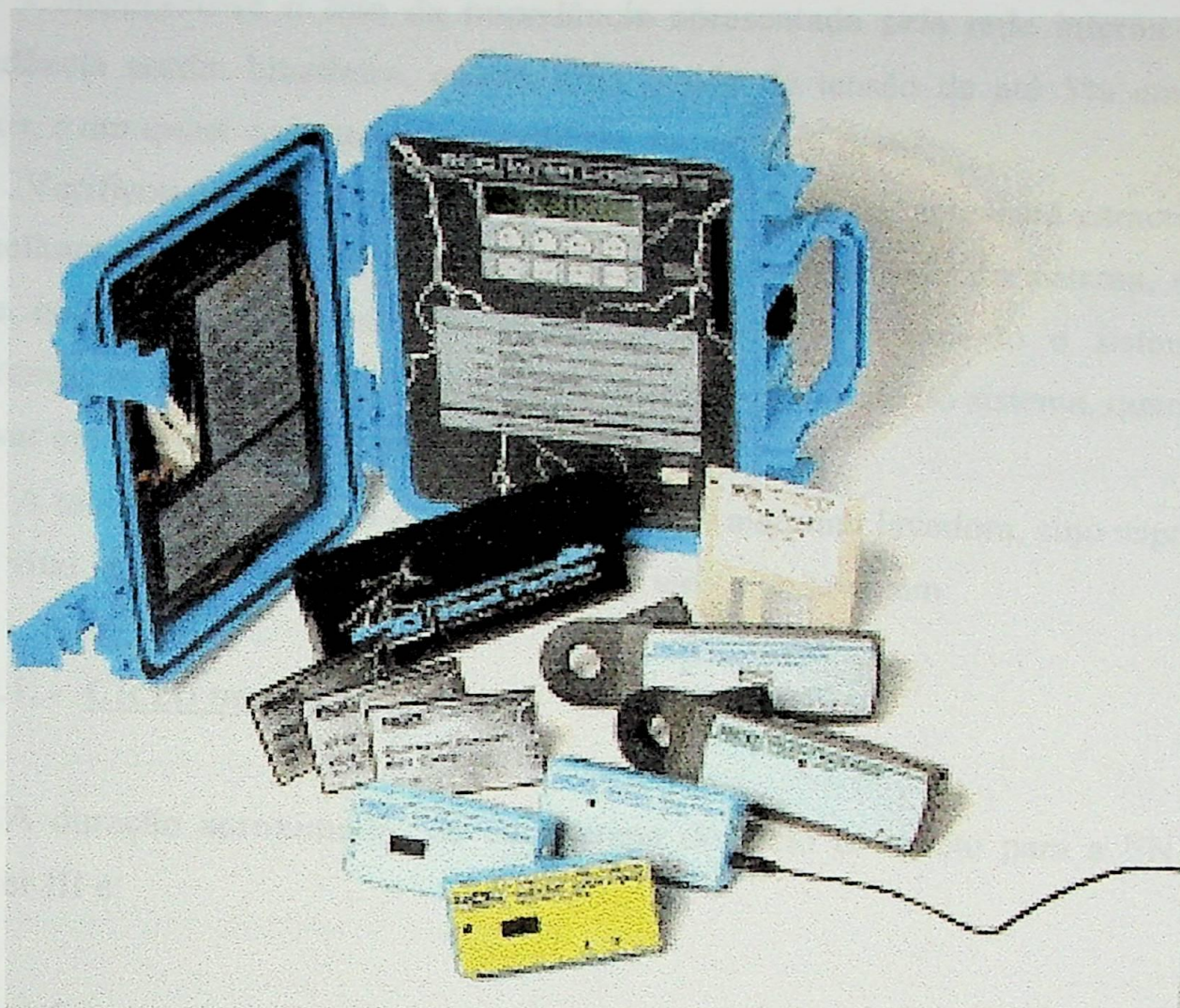


Figura 4.9.1: RCC Interlogger

4.10. - O ARRANJO EXPERIMENTAL

Para se conseguir adquirir as informações referentes às grandezas elétricas envolvidas, instalou-se as garras de captura de sinal de corrente (sensor de efeito *hall*) e as de captura de sinal de tensão (contato elétrico) entre a rede elétrica e o inversor de frequência, possibilitando-se assim, a formação da massa de dados pelo *RCC Interlogger*.

A tomada de energia elétrica foi realizada em um quadro de distribuição existente na sala do laboratório em que se realizou o ensaio.

Considerou-se o fato da impedância apresentada pela rede interna de uma residência média brasileira, causar uma queda de tensão de até 5% em muitos casos, e um quase constante desequilíbrio de pequeno porte.

Verificou-se que a rede do laboratório em questão, apresenta características semelhantes a estas, possibilitando uma análise da operação do sistema, em uma rede que apresenta quedas de tensão e desequilíbrio quando o sistema está operando, aumentando-se a semelhança no comportamento do sistema, quando este estiver em operação em uma residência.

A tomada de água, foi instalada próxima a máquina lavadora, cujo suprimento é de vital importância para a realização dos ciclos de lavagem.

4.10.1. - CICLO DE TRABALHO

A duração aproximada de cada etapa do ciclo completo para a ENXUTA Master III é:

- | | |
|-------------------|--------------------------|
| a) Lavagem: | 26 minutos contínuos |
| b) Enxágüe: | 28 minutos contínuos |
| c) Centrifugação: | 10 minutos intermitentes |
| d) Bombeamento: | 8 minutos intermitentes |

Na operação de lavagem, o motor roda o tambor para ambos os lados, com uma rotação de aproximadamente 50 rpm, mantendo a rotação constante por aproximadamente 26 minutos, sendo que o número de lavagens, depende do tipo de ciclo escolhido pelo usuário.

Para o ciclo mínimo, o sistema apresenta duas lavagens.

A centrifugação é executada com uma rotação de 180 rpm aproximadamente, em ambos os sentidos, sendo que no sistema original, o aumento da velocidade sempre ocorre a partir da velocidade de lavagem.

Ou seja, o motor opera em lavagem por uns poucos instantes e logo em seguida, acelera até atingir a velocidade de centrifugação, onde permanece por aproximadamente 2 minutos.

O bombeamento da água que foi retirada da roupa é realizado durante 1 minuto aproximadamente, por uma bomba de pequena potência, cujo motor usado é de 30 W aproximadamente.

O ciclo de trabalho ensaiado para todos os casos foi o seguinte:

- 1 - Carregamento de água e molho com operações de lavagens intermitentes por 20 minutos aproximadamente.
- 2 - Bombeamento da água de lavagem e molho.
- 3 - Carregamento de água limpa.
- 4 - Operação de lavagem para enxágüe com água limpa por 10 minutos.
- 5 - Bombeamento da água de enxágüe.
- 6 - Partida da centrifugação, ficando em operação por 2 minutos.
- 7 - Operação de lavagem apenas com o resíduo da água para nova posição de conformação da roupa por 10 minutos.
- 8 - Novo bombeamento de água.
- 9 - Nova centrifugação por 2 minutos.

- 10 - Operação de lavagem para conformação da roupa com resíduo de água por 8 minutos.
- 11 - Bombeamento da água.
- 12 - Centrifugação por 6 minutos.
- 13 - Operação de lavagem por 2 minutos com água residual.

A operação de aquecimento de água, não foi considerada neste trabalho, pois este recurso é muito particular da máquina escolhida, não sendo um recurso obrigatório em outras máquinas, e além disto, o presente trabalho não trata de nenhum recurso para a otimização da energia consumida pela resistência de aquecimento.

Um possível estudo futuro, usando a técnica aqui sugerida anteriormente, poderá mostrar alguns dados neste sentido.



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS
NOS ENSAIOS LABORATORIAIS

5.1. - INTRODUÇÃO

Neste capítulo analisa-se efeitos como desregulação de tensão, corrente, energia consumida, potência consumida e harmonicas no sistema de alimentação do acionamento de uma carga doméstica para diferentes condições de trabalho.

O objetivo é realizar uma análise comparativa entre um sistema alternativo e o sistema original de acionamento de uma carga elétrica.

5.2. - LEGENDA

Adota-se a seguinte legenda para carga leve e carga pesada:

- | | |
|------------------------|----------------------|
| ○ Carga leve (1,5 kg); | ○ condições ímpares; |
| ● Carga pesada (4 kg); | ○ condições pares. |

Como para estas duas condições de trabalho, foram usados diferentes motores e inversores, conveniona-se o seguinte:

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS LABORATORIAIS.

5.1. - INTRODUÇÃO

Neste capítulo, analisa-se efeitos como desequilíbrio de tensão, corrente, energia consumida, potência consumida e harmônicos no sistema da alimentação do acionamento de uma carga doméstica para diferentes condições de trabalho.

O objetivo é realizar uma análise comparativa entre um sistema alternativo e o sistema original de acionamento para a carga mecânica.

5.2. - LEGENDA ADOTADA NOS ENSAIOS

Adota-se a seguinte legenda para carga leve e carga pesada:

- Carga leve (1,5 kg): condições ímpares.
- Carga pesada (4 kg): condições pares.

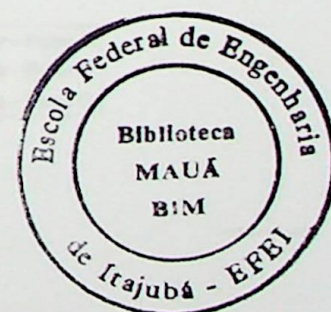
Como para estas duas condições de trabalho, foram usados diferentes motores e inversores, convencionou-se o seguinte:

Condição	Carga	Motor (cv)	Inversor (cv)	Operação
1	leve	Original	---	---
2	pesada	Original	---	---
3	leve	0,5	10	Escalar
4	pesada	0,5	10	Escalar
5	leve	1	10	Escalar
6	pesada	1	10	Escalar
7	leve	1	10	Vetorial
8	pesada	1	10	Vetorial
9	Leve	1	2	Escalar
10	pesada	1	2	Escalar
11	leve	1	2	Vetorial
12	pesada	1	2	Vetorial

Tabela 5.2.1: Condições de trabalho

5.3. - ANÁLISE COMPARATIVA DO COMPORTAMENTO DA CORRENTE PARA CARGA DE LAVAGEM “LEVE”

O comportamento da corrente para os diversos acionamentos e motores usados para acionar o tambor da máquina lavadora pode ser observado nos gráficos a seguir que foram obtidos nos ensaios:



Perfil de corrente na condição 1

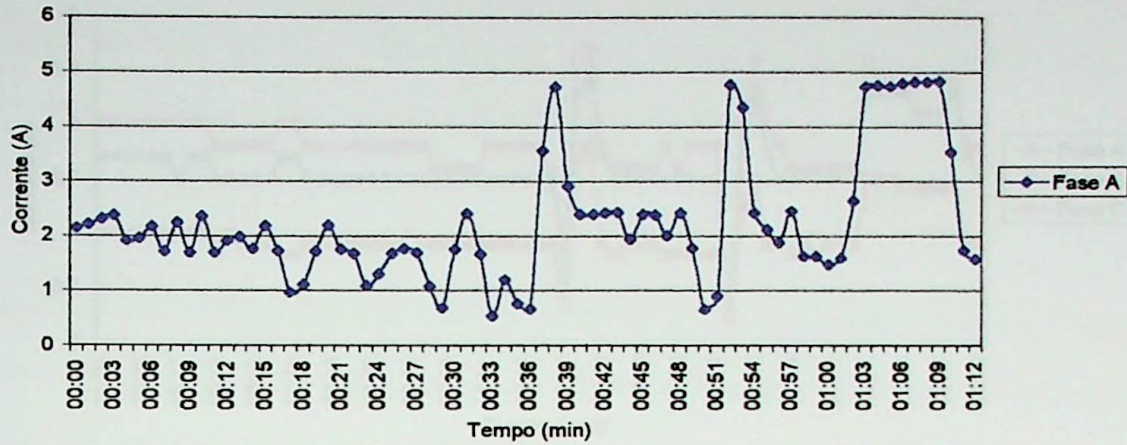


Figura 5.3.1: Perfil de corrente na condição 1

Perfil de corrente na condição 3

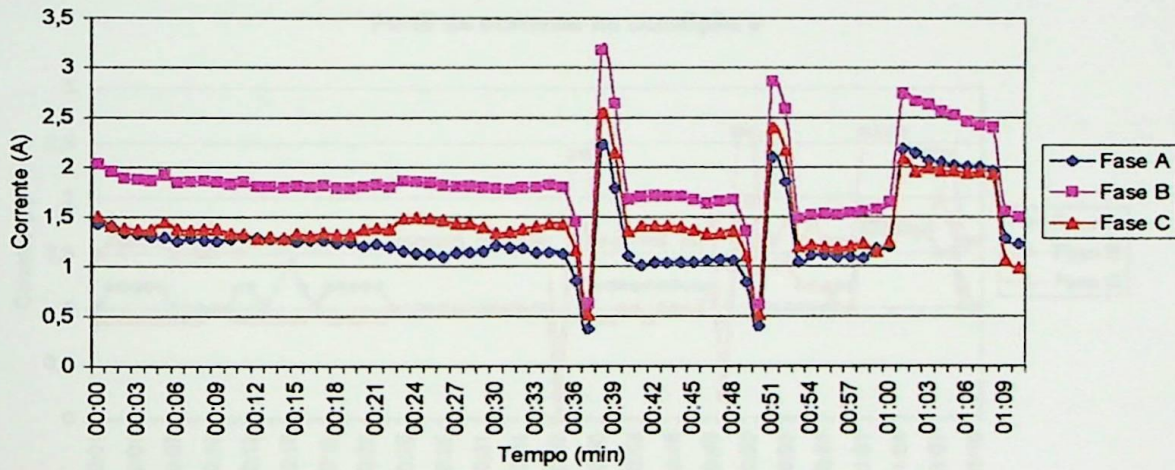


Figura 5.3.2: Perfil de corrente na condição 3

Perfil de corrente na condição 5

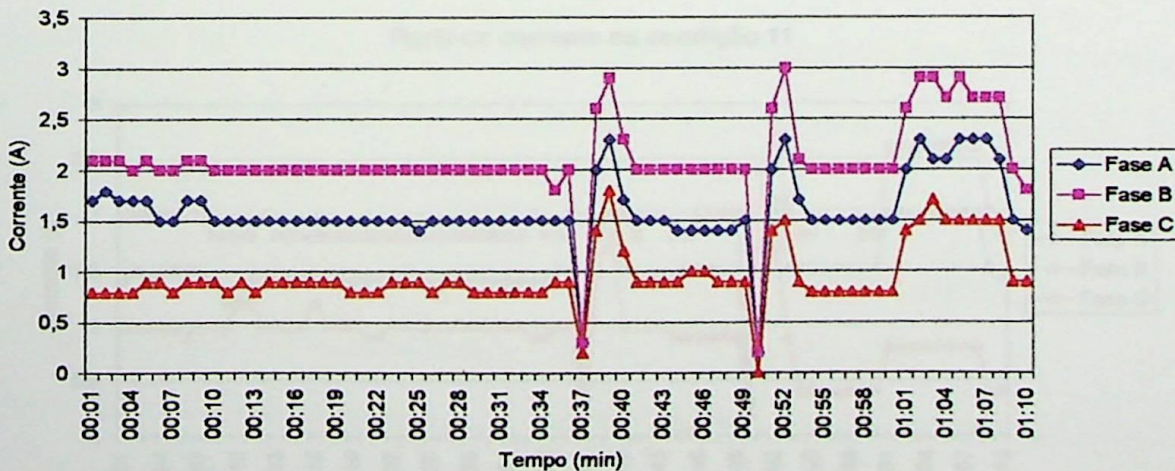


Figura 5.3.3: Perfil de corrente na condição 5

Perfil de corrente na condição 7

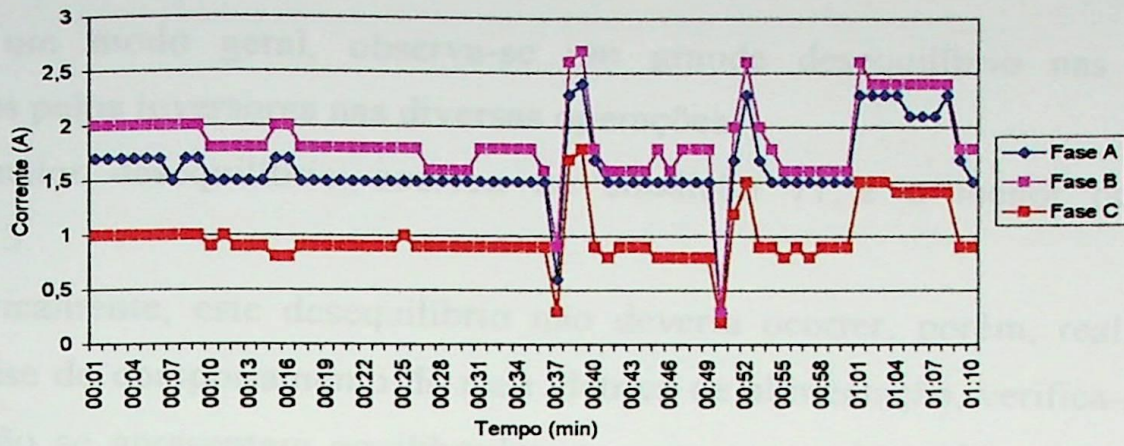


Figura 5.3.4: Perfil de corrente na condição 7

Perfil de corrente na condição 9

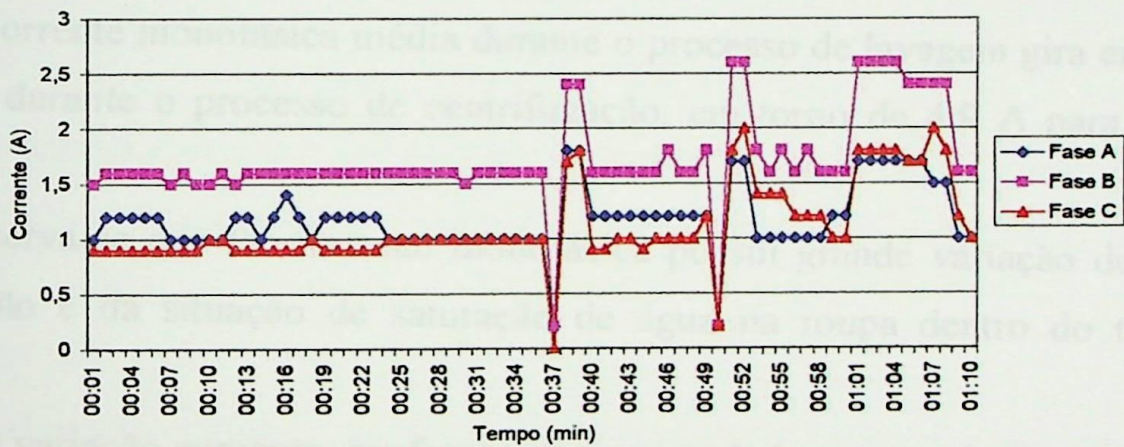


Figura 5.3.5: Perfil de corrente na condição 9

Perfil de corrente na condição 11

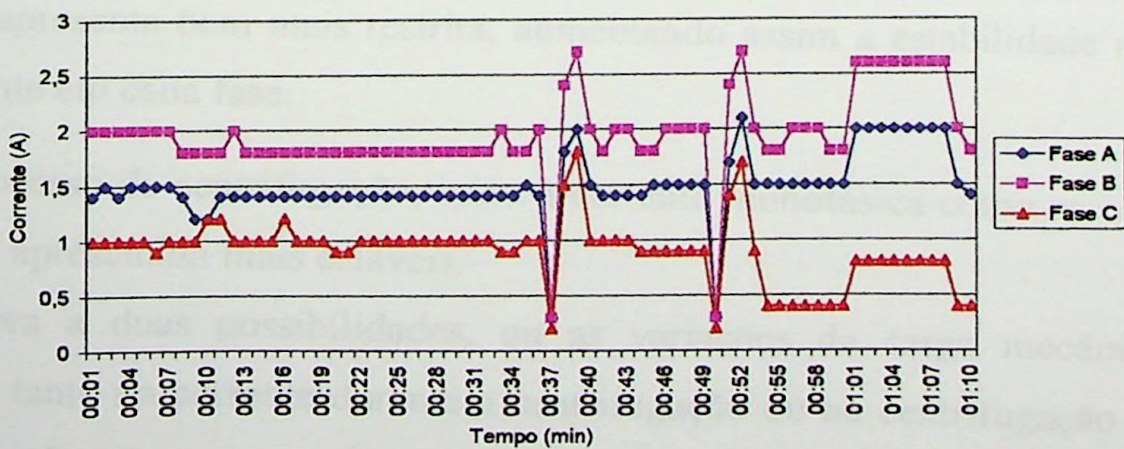


Figura 5.3.6: Perfil de corrente na condição 11

CONSIDERAÇÕES

De um modo geral, observa-se um grande desequilíbrio nas correntes solicitadas pelos inversores nas diversas operações.

O maior desequilíbrio ocorreu na condição 11, e o menor ocorreu na condição 3.

Teoricamente, este desequilíbrio não deveria ocorrer, porém, realizando-se uma análise do comportamento da rede elétrica de alimentação, verifica-se que as tensões não se apresentam equilibradas, e, como na maioria dos casos, a maior corrente trifásica ocorreu na fase que se apresenta com maior valor de tensão, desta forma, concluiu-se que as impedâncias de cada ramo trifásico da rede de alimentação apresentam valores diferentes.

A corrente monofásica média durante o processo de lavagem gira em torno de 1,5 A e durante o processo de centrifugação, em torno de 4,9 A para o sistema original.

Observa-se que tal corrente monofásica possui grande variação dependendo da posição e da situação de saturação de água na roupa dentro do tambor da máquina.

Esta variação aumenta, conforme o processo de lavagem se aproxima do fim.

Desta forma, verifica-se uma grande relação entre o estado da carga mecânica e a corrente consumida para o sistema original.

Já no sistema trifásico, mesmo havendo um desequilíbrio nas correntes, tal relação se apresenta bem mais restrita, aumentando assim a estabilidade no valor desta corrente em cada fase.

No processo de centrifugação, tanto a corrente monofásica como as correntes trifásicas se apresentam mais estáveis.

Isto leva a duas possibilidades, ou as variações da carga mecânica não influenciam tanto na corrente durante a centrifugação ou na centrifugação não há grandes variações na carga mecânica.

A segunda possibilidade apresenta-se viável, pois a velocidade sendo alta, as mudanças de posição da roupa durante a centrifugação são mínimas.

O desequilíbrio nas correntes ocorreu da mesma forma para a maior parte dos ensaios, apresentando assim um padrão de comportamento, que pode ser colocado como:

- Maior corrente: Fase B
- Corrente intermediária: Fase A
- Menor corrente: Fase C

Este comportamento, só não se verificou na condição 3, onde o valor da corrente de fase A esteve muito próximo do valor da corrente da fase C.

5.4. - ANÁLISE COMPARATIVA DO COMPORTAMENTO DA CORRENTE PARA CARGA DE LAVAGEM “PESADA”

Pode-se observar nos gráficos a seguir o comportamento da corrente para carga de 4 kg de roupa no tambor.

Tal comportamento refere-se a operação de lavagem com carga máxima de roupa admitida pelo modelo de lavadora (4 kg), usada nos ensaios laboratoriais.

Perfil de corrente na condição 2

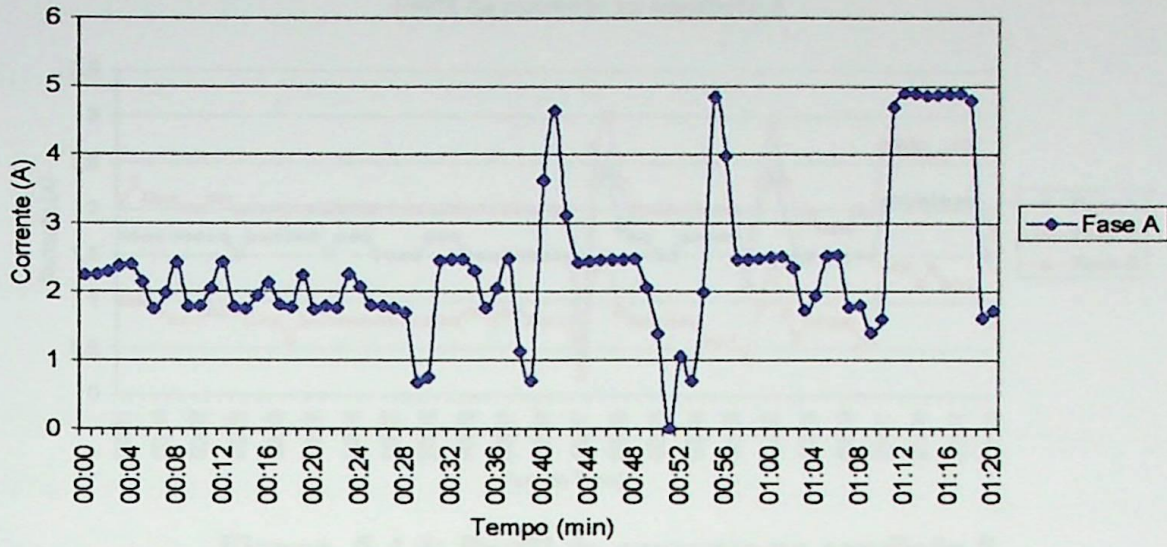


Figura 5.4.1: Perfil de corrente na condição 2

Perfil de corrente na condição 4

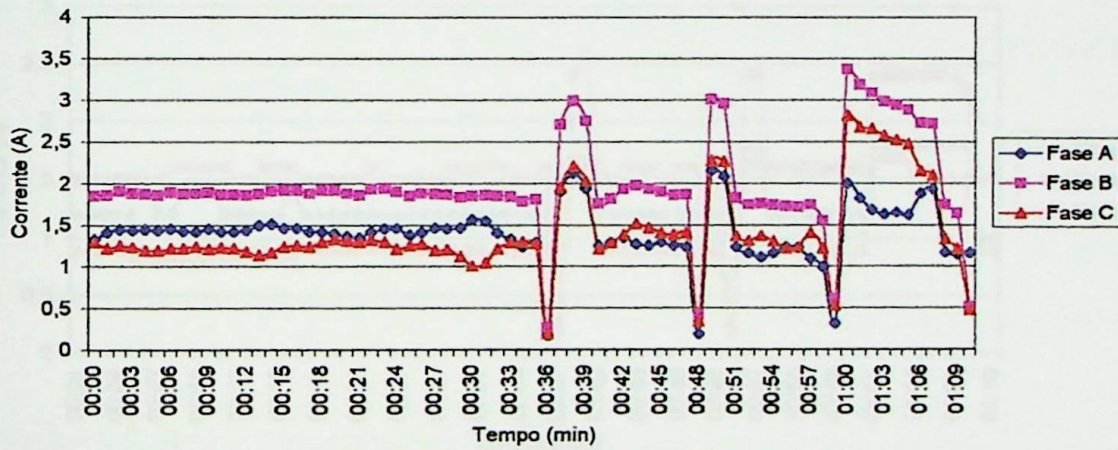


Figura 5.4.2: Perfil de corrente na condição 4

Perfil de Corrente na Condicao 6

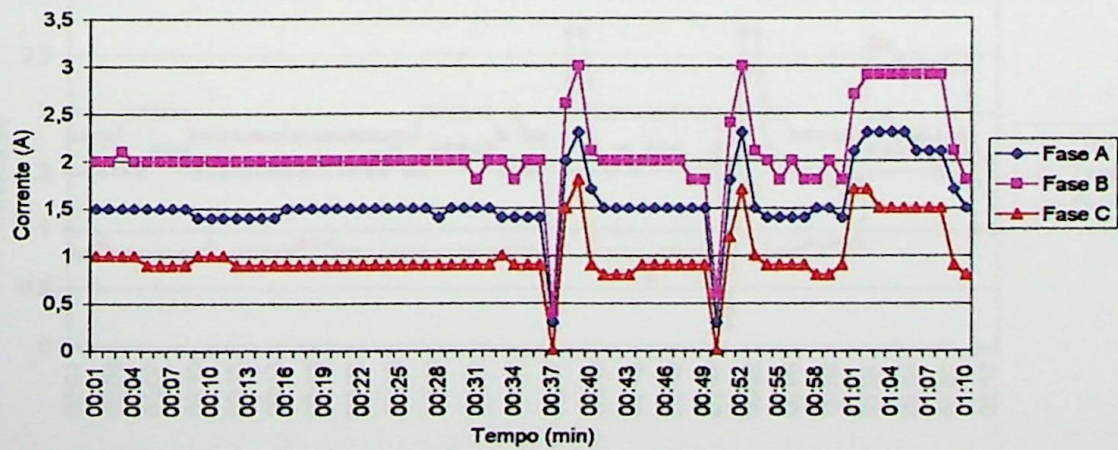


Figura 5.4.3: Perfil de corrente na condição 6

Perfil de corrente na condição 8

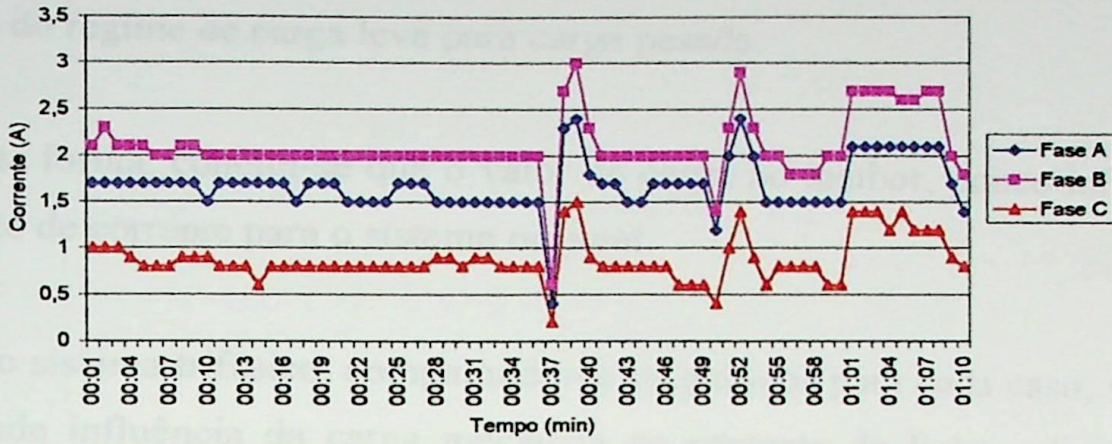


Figura 5.4.4: Perfil de corrente na condição 8

Perfil de Corrente na Condicao 10

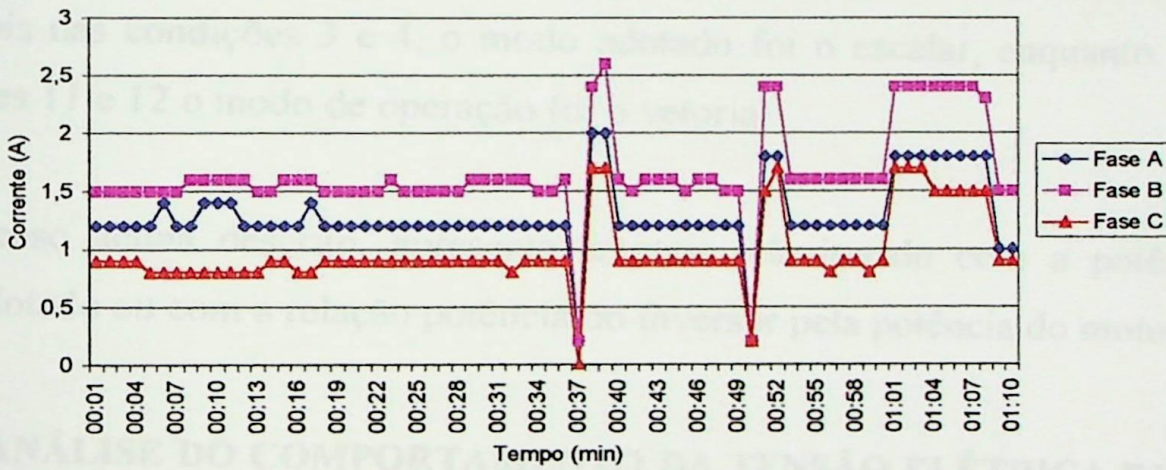


Figura 5.4.5: Perfil de corrente na condição 10

Perfil de Corrente na Condicao 12

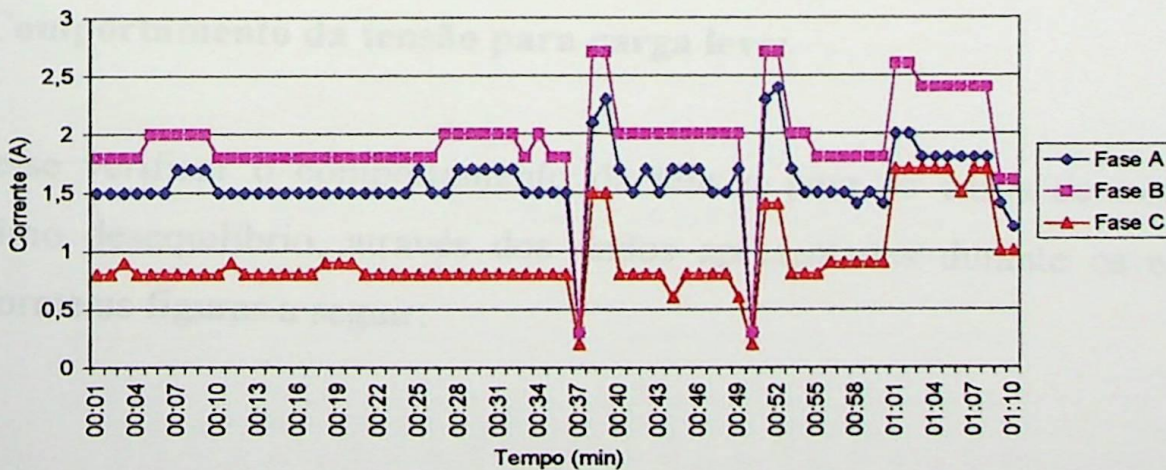


Figura 5.4.6: Perfil de corrente na condição 12

Observa-se que houve um aumento na estabilidade da corrente monofásica durante a lavagem, mas durante a centrifugação, praticamente não ocorreu alteração do regime de carga leve para carga pesada.

Desta forma, conclui-se que o valor da carga no tambor, pouco influencia na solicitação de corrente para o sistema original.

Já no sistema trifásico, comparando-se os gráficos para cada caso, verifica-se uma grande influência da carga mecânica na corrente de linha solicitada pelos inversores nas condições 3 e 4 e também para as condições 11 e 12.

O fato do modo de operação ser escalar ou vetorial parece não determinar este caso, pois nas condições 3 e 4, o modo adotado foi o escalar, enquanto que nas condições 11 e 12 o modo de operação foi o vetorial.

O caso acima descrito, apresenta-se mais relacionado com a potência do motor adotado ou com a relação potência do inversor pela potência do motor.

5.5. - ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA TENSÃO ELÉTRICA PARA OS CASOS DE OPERAÇÃO EM CARGA LEVE E PESADA

a) Comportamento da tensão para carga leve:

Pode-se verificar o comportamento da tensão para os casos de mínimo e máximo desequilíbrio, através dos dados apresentados durante os ensaios, conforme as figuras a seguir:

Comportamento da tensão para carga de lavagem leve

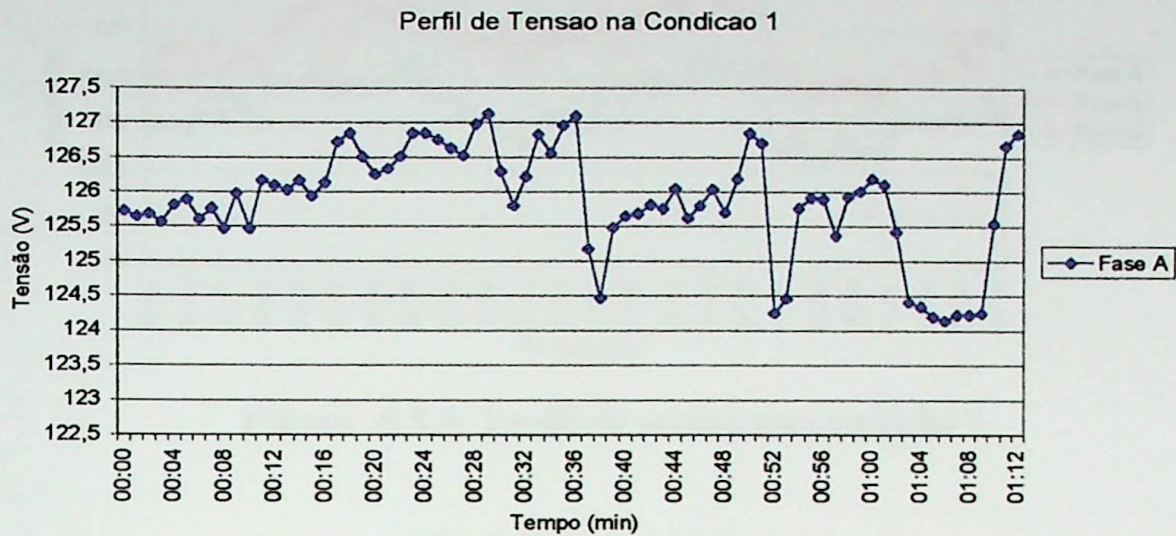


Figura 5.5.1: Perfil de tensão na condição 1

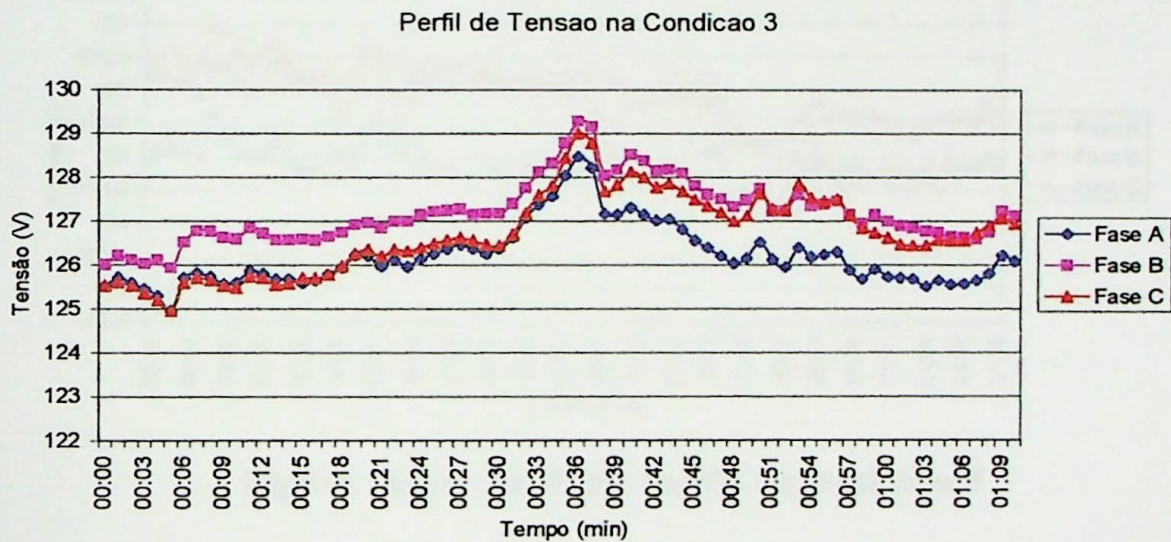


Figura 5.5.2: Perfil de tensão na condição 3

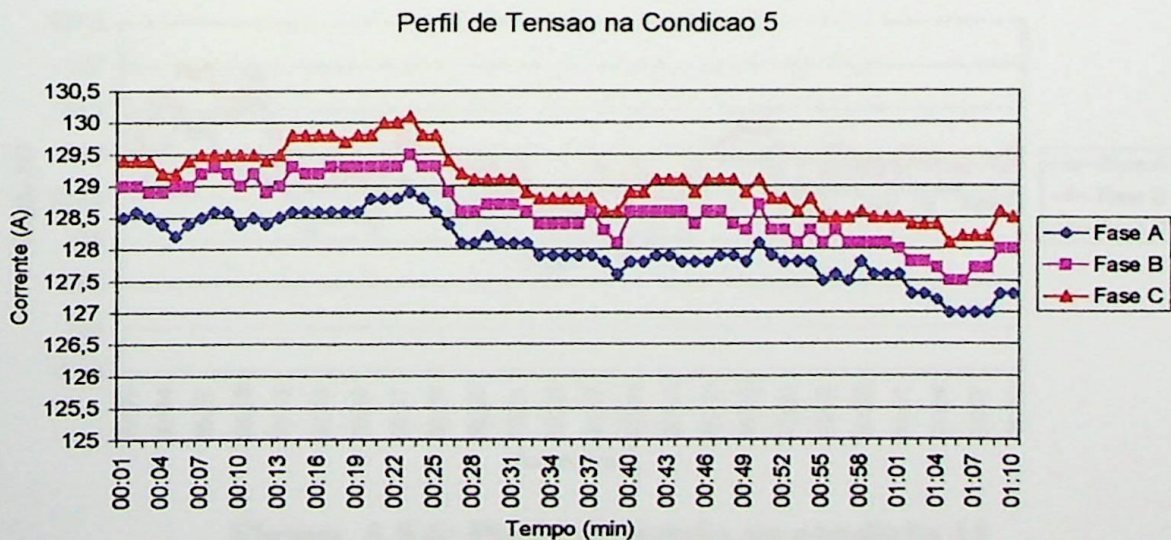


Figura 5.5.3: Perfil de tensão na condição 5

Perfil de Tensao na Condiçao 7

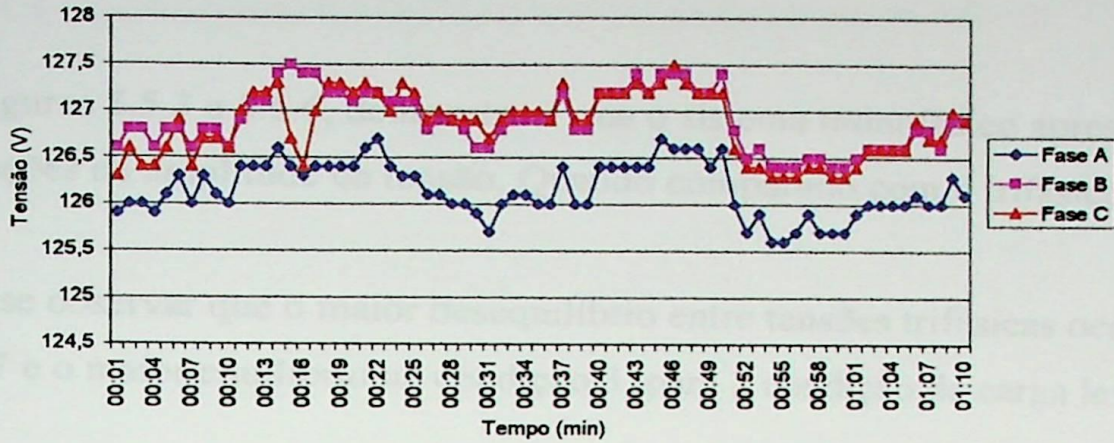


Figura 5.5.4: Perfil de tensão na condição 7

Perfil de Tensao na Condiçao 9

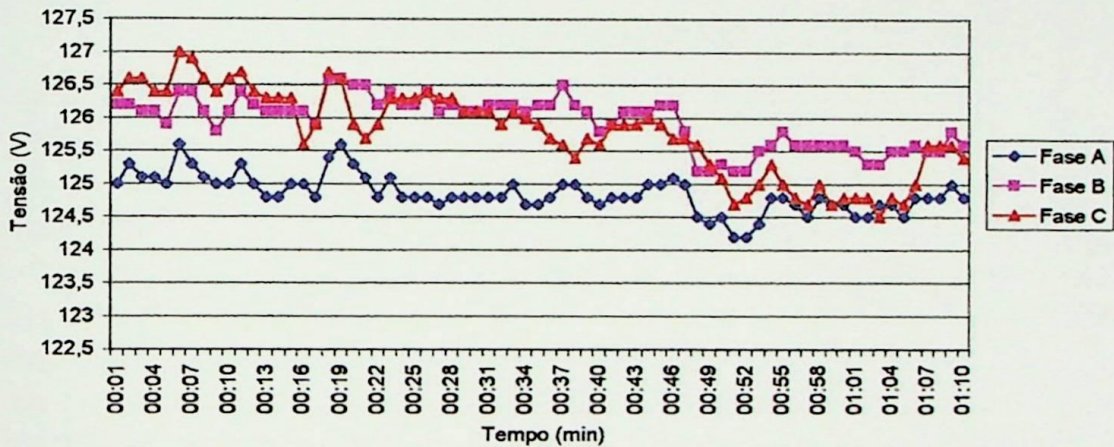


Figura 5.5.5: Perfil de tensão na condição 9

Perfil de Tensao na Condiçao 11

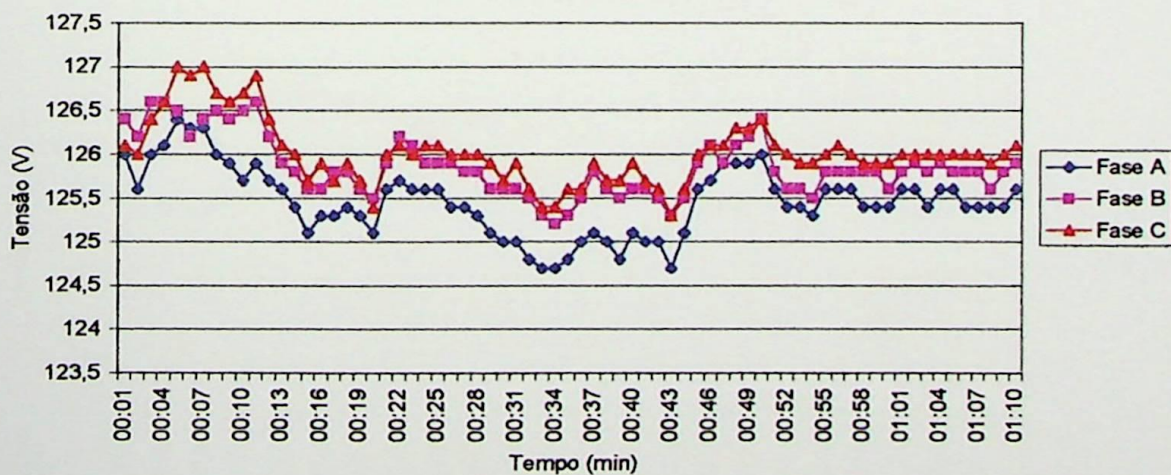


Figura 5.5.6: Perfil de tensão na condição 11

CONSIDERAÇÕES

As figuras 5.5.3 a 5.5.6, demonstram que o sistema monofásico apresenta altas variações na amplitude da tensão. Quando comparado com o trifásico.

Para se observar que o maior desequilíbrio entre tensões trifásicas ocorre na condição 7 e o maior equilíbrio na condição 3, para a condição de carga leve de lavagem.

Tal comportamento da tensão, pode ser o responsável pelo desequilíbrio apresentado nas amplitudes das correntes.



Figura 5.5.3c Perfil de tensão em condição 4

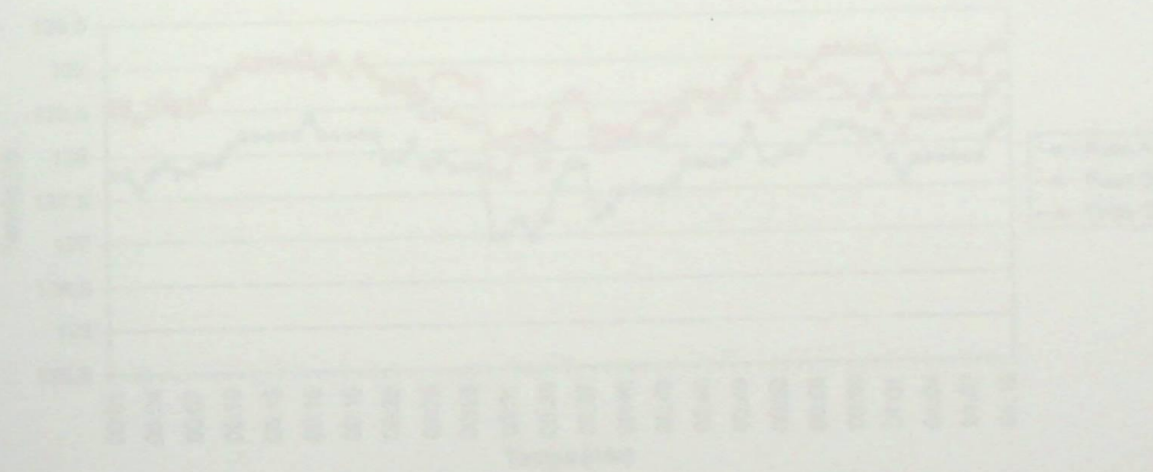


Figura 5.5.3d Perfil de tensão em condição 6

b) Comportamento da tensão para carga de lavagem pesada

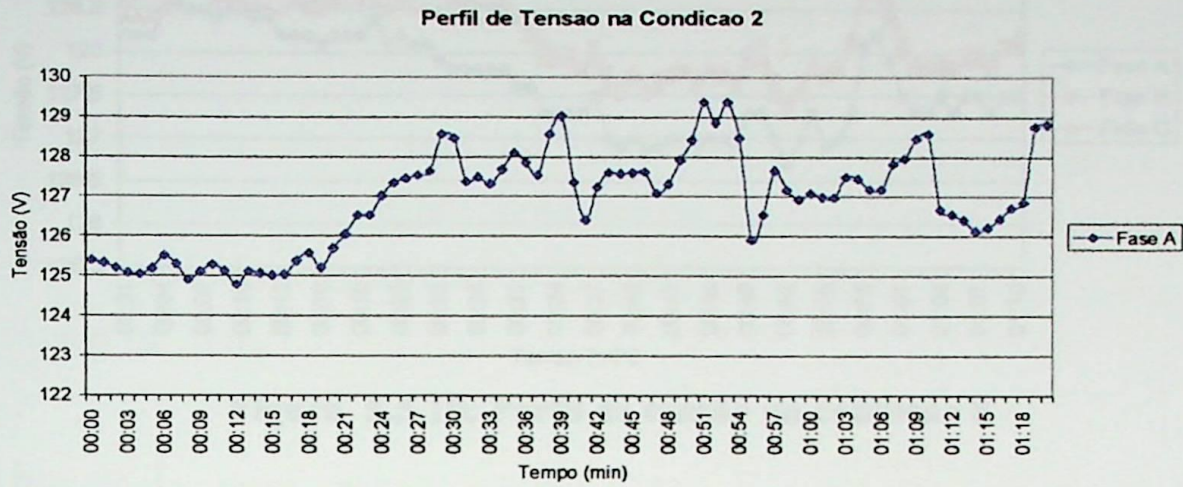


Figura 5.5.7: Perfil de tensão na condição 2

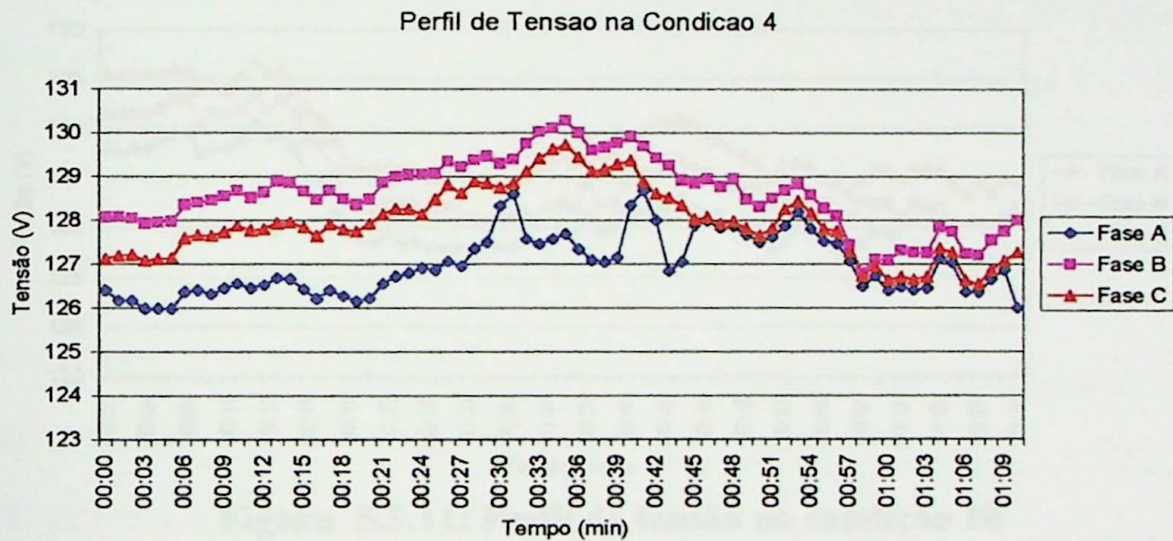


Figura 5.5.8: Perfil de tensão na condição 4

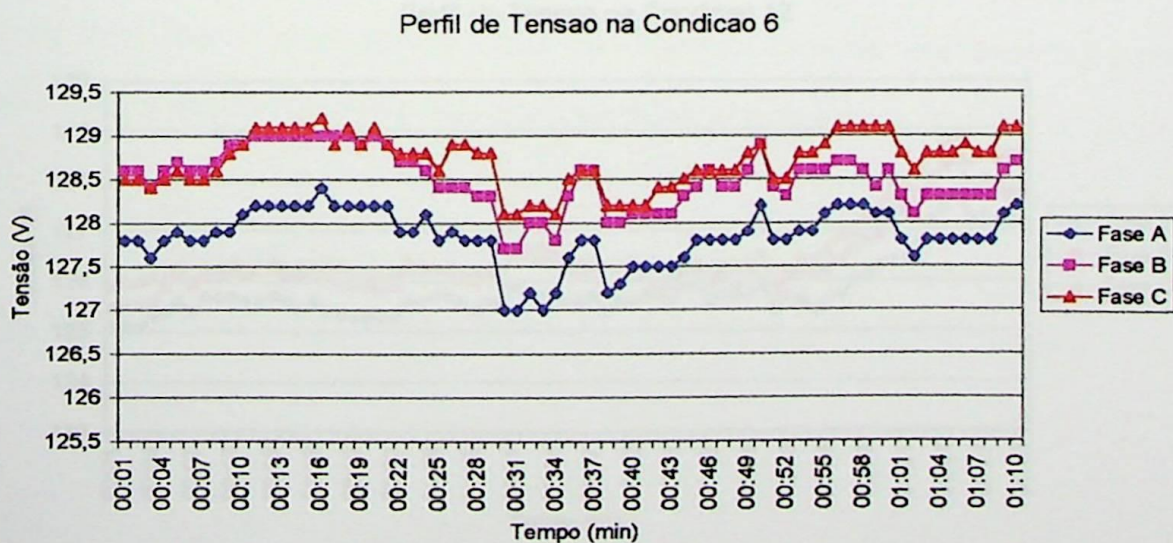


Figura 5.5.9: Perfil de tensão na condição 6

Perfil de Tensao na Condicao 8

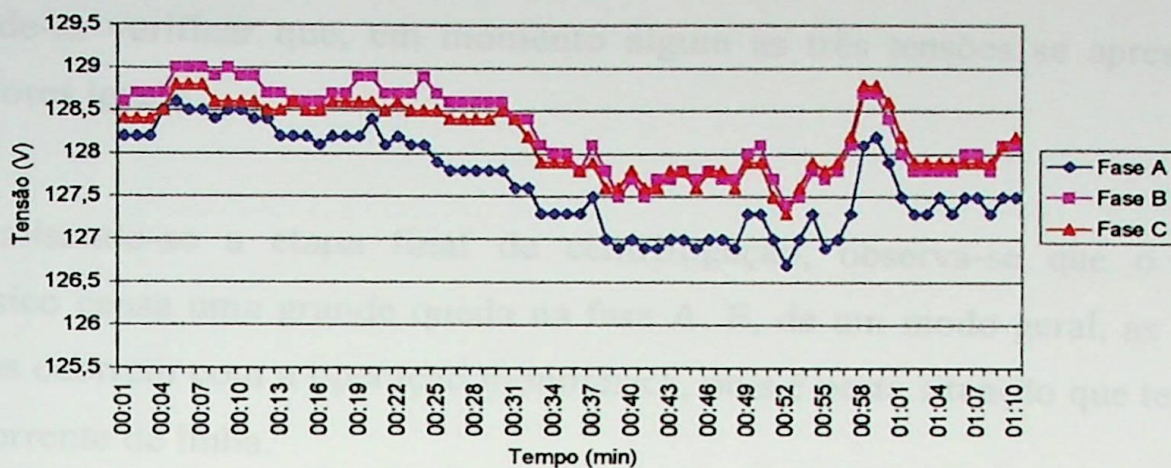


Figura 5.5.10: Perfil de tensão na condição 8

Perfil de Tensao na Condicao 10

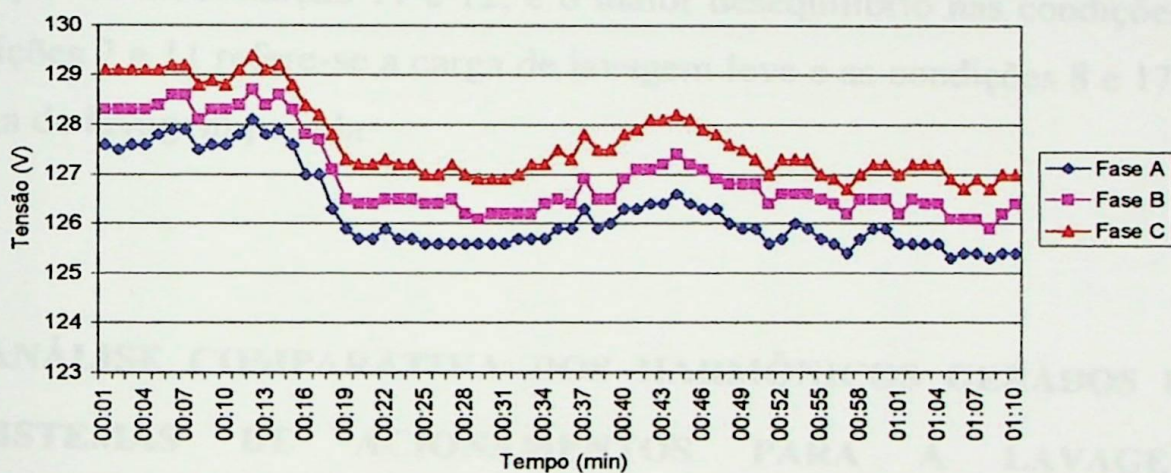


Figura 5.5.11: Perfil de tensão na condição 10

Perfil de Tensao na Condicao 12

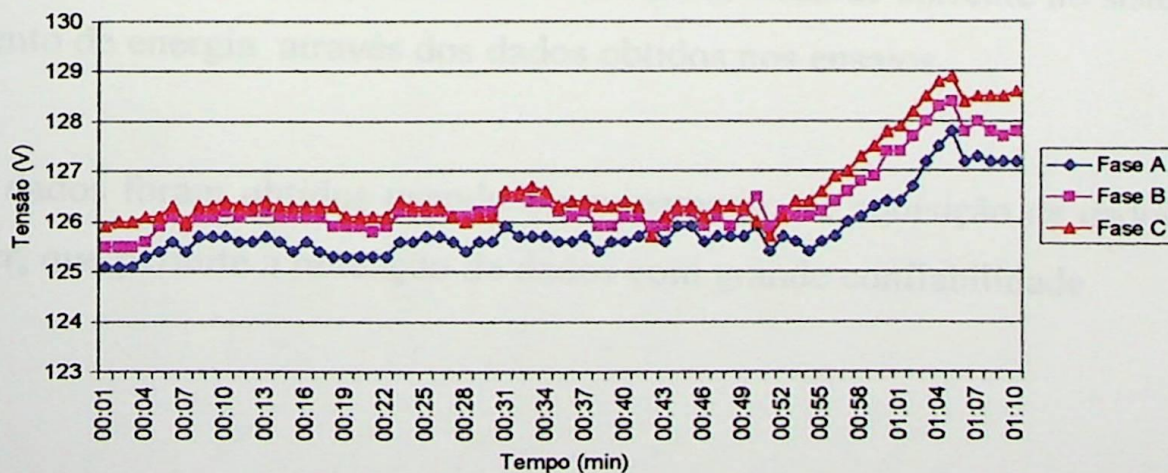


Figura 5.5.12: Perfil de tensão na condição 12

Pode-se verificar que, em momento algum as três tensões se apresentaram com valores iguais.

Analisando-se a etapa final de centrifugação, observa-se que o sistema monofásico causa uma grande queda na fase A. E, de um modo geral, as maiores variações ocorrem com a operação monofásica, pois é nesta situação que teremos a maior corrente de linha.

De um modo geral, para o sistema trifásico, a maior equalização entre as tensões aparece na condição 11 e 12, e o maior desequilíbrio nas condições 7 e 8. As condições 7 e 11 refere-se a carga de lavagem leve e as condições 8 e 17 refere-se a carga de lavagem pesada.

5.6. - ANÁLISE COMPARATIVA DOS HARMÔNICOS GERADOS PELOS SISTEMAS DE ACIONAMENTOS PARA A LAVAGEM E CENTRIFUGAÇÃO PARA CARGA LEVE E PESADA

Pode-se verificar o comportamento dos harmônicos de corrente no sistema de fornecimento de energia através dos dados obtidos nos ensaios.

Tais dados foram obtidos usando o equipamento de aquisição de dados RCC Interlogger, que permite a obtenção de dados com grande confiabilidade.

5.6.1. - COMPORTAMENTO DOS HARMÔNICOS DE CORRENTE NA LAVAGEM COM CARGA LEVE.

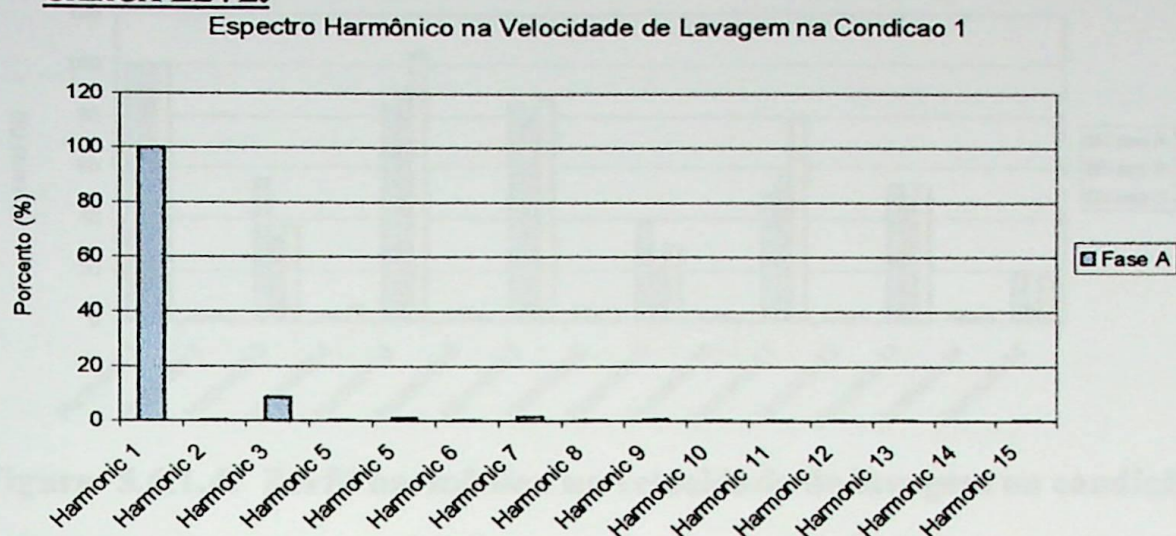


Figura 5.6.1.1: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 1

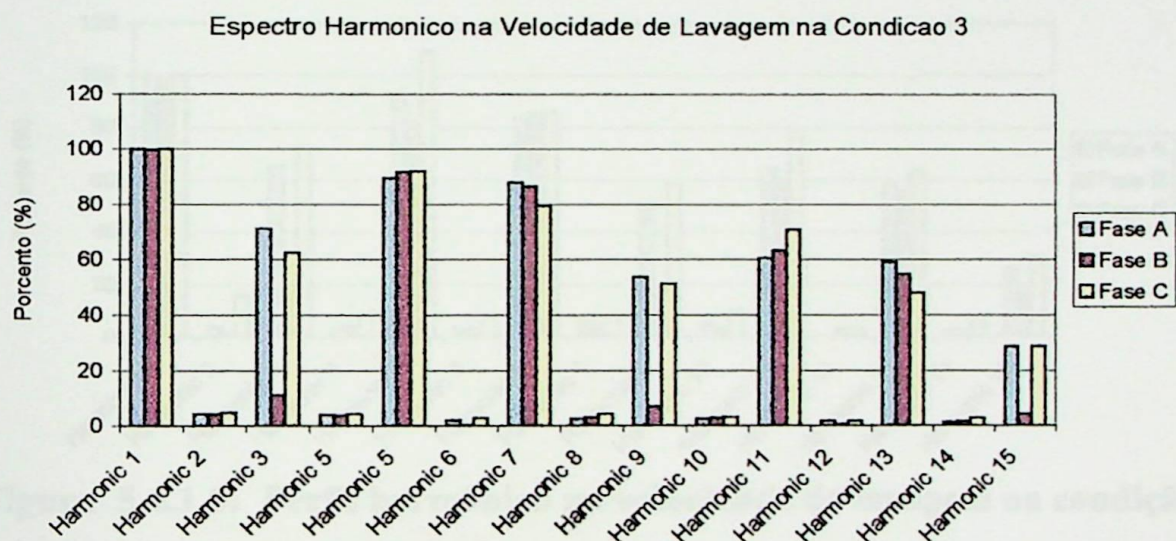


Figura 5.6.1.2: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 3

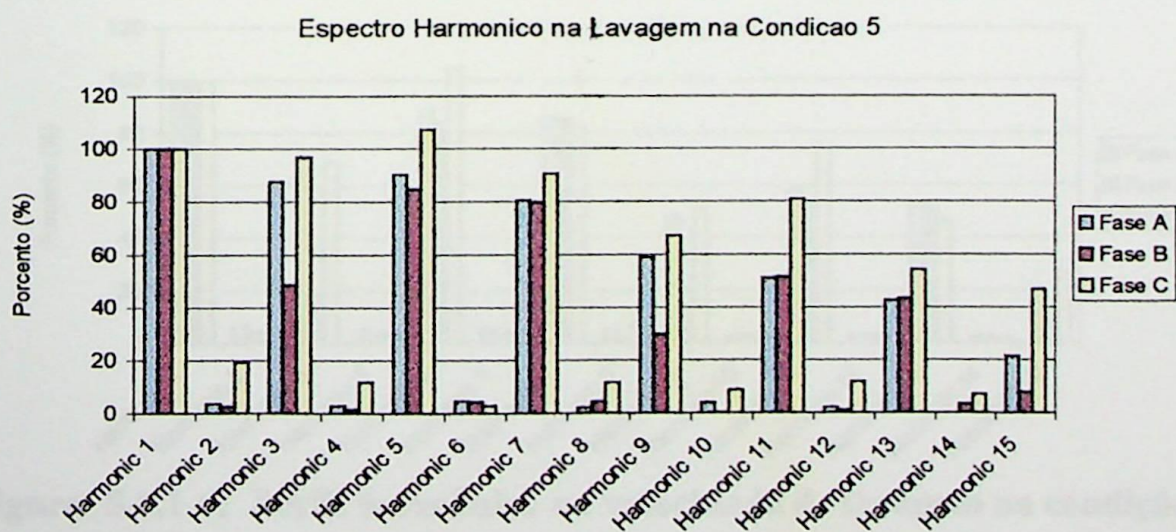


Figura 5.6.1.3: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 5

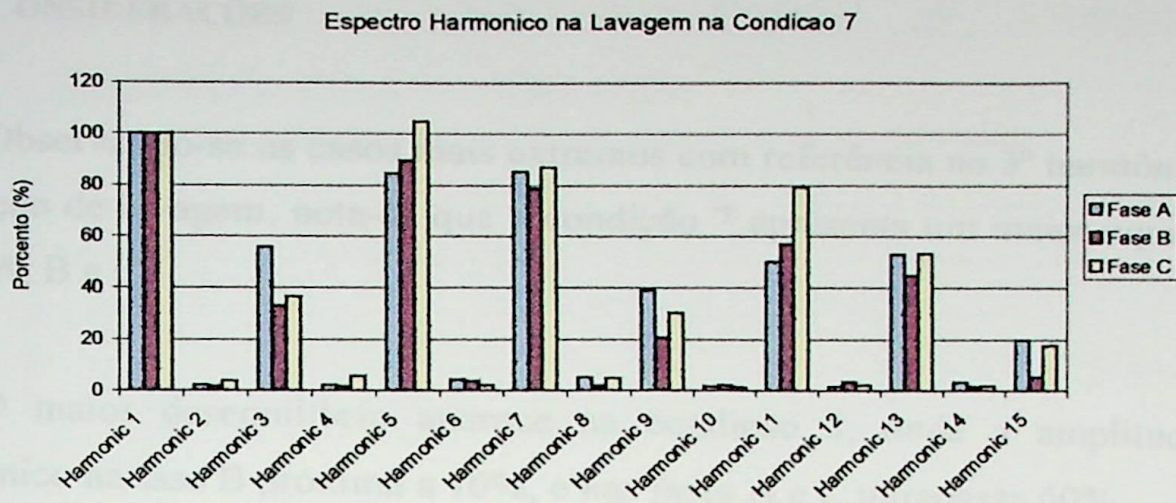


Figura 5.6.1.4: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 7

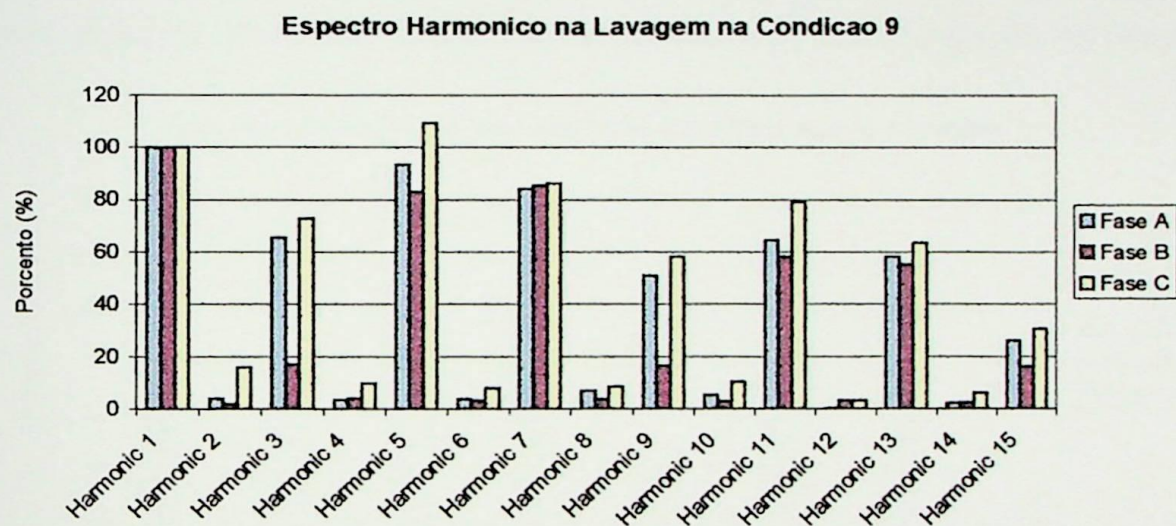


Figura 5.6.1.5: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 9

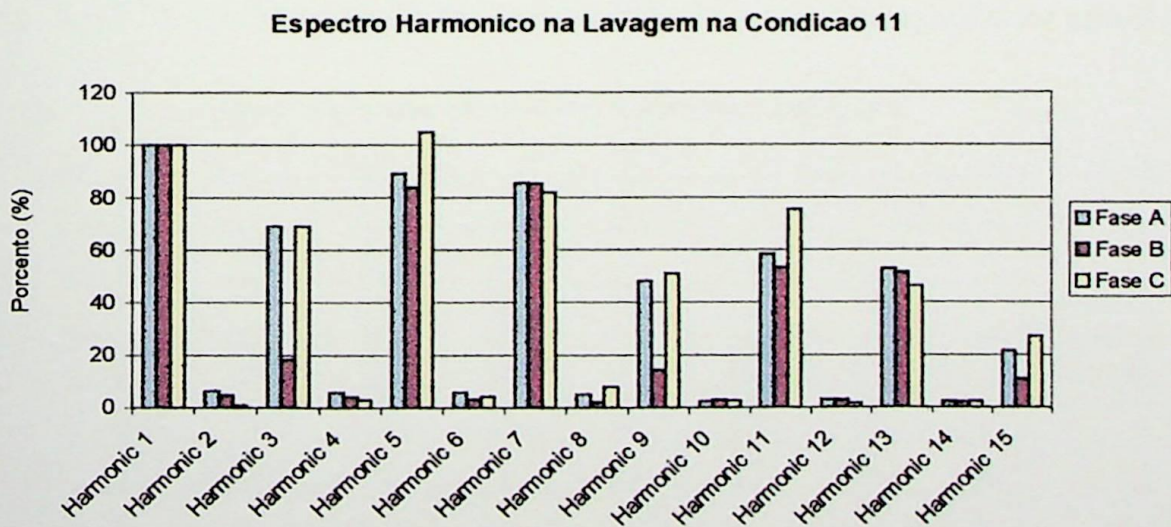


Figura 5.6.1.6: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 11

CONSIDERAÇÕES

Observando-se os casos mais extremos com referência no 3º harmônico para a operação de lavagem, nota-se que a condição 7 apresenta um maior equilíbrio nas fases A, B e C.

O maior desequilíbrio aparece na condição 3, onde a amplitude do 3º harmônico na fase B próxima a 10%, e nas fases A e C ultrapassa 60%.

A operação monofásica apresentou uma amplitude de 10% no 3º harmônico.

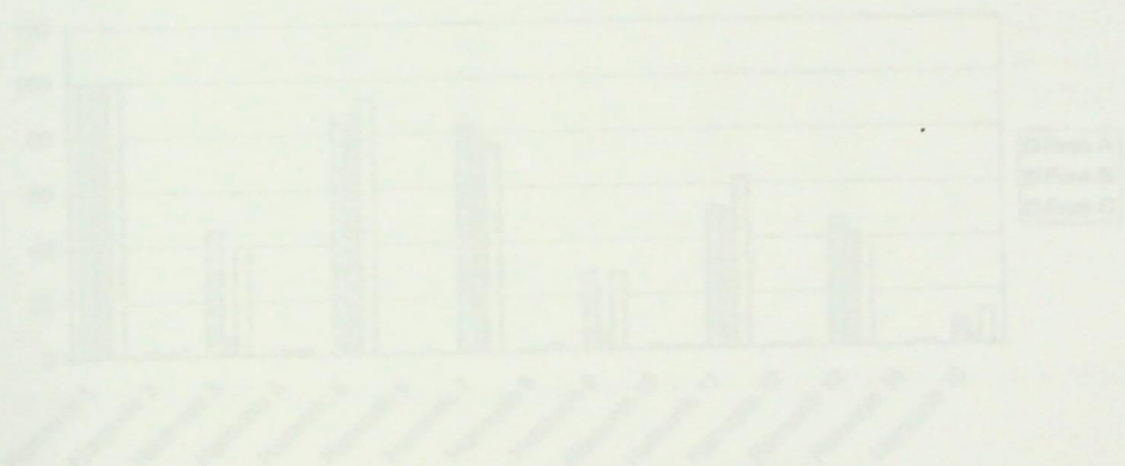


Figura 5.6.1.1: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 1

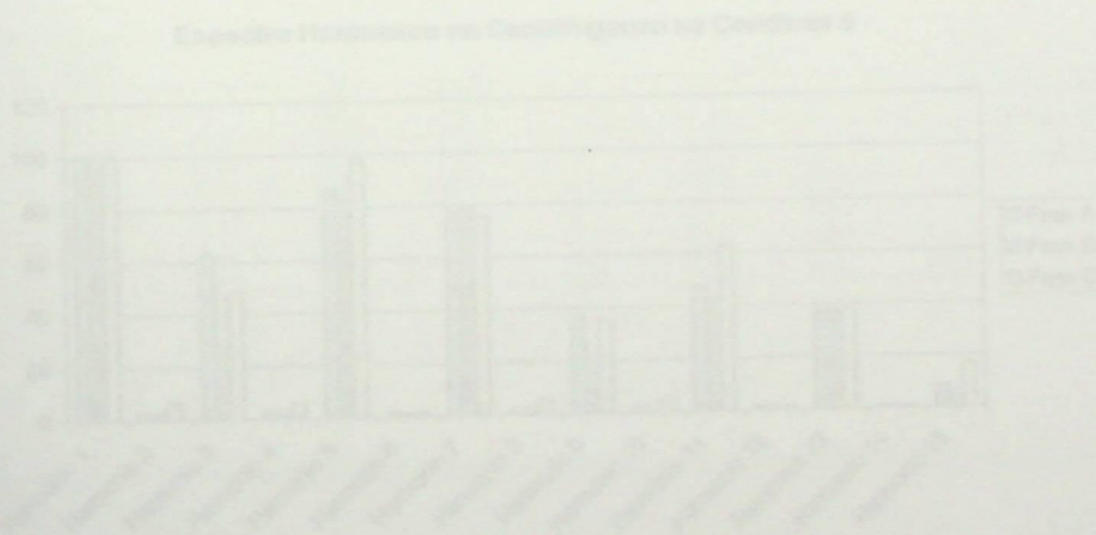


Figura 5.6.1.2: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 3

5.6.2. - COMPORTAMENTO DOS HARMÔNICOS DE CORRENTE NA CENTRIFUGAÇÃO COM CARGA LEVE.

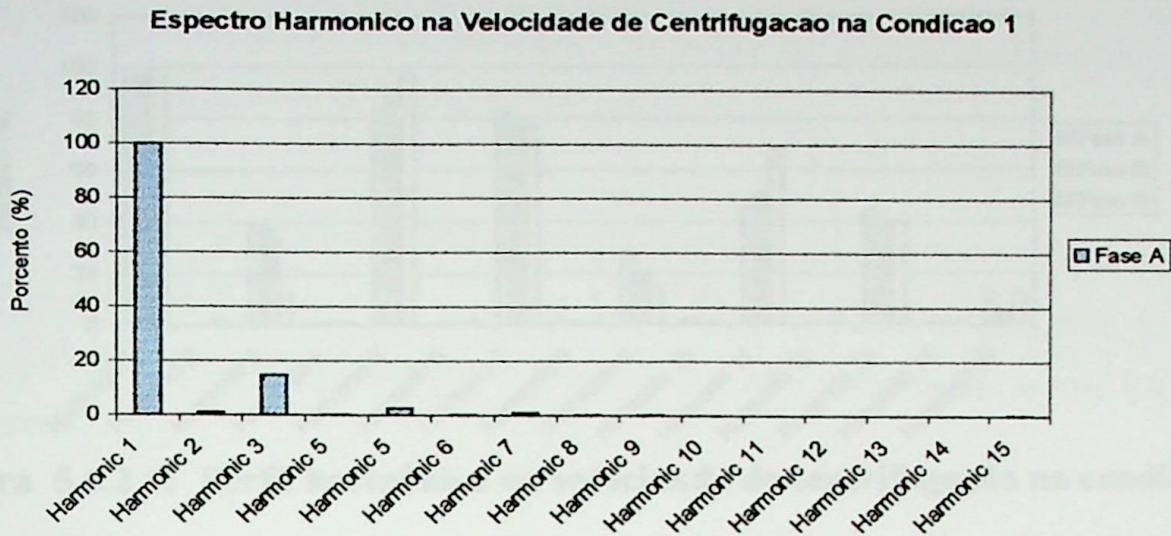


Figura 5.6.2.1: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 1

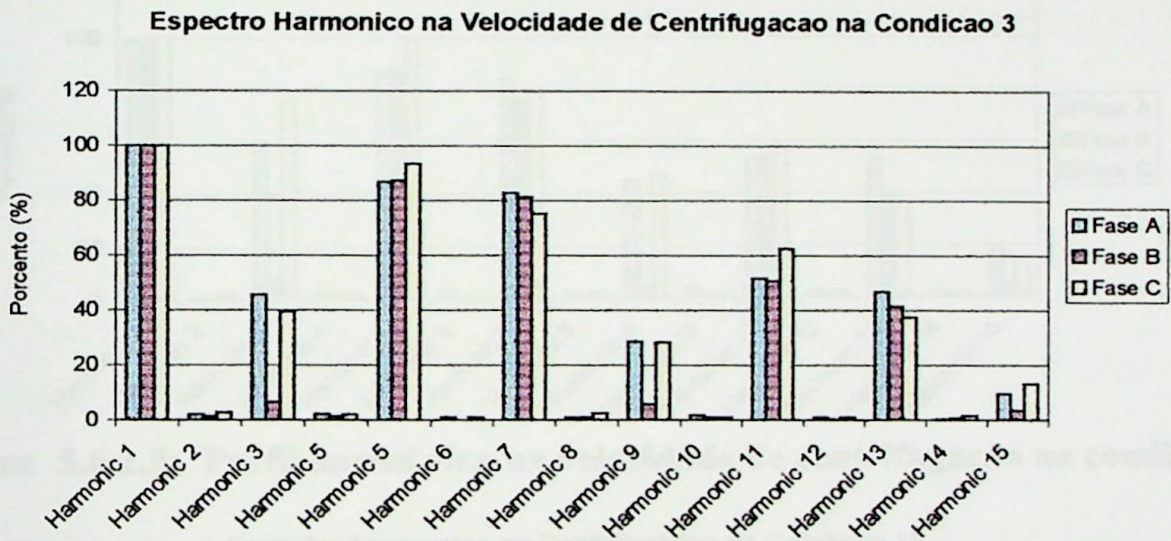


Figura 5.6.2.2: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 3

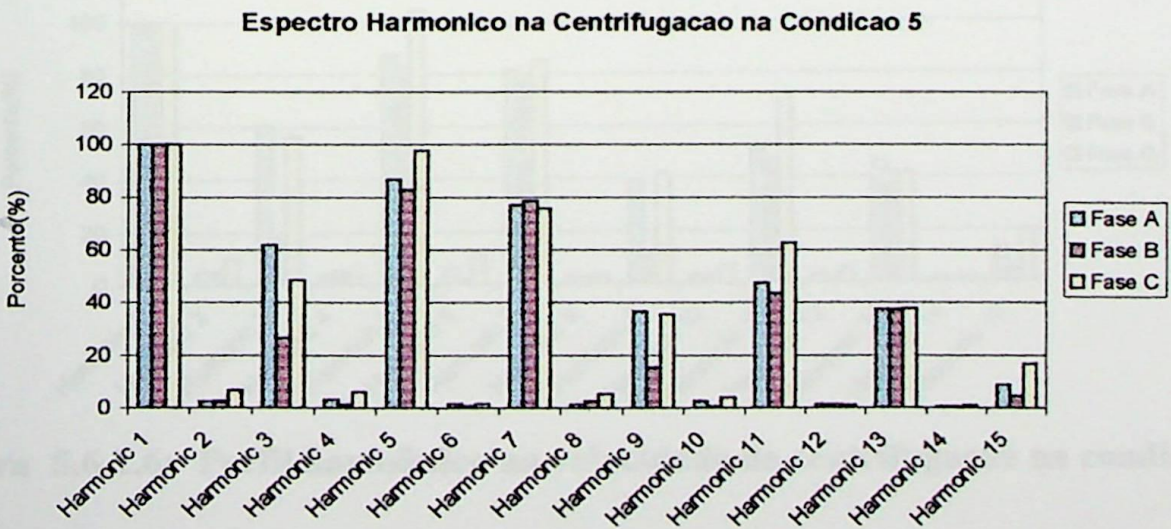


Figura 5.6.2.3: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 5

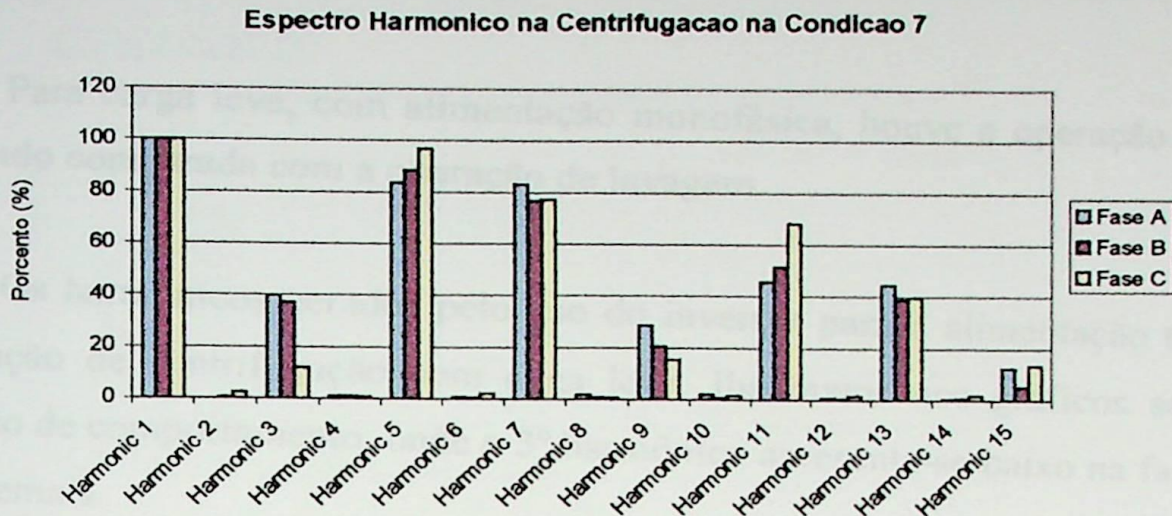


Figura 5.6.2.4: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 7

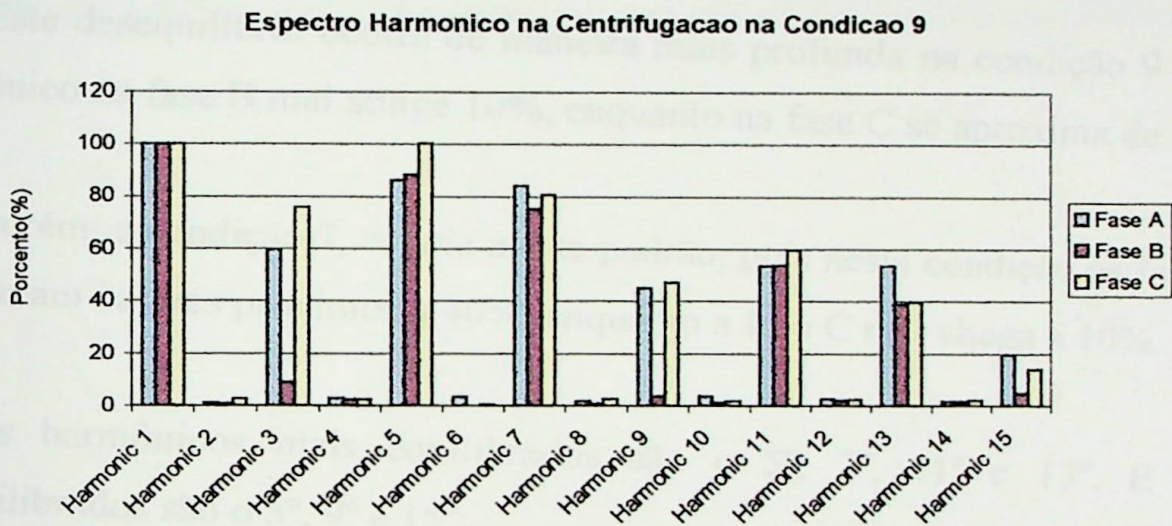


Figura 5.6.2.5: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 9

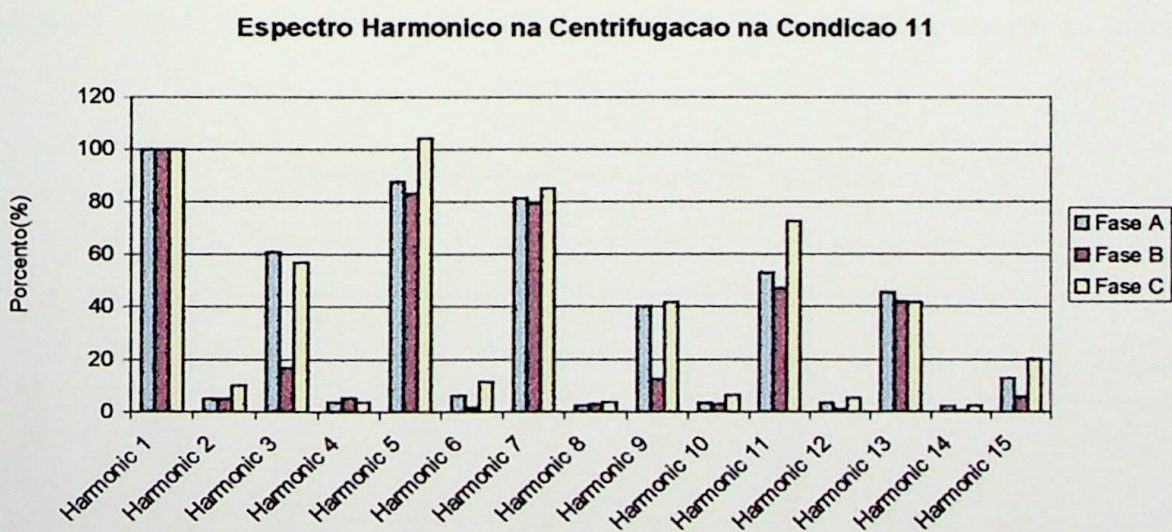


Figura 5.6.2.6: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 11

CONSIDERAÇÕES

Para carga leve, com alimentação monofásica, houve a operação centrífuga. Quando comparada com a operação de lavagem.

Os harmônicos gerados pelo uso do inversor para a alimentação trifásica na operação de centrifugação com carga leve. Ilustramos nos gráficos seguem um padrão de comportamento, onde o 3º harmônico apresenta-se baixo na fase B e alto nas demais.

Este desequilíbrio ocorre de maneira mais profunda na condição 9 onde o 3º harmônico na fase B mal atinge 10%, enquanto na fase C se aproxima de 75%.

Porém, a condição 7, estaria a este padrão, pois nesta condição as fases A e B apresentam valores próximos a 40%, enquanto a fase C mal chega a 10%.

Os harmônicos mais equilibrados são o 5º, 7º, 11º e 13º. E os mais desequilibrados são o 3º, 9º e 15º.

5.6.3. - COMPORTAMENTO DOS HARMÔNICOS DE CORRENTE NA LAVAGEM COM CARGA PESADA

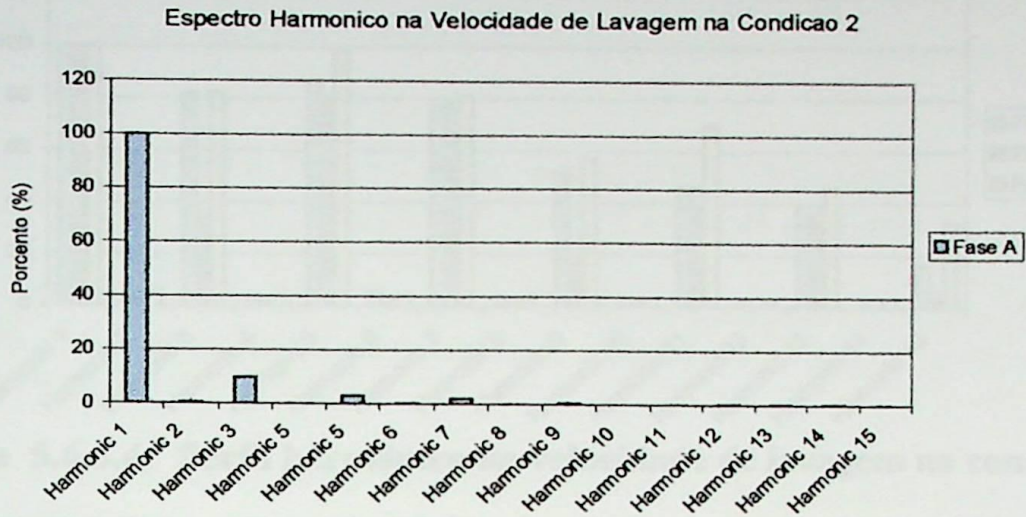


Figura 5.6.3.1: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 2

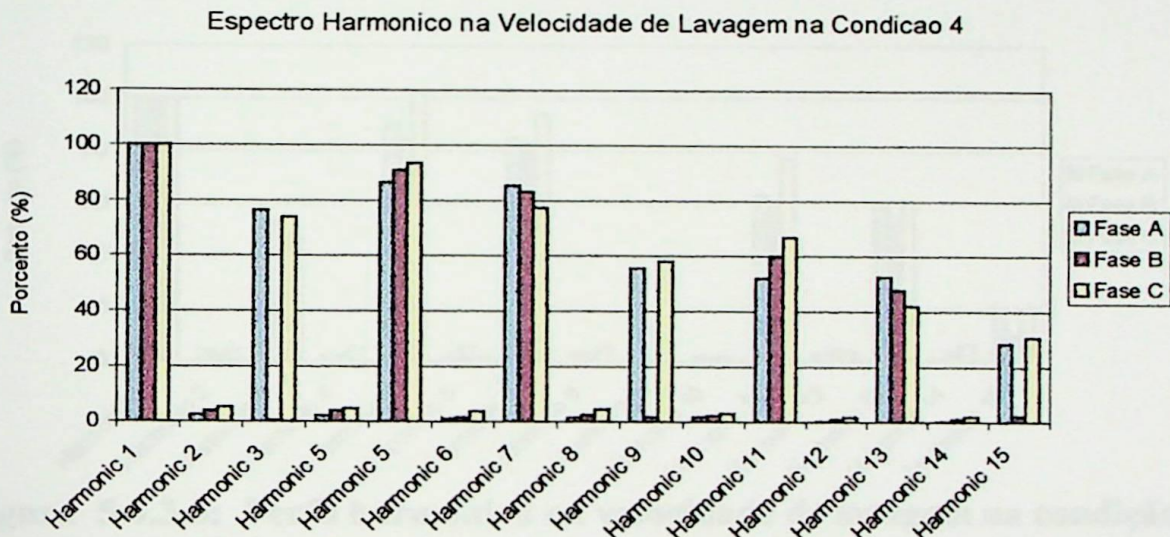


Figura 5.6.3.2: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 4

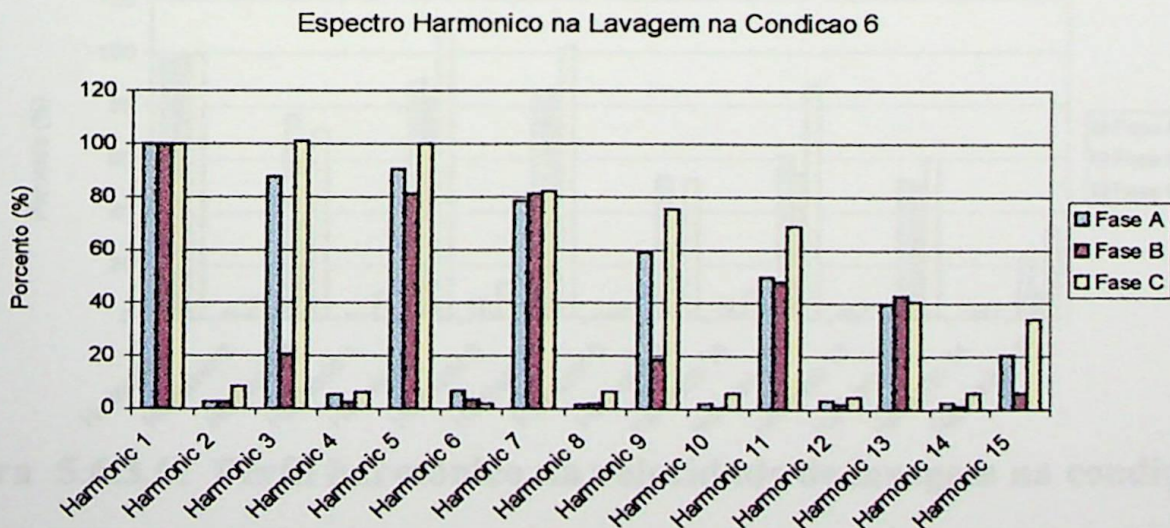


Figura 5.6.3.3: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 6

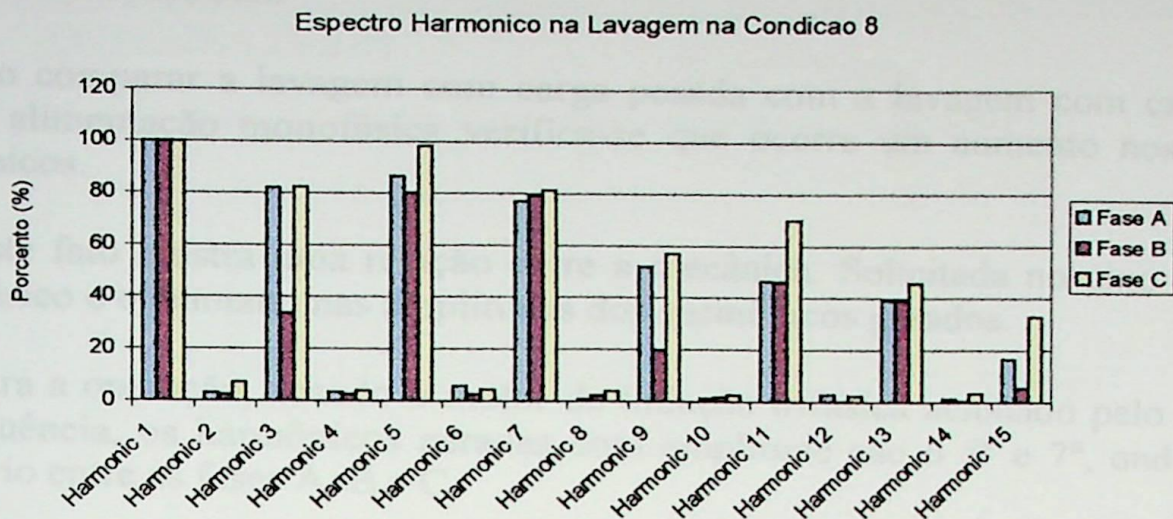


Figura 5.6.3.4: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 8

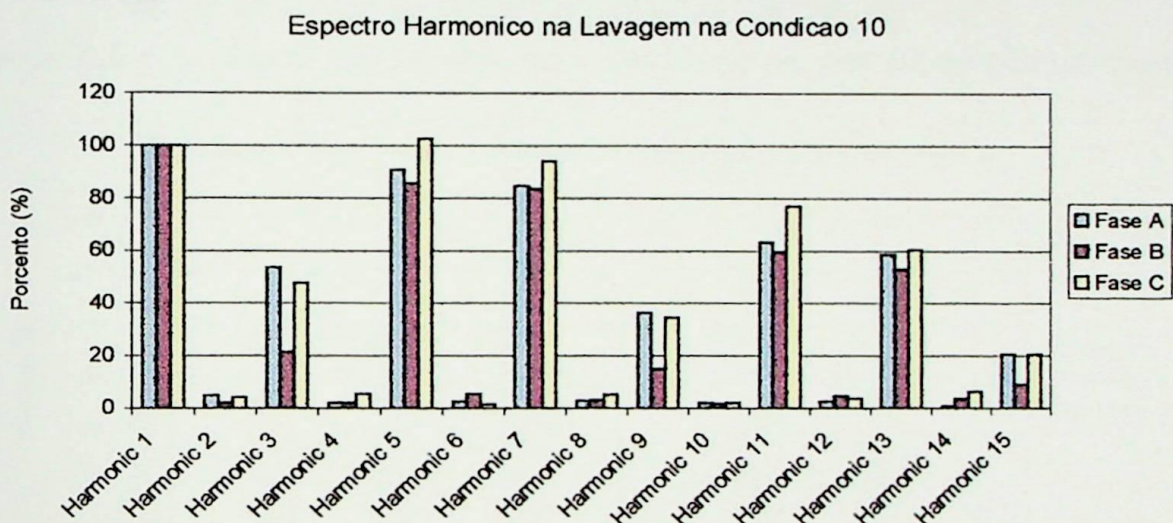


Figura 5.6.3.5: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 10

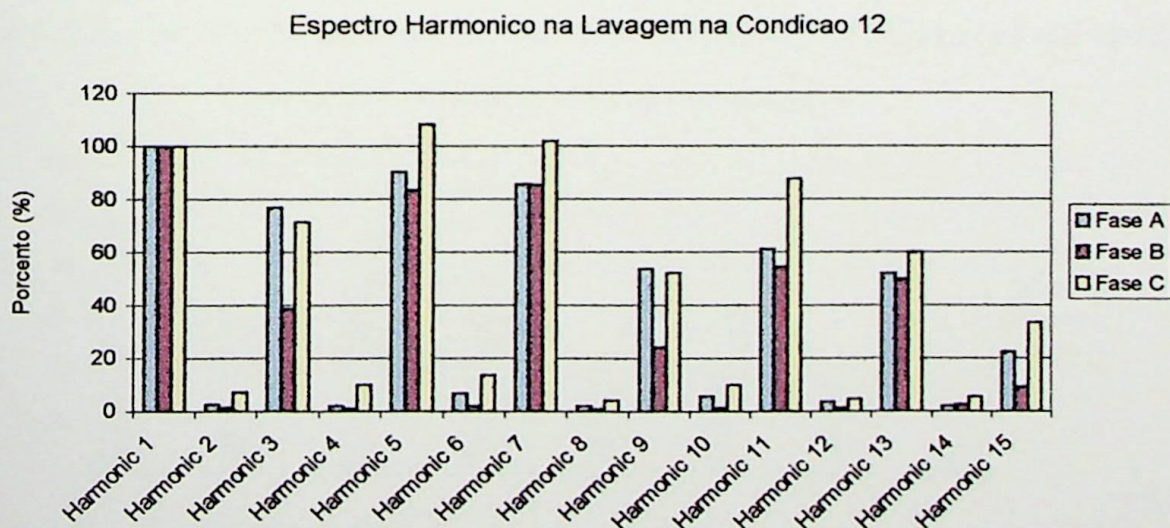


Figura 5.6.3.6: Perfil harmônico na velocidade de lavagem na condição 12

CONSIDERAÇÕES:

Ao comparar a lavagem com carga pesada com a lavagem com carga leve para a alimentação monofásica verifica-se que ocorre um aumento nos 3º e 5º harmônicos.

Este fato mostra uma relação entre a mecânica. Solicitada no eixo do moto monofásico e o aumento nas amplitudes dos harmônicos gerados.

Para a operação, usando o motor de indução trifásica acionado pelo inversor de frequência, os harmônicos geradas com amplitude são o 5º e 7º, onde ocorre equilíbrio entre as fases A, B e C.

O maior desequilíbrio ocorre na condição 4, onde a fase B praticamente não apresenta 3º harmônico, enquanto as fases A e C apresentam valores de amplitude próximos a 75%.

Figura 6.6.4-1: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 2



Figura 6.6.4-2: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 4



Figura 6.6.4-3: Perfil Harmônico na Velocidade de Centrifugação na Condição 4

5.6.4. - COMPORTAMENTO DOS HARMÔNICOS DE CORRENTE NA CENTRIFUGAÇÃO COM CARGA PESADA

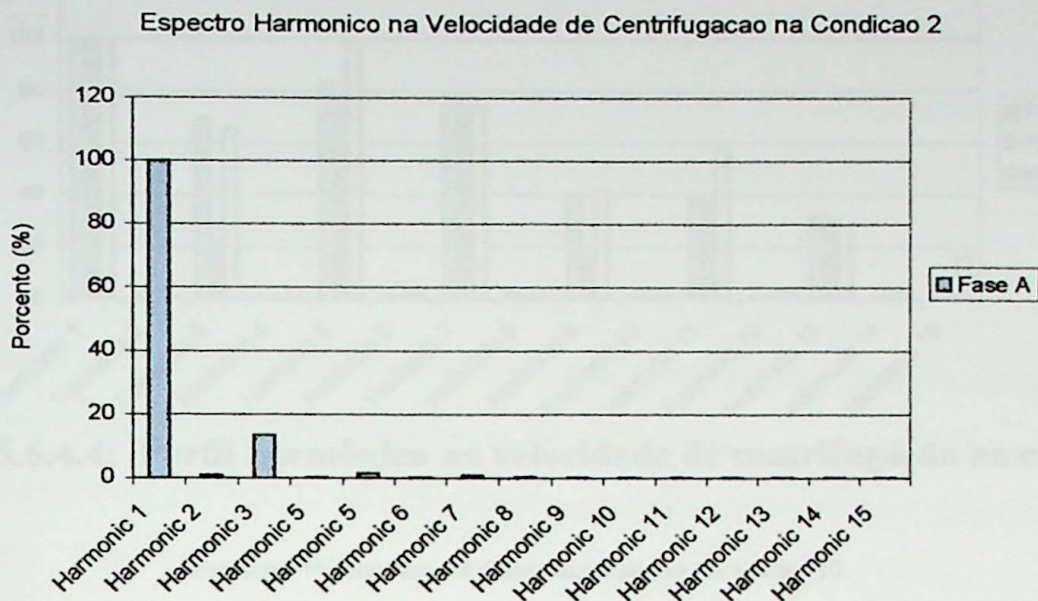


Figura 5.6.4.1: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 2

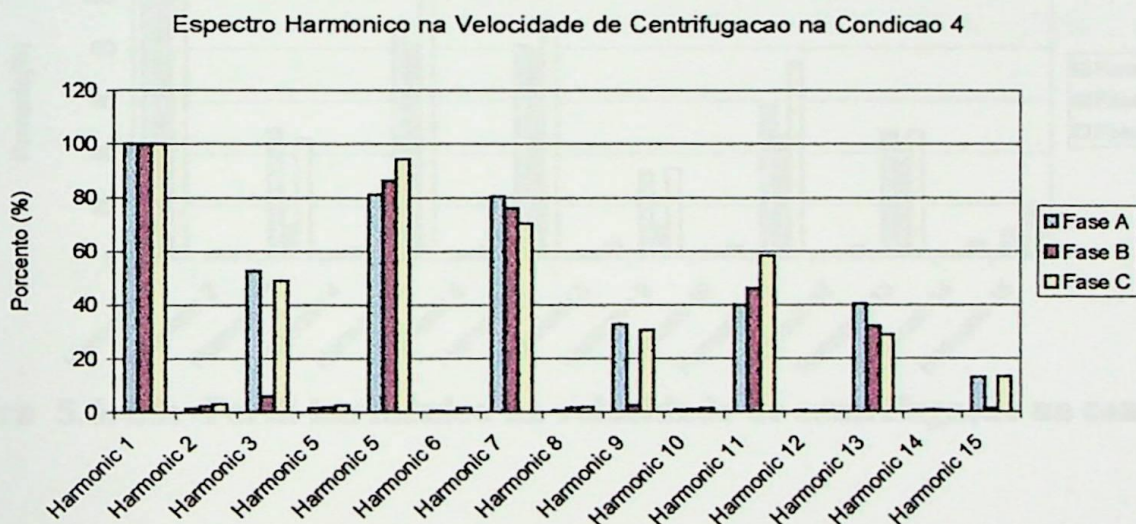


Figura 6.6.4 – 2: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 4

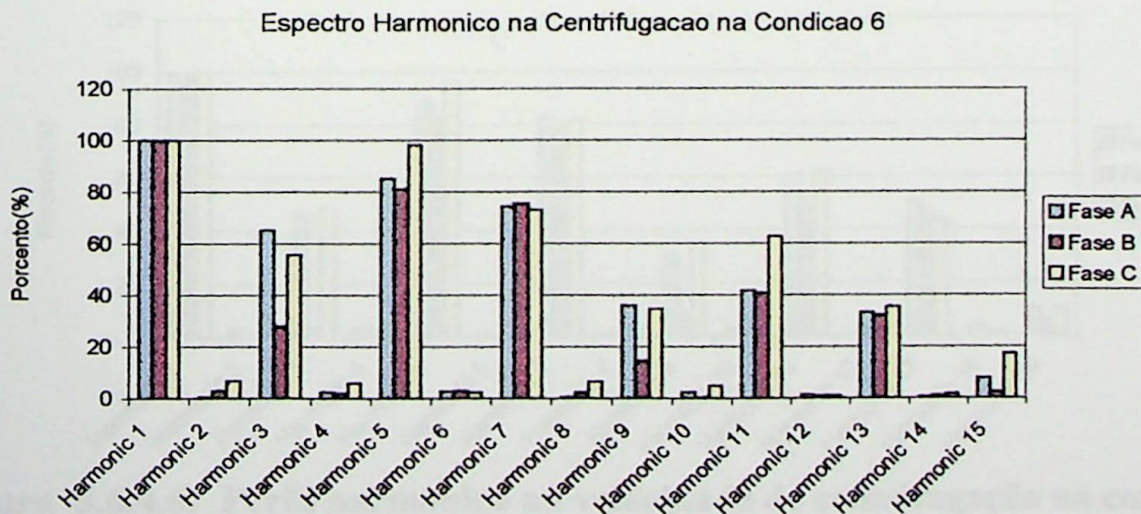


Figura 6.6.4 – 3: Perfil Harmônico na Velocidade de Centrifugação na Condição 6

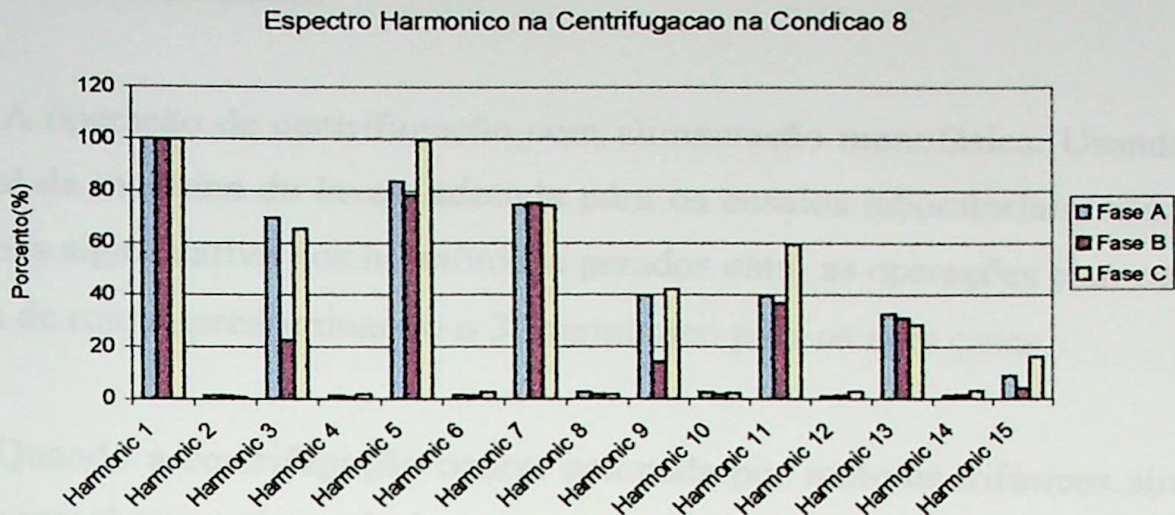


Figura 5.6.4.4: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 8

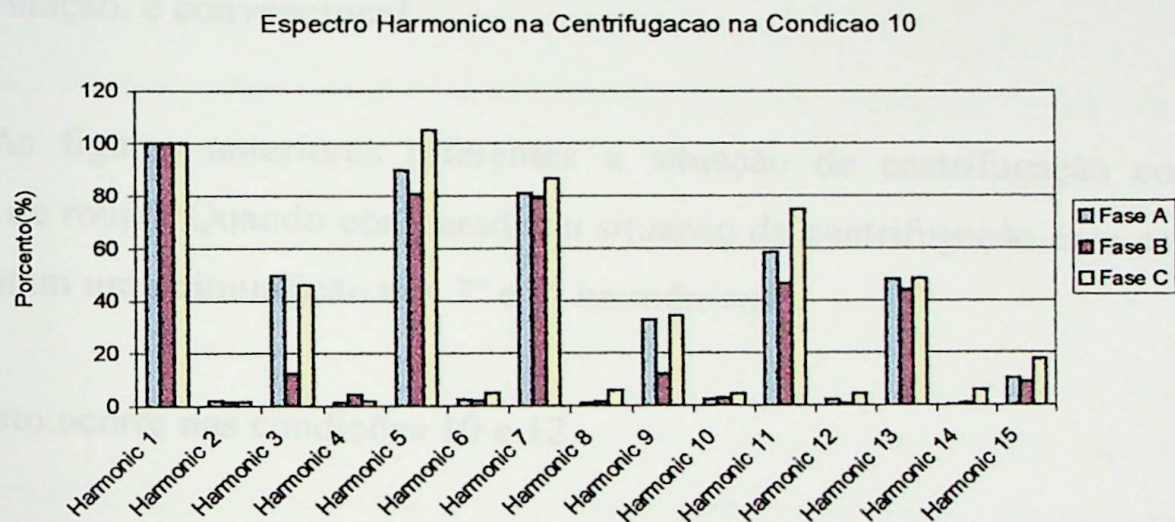


Figura 5.6.4.5: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 10

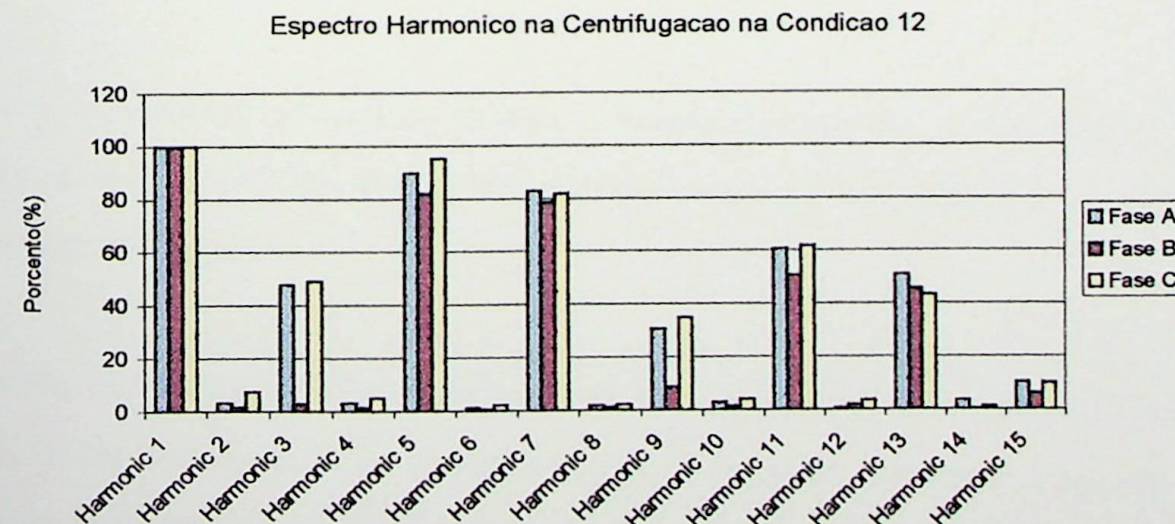


Figura 5.6.4.6: Perfil harmônico na velocidade de centrifugação na condição 12

CONSIDERAÇÕES:

A operação de centrifugação com alimentação monofásica. Usando o motor original da máquina de lavar, adotada para os ensaios laboratoriais, não apresenta diferença significativa nos harmônicos gerados entre as operações com carga leve e pesada de roupa, predominando o 3º harmônico para os dois casos.

Quando a centrifugação ocorre acionada por motores trifásicos alimentados por um ramal proveniente de inversores de frequência, os harmônicos esperados 5, 7, 11 e 13 apareceu em todas as condições, com exceção das condições 1 e 2, onde a alimentação, é convencional.

As figuras anteriores referentes a situação de centrifugação com carga pesada de roupa. Quando comparadas a situação de centrifugação com carga leve, apresentam uma diminuição nos 3º e 9º harmônicos.

Isto ocorre nas condições 10 e 12.

5.6.5. - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Verificando-se os resultados apresentados anteriormente, observa-se que, na operação com o sistema original monofásico, o sistema inseriu apenas uma pequena parcela do terceiro harmônico, demonstrando este ser uma fonte fraca de harmônicos, e, portanto, gerando pouca distorção na onda da corrente.

Já no sistema trifásico, os inversores inseriram grande quantidade de harmônicos de corrente no sistema de alimentação, fato que leva a uma operação com baixo fator de potência e com alta geração de ruído elétrico e magnético.

Um fato a ser observado, é que com exceção da condição 7 na centrifugação (centrifugação de carga leve), todas as outras condições apresentaram um padrão de geração de harmônicos, onde a menor contribuição do 3º harmônico ocorreu na fase C.

Este padrão, que os harmônicos gerados em grande intensidade, são de ordem ímpar, onde o 5º, o 7º, o 11º e o 13º, são, claramente, devido aos chaveamentos ocorridos internamente aos inversores de frequência quando em operação, portanto, tais harmônicos eram esperados.

Porém, em todos os casos, houve o aparecimento do 3º harmônico, o que demonstra a influência de fluxo de potência reativa no sistema, e em última análise, ao fator de potência.

Observando-se os valores obtidos para as amplitudes das tensões, verifica-se com exceção da condição 7 na centrifugação, o terceiro harmônico apresentou-se elevado para as fases A e C, justamente fases que apresentaram as maiores quedas de tensão.

Na fase B, onde a queda foi menor, o terceiro harmônico quase não se fez presente.

Na condição 7 da centrifugação, o nível de tensão na fase C esteve praticamente igual ao da fase B, estando apenas a fase A com nível baixo de tensão, verifica-se neste caso, uma quase equalização no terceiro harmônico.

5.7. - ANÁLISE DA ENERGIA CONSUMIDA PELO SISTEMA PARA A REALIZAÇÃO DO MESMO TRABALHO MECÂNICO

Os gráficos a seguir, ilustram o comportamento da potência ativa consumida para cada condição para carga leve e carga pesada.

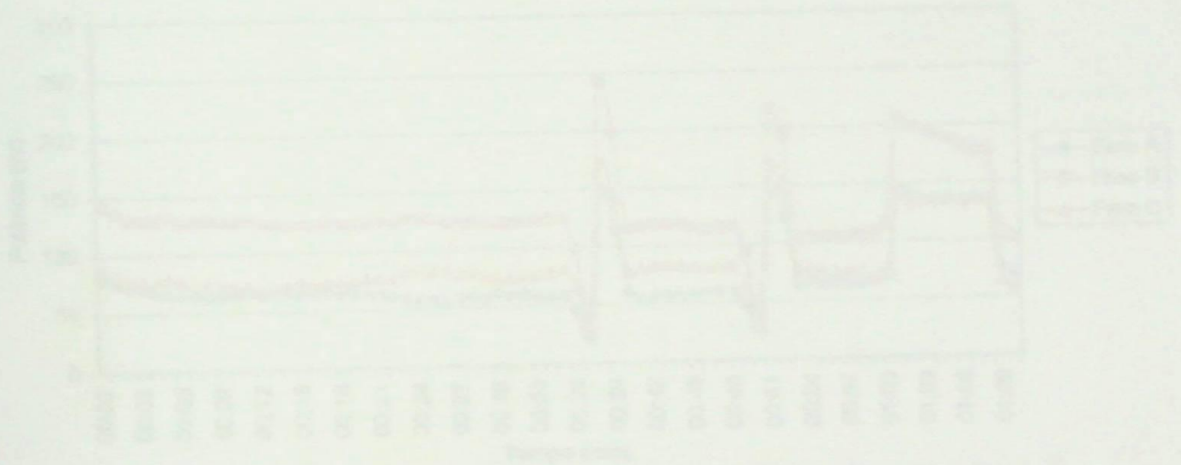


Figura 5.7.1.2: Perfil da potência ativa na condição 1

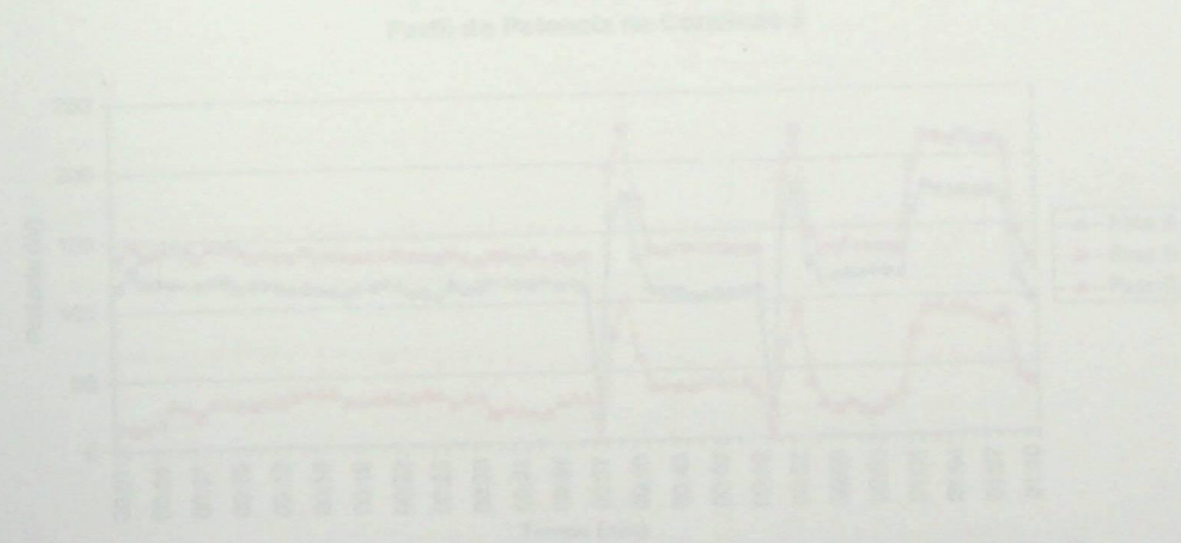


Figura 5.7.1.3: Perfil da potência ativa na condição 7

5.7.1. - **COMPORTAMENTO DA POTÊNCIA ATIVA PARA CARGA LEVE**

Perfil de Potencia na Condicao 1

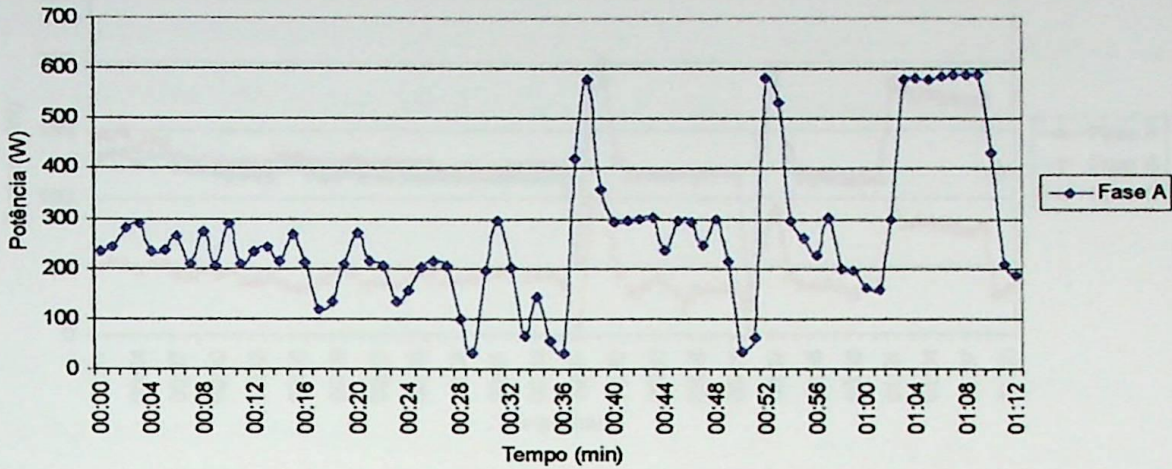


Figura 5.7.1.1: Perfil da potência ativa na condição 1

Perfil de Potencia na Condicao 3

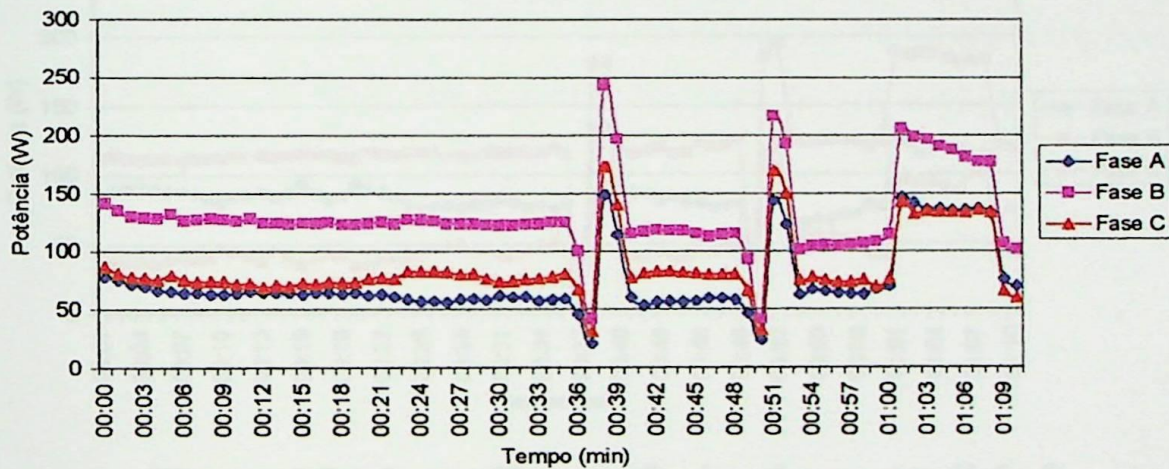


Figura 5.7.1.2: Perfil da potência ativa na condição 3

Perfil de Potencia na Condicao 5

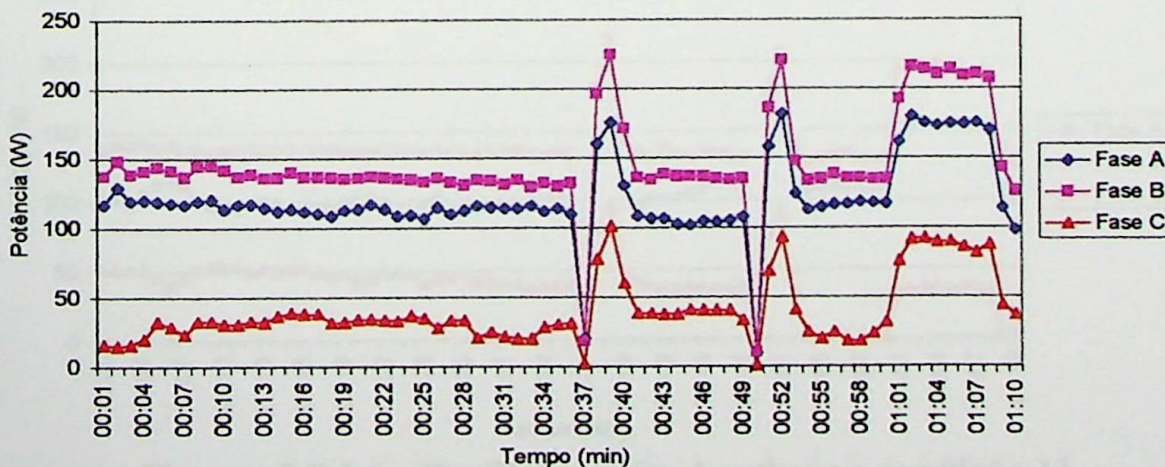


Figura 5.7.1.3: Perfil da potência ativa na condição 5

Perfil de Potencia na Condição 7

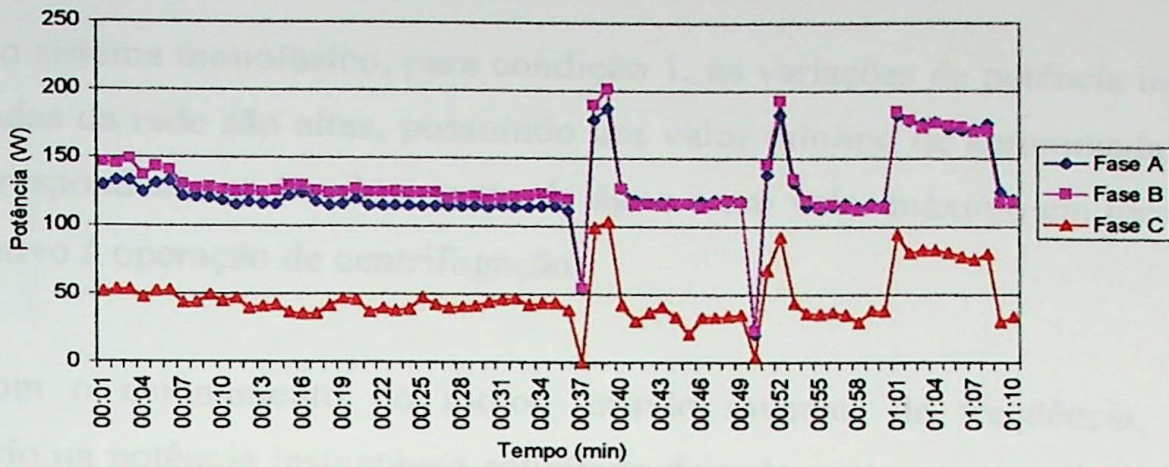


Figura 5.7.1.4: Perfil da potência ativa na condição 7

Perfil de potencia na condicao 9

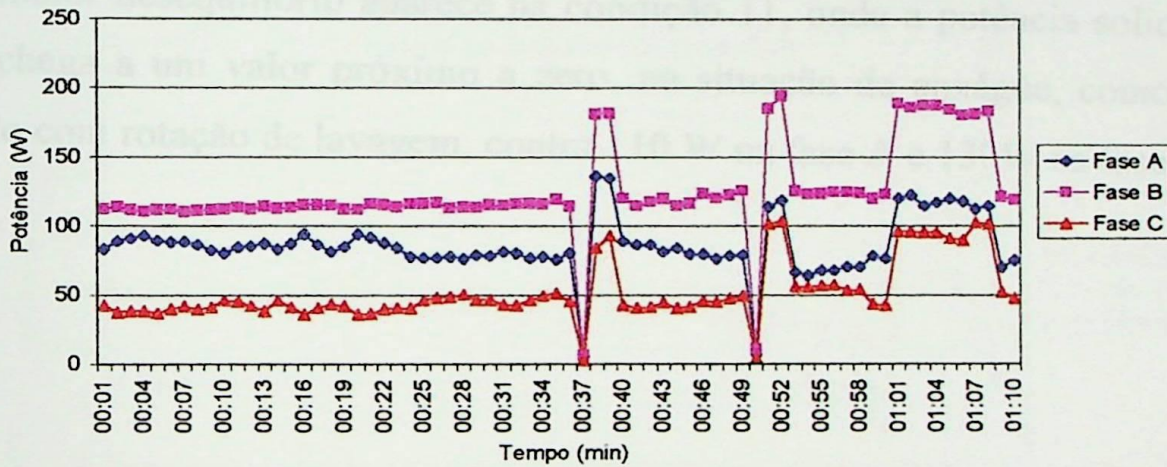


Figura 5.7.1.5: perfil da potência ativa na condição 9

Perfil de potência na condição 11

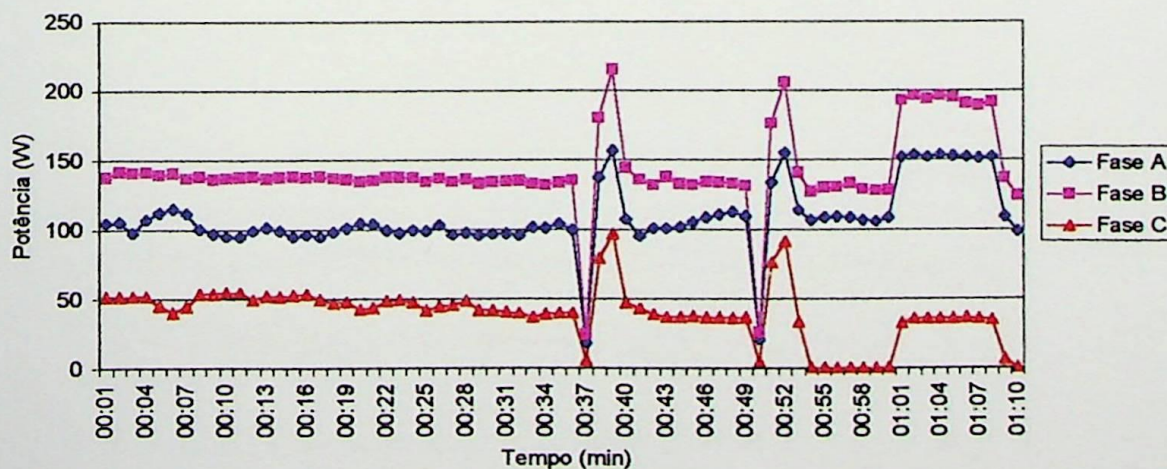


Figura 5.7.1.6: Perfil da potência ativa na condição 11

CONSIDERAÇÕES:

No sistema monofásico, para condição 1, as variações de potência instantânea solicitadas da rede são altas, possuindo um valor mínimo de aproximadamente 25 W, correspondente ao bombeamento da água e um valor máximo em torno de 580 W, relativo à operação de centrifugação.

Com o acionamento do motor usando inversor de frequência, o maior equilíbrio na potência instantânea solicitada da rede, ocorre na condição 3, onde a máxima potência ocorre na fase B, alcançando 250 W na primeira operação de centrifugação.

O maior desequilíbrio aparece na condição 11, onde a potência solicitada na fase C chega a um valor próximo a zero, na situação de enxágüe, como tambor operando com rotação de lavagem, contra 110 W na fase A e 130W na fase B.

5.7.2. - **COMPORTAMENTO DA POTÊNCIA ATIVA PARA CARGA PESADA.**

Perfil de potência na condição 2

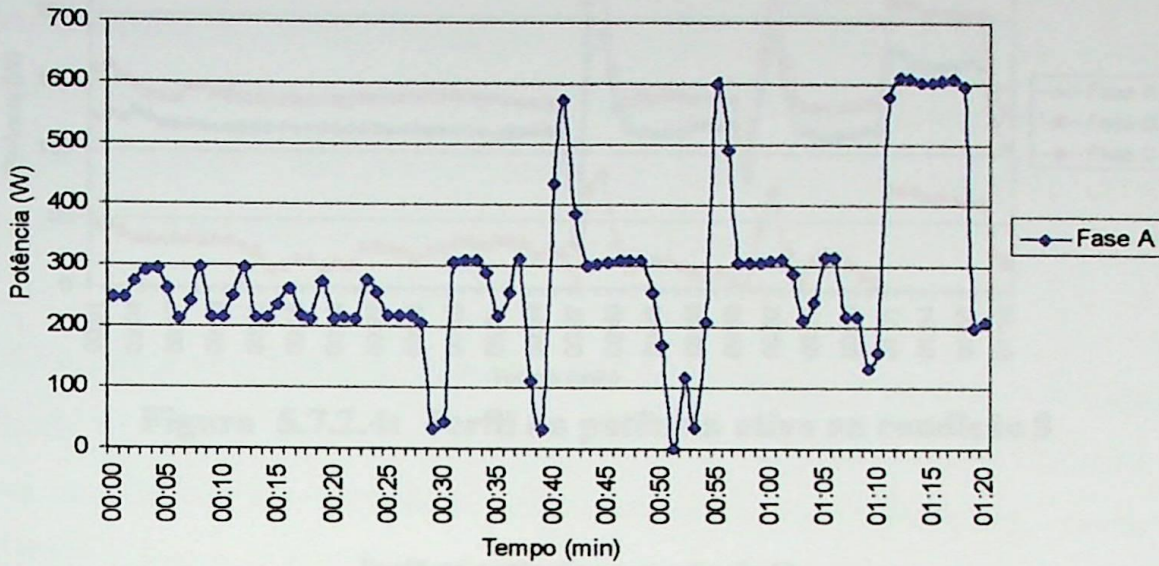


Figura 5.7.2.1: Perfil da potência ativa na condição 2

Perfil de potência na condição 4

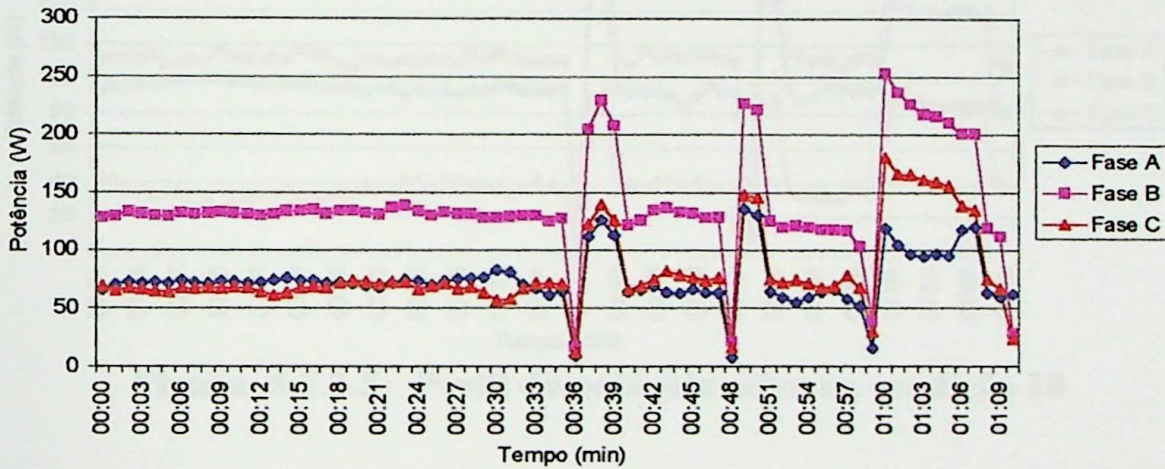


Figura 5.7.2.2: Perfil da potência ativa na condição 4

Perfil de potência na condição 6

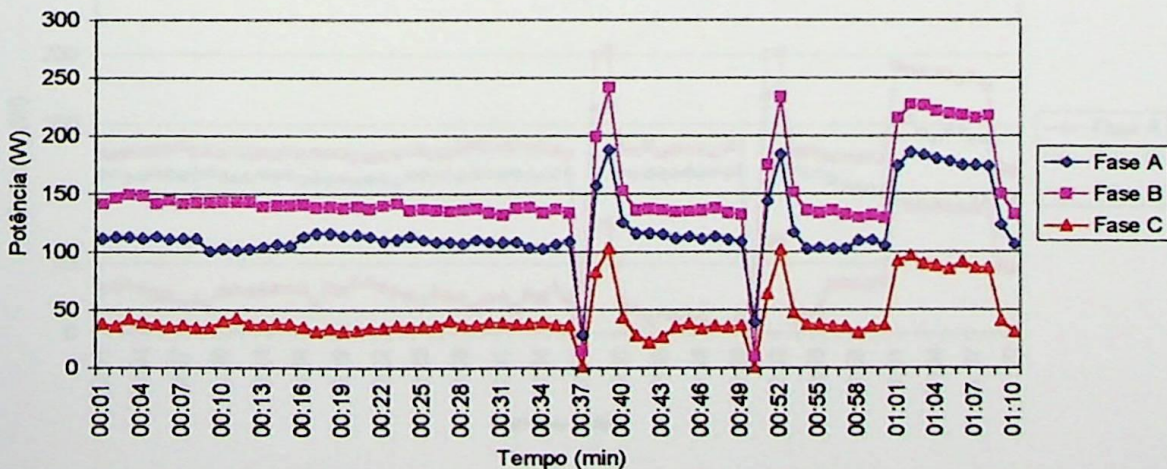
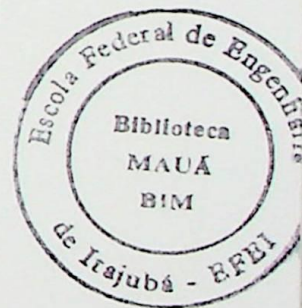


Figura 5.7.2.3: Perfil da potência ativa na condição 6



Perfil de potência na condição 8

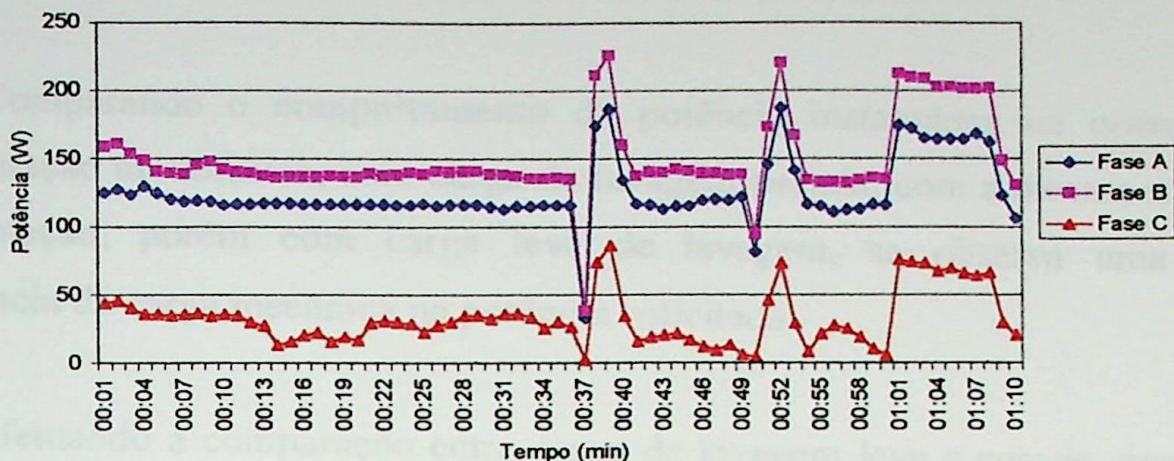


Figura 5.7.2.4: Perfil da potência ativa na condição 8

Perfil de potência na condição 10

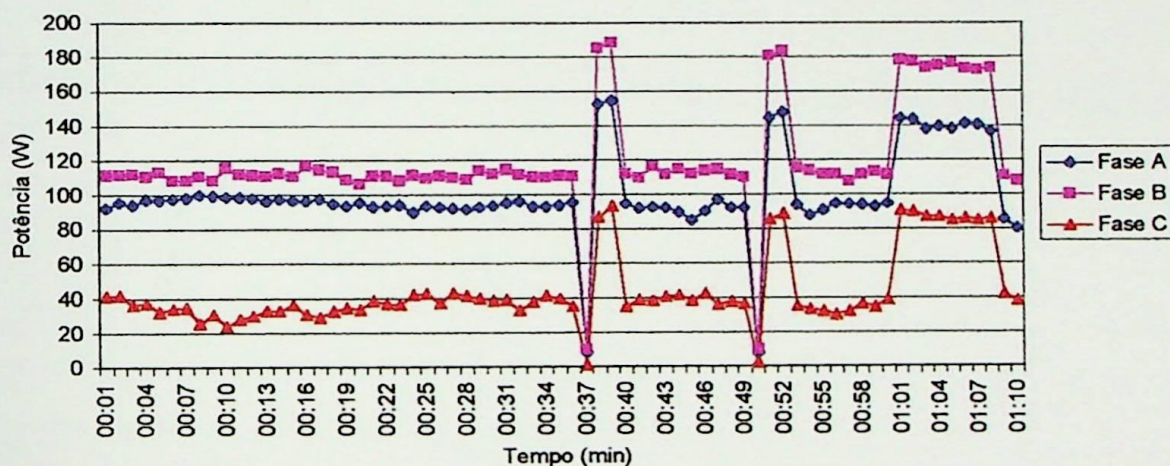


Figura 5.7.2.5: Perfil da potência ativa na condição 10

Perfil de potência na condição 12

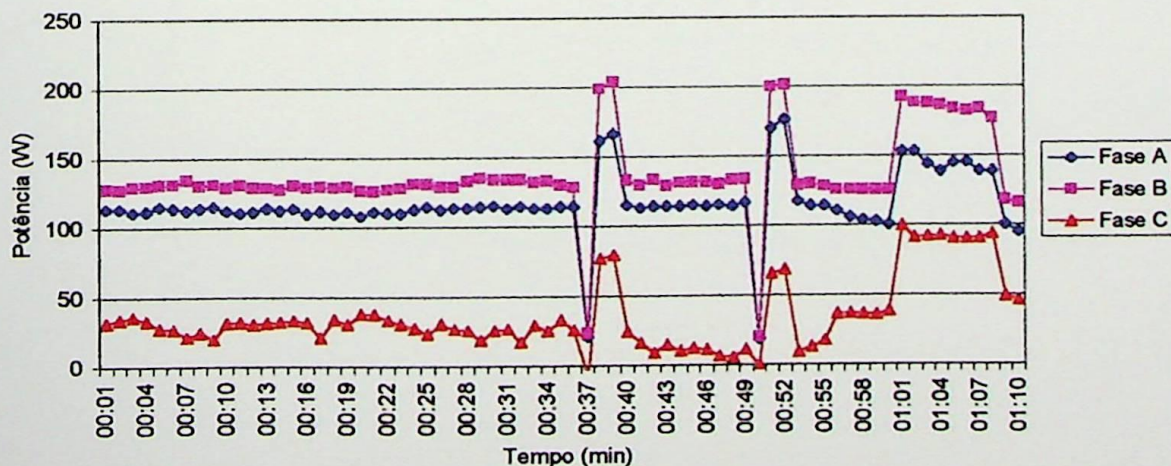


Figura 5.7.2.6: Perfil da potência ativa na condição 12

CONSIDERAÇÕES:

Comparando o comportamento da potência instantânea na operação com alimentação monofásica, com carga de lavagem pesada, com a mesma situação de alimentação, porém com carga leve de lavagem, se observa uma pequena influência da carga mecânica na potência solicitada.

Efetuando a comparação entre carga de lavagem leve e pesada, agora para a alimentação trifásica através de inversores de frequência, verifica-se que não ocorre o equilíbrio de potência em nenhuma das condições, onde o maior desequilíbrio ocorre na condição 8. E o maior equilíbrio na condição 4.

Condição	Energia Lavagem (Wh)	Energia Centrifugação (Wh)
1	80	80
2	108	80
3	120	80
4	110	80
5	120	80
6	145	80
7	128	80
8	125	80
9	97	80
10	99	80
11	140	80
12	112	80

Tabela 3.7.3.1: Condições de lavagem X Centrifugação.

5.7.3. - ANÁLISE TÉCNICA SOBRE A ENERGIA CONSUMIDA

A tabela a seguir apresenta os dados obtidos para um ciclo de trabalho completo, para lavagem e centrifugação. Pois para enxágüe, temos uma operação mista, com velocidades de lavagem e centrifugação intercaladas, não apresentando uma característica única.

Realizando o cálculo aproximado da área da curva da potência, para os primeiros 26 minutos (lavagem) e para os últimos 10 minutos (centrifugação), obtemos as seguintes potências consumidas nos processos de lavagem e centrifugação.

Condição	Energia Lavagem (Wh)	Energia Centrifugação (Wh)
1	80	80
2	108	80
3	120	61
4	110	63
5	120	60
6	145	64
7	128	56
8	125	57
9	97	51
10	99	54
11	140	51
12	112	55

Tabela 5.7.3.1: Condições de lavagem X Centrifugação

Desta forma, pode-se concluir que, se há um prejuízo na utilização com inversores no tocante aos harmônicos gerados, quando comparamos com relação a energia ativa consumida na centrifugação, verificamos que em algumas condições, como a 9, a energia consumida pelo sistema trifásico mostrou-se apenas 63% da energia consumida pelo sistema monofásico para a realização do mesmo trabalho mecânico.

Já no processo de lavagem, o sistema trifásico apresenta um rendimento inferior, se não considerarmos as perdas no sistema de redução mecânica, ao sistema monofásico.

Na lavagem, o sistema trifásico consumiu 21% a mais de energia ativa do que o sistema monofásico.

Se considerarmos 10 % de dissipação de energia no sistema redutor, obteremos um valor de energia consumida na lavagem pelo sistema trifásico próximo ao valor da energia consumida pelo sistema monofásico e uma ampliação na economia de energia ativa na centrifugação.

Com esta consideração, a energia consumida pelo sistema trifásico passa a ser de 58 % da energia consumida pelo sistema monofásico na centrifugação.

Para as etapas de lavagem, enxágüe e centrifugação, as energias ativas consumidas medidas pelo equipamento de aquisição de dados foram:

Condição	Energia ativa (medida pelo RCC) (Wh)	Energia em Relação ao Sistema Original.
1	327,26	100%
2	382,67	100%
3	338,78	103,5%
4	338,80	88,53%
5	357,56	109,25%
6	363,54	95,0%
7	354,64	108,36%
8	358,82	93,7%
9	306,98	93,8%
10	307,99	80,48%
11	338,54	103,4%
12	337,15	88,10%

Tabela 5.7.3.2: Energia ativa medida pelo RCC

De forma geral, o menor consumo ocorreu nas condições 9 e 10, que correspondem ao acionamento com motor de 1 cv, inversor de 2 cv no modo escalar.

Na condição 9 (carga leve), a energia consumida foi 93,7 % da energia da condição 1 e na condição 10 (carga pesada), a energia consumida foi 80,4% da energia consumida pela condição 2.

5.8. - ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO CONTROLE VETORIAL NO CONSUMO DE ENERGIA ATIVA, HARMÔNICOS E CORRENTE.

ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ

Nota-se pelos dados adquiridos nos ensaios, que a influência do modo de operação do inversor usado nas grandezas elétricas foi muito pequena, quase não alterando os harmônicos nem a potência consumida.

Houve um pequeno aumento no desequilíbrio das correntes, nas condições em que se operou com os inversores no modo vetorial.

Infelizmente, não houve dados suficientes para se determinar com precisão, qual a contribuição real do controle vetorial, porém, um efeito notado, foi o do controle de velocidade sobre o motor.

Verificou-se um aumento no controle do motor quando optou-se pelo modo vetorial, principalmente na partida.

CONCLUSÕES



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Tendo em mãos os dados fornecidos pelo sistema de aquisição de dados, baseado no RCC Interlogger, conclui-se que existe a possibilidade de se acionar uma carga mecânica com um menor consumo de energia ativa usando-se inversores de frequência.

Porém ficou claro nas informações, que não foi possível uma economia substancial em qualquer situação.

CAPÍTULO 6

Apenas para a situação de velocidade constante (sobrevelocidade), a substituição do motor convencional pelo inversor demonstrou-se vantajosa, devido ao menor consumo de energia ativa.

CONCLUSÕES

Outro ponto verificado, é o fato de que realmente, quando se opera com inversores de potência próxima a do motor, que por sua vez tem potência próxima a da carga mecânica, se consegue os menores consumos de energia ativa e consequentemente um melhor rendimento do sistema.

O uso de inversores provoca um aumento substancial nos harmônicos do sistema, prejudicando em muito a qualidade da energia fornecida naquele ponto de alimentação, porém, pode-se comprovar a relação entre a amplitude de alguns harmônicos e o desequilíbrio na tensão de alimentação, o que não é objetivo deste trabalho.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Tendo em mãos os dados fornecidos pelo sistema de aquisição de dados, baseado no RCC Interlogger, conclui-se que existe a possibilidade de se acionar uma carga mecânica com um menor consumo de energia ativa usando-se inversores de frequência.

Porém ficou claro nas informações, que, não foi possível uma economia substancial em qualquer situação.

Apenas para a situação de centrifugação, ou seja, na região de potência constante (sobrevelocidade), a substituição do motor monofásico pelo trifásico demonstrou-se vantajosa, no tocante ao consumo de energia ativa.

Outro ponto verificado, é o fato de que realmente, quando se opera com inversores de potência próxima a do motor, que por sua vez tem potência próxima a da carga mecânica, se consegue os menores consumos na energia ativa e conseqüentemente um melhor rendimento do sistema.

O uso de inversores provocou um acréscimo substancial nos harmônicos do sistema, prejudicando em muito a qualidade da energia fornecida naquele ponto de alimentação, porém, pode-se comprovar a relação entre a amplitude de alguns harmônicos e o desequilíbrio na tensão de alimentação, o que não é objetivo deste trabalho.

Verificou-se um desequilíbrio na corrente de entrada dos inversores de frequência, provavelmente devido ao desequilíbrio na tensão de alimentação. Teoricamente, tal desequilíbrio não eram esperados nas correntes

Este trabalho deve servir como alavanca para trabalhos futuros, onde se poderá definir a real relação entre conservação de energia e qualidade na energia fornecida, inclusive com estudos e ensaios de grandezas mecânicas, verificando-se as relações entre estas e as grandezas elétricas.

Sugere-se para um futuro trabalho, a execução do monitoramento do torque mecânico em vários pontos do sistema a fim de se conseguir um aprimoramento de um sistema de acionamento, que resulte em uma economia de energia, sem gerar harmônicos com amplitudes tão altas, inclusive verificando-se os efeitos das vibrações mecânicas na qualidade e no consumo de energia elétrica.

Para tal, futuramente, através do uso de sensores Hall de torque e vibração mecânica, pode-se adaptar a bancada desenvolvida para este trabalho, para uma máquina de eixo vertical, e realizar novos ensaios, podendo-se assim, comparar-se os desempenhos dos dois sistema de lavagem.

ANEXO A

001	1.2754		
002	1.3854		
003	1.4375		
004	15.808A		
005	0.000 A		
006	0.000 A		
007	2.393 A		000.4*
008	0.000 A		000.0
009	0.000 A		000.0
010	4.8509A	0.1930	000.4*
011	0.000 A	100.000	000.0
012	0.000 A	100.000	000.0
013	207.06A	2.4543	000.0
014	0.000 A	100.000	000.0
015	0.000 A	100.000	000.0
016	4.4038A	1.2683	000.4
017	0.000 A	100.000	000.0
018	0.000 A	100.000	000.0
019	21.978A	2.0073	000.0
020	0.000 A	100.000	000.0
021	0.000 A	100.000	000.0
022	1.3679A	1.2013	000.0
023	0.000 A	100.000	000.0
024	0.000 A	100.000	000.0
025	22.84		
026	0.000 A		
027	0.000 A		
028	4.3778A		
029	0.000 A	100.000	000.0
030	0.000 A	100.000	000.0
031	17.5438A	0.1554	000.4*
032	0.000 A	100.000	000.0
033	0.000 A	100.000	000.0
034	2.3298A	0.1054	000.4*
035	0.000 A	100.000	000.0
036	0.000 A	100.000	000.0
037	3.5508A	0.2323	000.4*
038	0.000 A	100.000	000.0
039	0.000 A	100.000	000.0
040	2.4808A	0.1044	000.4*
041	0.000 A	100.000	000.0
042	0.000 A	100.000	000.0
043	0.000 A	100.000	000.0
044	0.000 A	100.000	000.0
045	0.000 A	100.000	000.0
046	0.000 A	100.000	000.0
047	0.000 A	100.000	000.0
048	0.000 A	100.000	000.0
049	0.000 A	100.000	000.0
050	0.000 A	100.000	000.0
051	0.000 A	100.000	000.0
052	0.000 A	100.000	000.0
053	0.000 A	100.000	000.0
054	0.000 A	100.000	000.0
055	0.000 A	100.000	000.0
056	0.000 A	100.000	000.0
057	0.000 A	100.000	000.0
058	0.000 A	100.000	000.0
059	0.000 A	100.000	000.0
060	0.000 A	100.000	000.0
061	0.000 A	100.000	000.0
062	0.000 A	100.000	000.0
063	0.000 A	100.000	000.0
064	0.000 A	100.000	000.0
065	0.000 A	100.000	000.0
066	0.000 A	100.000	000.0
067	0.000 A	100.000	000.0
068	0.000 A	100.000	000.0
069	0.000 A	100.000	000.0
070	0.000 A	100.000	000.0
071	0.000 A	100.000	000.0
072	0.000 A	100.000	000.0
073	0.000 A	100.000	000.0
074	0.000 A	100.000	000.0
075	0.000 A	100.000	000.0
076	0.000 A	100.000	000.0
077	0.000 A	100.000	000.0
078	0.000 A	100.000	000.0
079	0.000 A	100.000	000.0
080	0.000 A	100.000	000.0
081	0.000 A	100.000	000.0
082	0.000 A	100.000	000.0
083	0.000 A	100.000	000.0
084	0.000 A	100.000	000.0
085	0.000 A	100.000	000.0
086	0.000 A	100.000	000.0
087	0.000 A	100.000	000.0
088	0.000 A	100.000	000.0
089	0.000 A	100.000	000.0
090	0.000 A	100.000	000.0
091	0.000 A	100.000	000.0
092	0.000 A	100.000	000.0
093	0.000 A	100.000	000.0
094	0.000 A	100.000	000.0
095	0.000 A	100.000	000.0
096	0.000 A	100.000	000.0
097	0.000 A	100.000	000.0
098	0.000 A	100.000	000.0
099	0.000 A	100.000	000.0
100	0.000 A	100.000	000.0

Med L
Carga Base
Comercial
Liquidez

LISTAGEM DE DADOS OBTIDOS

001	4.3778A		
002	0.000 A	100.000	000.0
003	0.000 A	100.000	000.0
004	17.5438A	0.1554	000.4*
005	0.000 A	100.000	000.0
006	0.000 A	100.000	000.0
007	2.3298A	0.1054	000.4*
008	0.000 A	100.000	000.0
009	0.000 A	100.000	000.0
010	3.5508A	0.2323	000.4*
011	0.000 A	100.000	000.0
012	0.000 A	100.000	000.0
013	2.4808A	0.1044	000.4*
014	0.000 A	100.000	000.0
015	0.000 A	100.000	000.0
016	0.000 A	100.000	000.0
017	0.000 A	100.000	000.0
018	0.000 A	100.000	000.0
019	0.000 A	100.000	000.0
020	0.000 A	100.000	000.0
021	0.000 A	100.000	000.0
022	0.000 A	100.000	000.0
023	0.000 A	100.000	000.0
024	0.000 A	100.000	000.0
025	0.000 A	100.000	000.0
026	0.000 A	100.000	000.0
027	0.000 A	100.000	000.0
028	0.000 A	100.000	000.0
029	0.000 A	100.000	000.0
030	0.000 A	100.000	000.0
031	0.000 A	100.000	000.0
032	0.000 A	100.000	000.0
033	0.000 A	100.000	000.0
034	0.000 A	100.000	000.0
035	0.000 A	100.000	000.0
036	0.000 A	100.000	000.0
037	0.000 A	100.000	000.0
038	0.000 A	100.000	000.0
039	0.000 A	100.000	000.0
040	0.000 A	100.000	000.0
041	0.000 A	100.000	000.0
042	0.000 A	100.000	000.0
043	0.000 A	100.000	000.0
044	0.000 A	100.000	000.0
045	0.000 A	100.000	000.0
046	0.000 A	100.000	000.0
047	0.000 A	100.000	000.0
048	0.000 A	100.000	000.0
049	0.000 A	100.000	000.0
050	0.000 A	100.000	000.0
051	0.000 A	100.000	000.0
052	0.000 A	100.000	000.0
053	0.000 A	100.000	000.0
054	0.000 A	100.000	000.0
055	0.000 A	100.000	000.0
056	0.000 A	100.000	000.0
057	0.000 A	100.000	000.0
058	0.000 A	100.000	000.0
059	0.000 A	100.000	000.0
060	0.000 A	100.000	000.0
061	0.000 A	100.000	000.0
062	0.000 A	100.000	000.0
063	0.000 A	100.000	000.0
064	0.000 A	100.000	000.0
065	0.000 A	100.000	000.0
066	0.000 A	100.000	000.0
067	0.000 A	100.000	000.0
068	0.000 A	100.000	000.0
069	0.000 A	100.000	000.0
070	0.000 A	100.000	000.0
071	0.000 A	100.000	000.0
072	0.000 A	100.000	000.0
073	0.000 A	100.000	000.0
074	0.000 A	100.000	000.0
075	0.000 A	100.000	000.0
076	0.000 A	100.000	000.0
077	0.000 A	100.000	000.0
078	0.000 A	100.000	000.0
079	0.000 A	100.000	000.0
080	0.000 A	100.000	000.0
081	0.000 A	100.000	000.0
082	0.000 A	100.000	000.0
083	0.000 A	100.000	000.0
084	0.000 A	100.000	000.0
085	0.000 A	100.000	000.0
086	0.000 A	100.000	000.0
087	0.000 A	100.000	000.0
088	0.000 A	100.000	000.0
089	0.000 A	100.000	000.0
090	0.000 A	100.000	000.0
091	0.000 A	100.000	000.0
092	0.000 A	100.000	000.0
093	0.000 A	100.000	000.0
094	0.000 A	100.000	000.0
095	0.000 A	100.000	000.0
096	0.000 A	100.000	000.0
097	0.000 A	100.000	000.0
098	0.000 A	100.000	000.0
099	0.000 A	100.000	000.0
100	0.000 A	100.000	000.0

Auxo 1

```
*****
POLTECH PM300 Serial 4061 Version 2.05
Current scaling = 100.00
*****
```

	Ch1	Ch2	Ch3
F	0.982	1.000	1.000
thd	Ch1 1.275%		
	Ch2 1.586%		
	Ch3 1.437%		
dc	Ch1 99.80mA		
	Ch2 0.000 A		
	Ch3 0.000 A		
H01	Ch1 2.392 A		-009.4°
	Ch2 0.000 A		-000.0°
	Ch3 0.000 A		-000.0°
H02	Ch1 4.668mA	0.195%	-108.4°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H03	Ch1 207.0mA	8.654%	-204.6°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H04	Ch1 6.403mA	0.268%	-157.4°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H05	Ch1 27.91mA	1.167%	-032.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H06	Ch1 3.002mA	0.126%	-170.5°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H07	Ch1 32.84mA	1.373%	-201.1°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H08	Ch1 4.077mA	0.170%	-166.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H09	Ch1 13.591mA	0.568%	-033.1°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H10	Ch1 2.529mA	0.106%	-281.2°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H11	Ch1 5.555mA	0.232%	-259.6°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H12	Ch1 2.489mA	0.104%	-216.8°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H13	Ch1 3.527mA	0.147%	-278.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H14	Ch1 999.5uA	0.042%	-000.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
H15	Ch1 2.506mA	0.105%	-180.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
hd	Ch1 9.723%		
	Ch2 100.00%		
	Ch3 100.00%		

```
*****
```

Med L
Carga Baixa
Convencional
Lavagem

 LTECH PM300 Serial 4061 Version 2.05
 current scaling = 100.00

	Ch1	Ch2	Ch3
	0.985	1.000	1.000

hd	Ch1 1.294%		
	Ch2 1.281%		
	Ch3 1.197%		

dc	Ch1 23.49mA		
	Ch2 0.000 A		
	Ch3 0.000 A		
01	Ch1 4.703 A		-003.8°
	Ch2 0.000 A		-000.0°
	Ch3 0.000 A		-000.0°
02	Ch1 39.43mA	0.839%	-067.4°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
03	Ch1 686.1mA	14.588%	-007.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
04	Ch1 9.602mA	0.204%	-341.5°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
05	Ch1 123.57mA	2.628%	-163.6°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
06	Ch1 7.605mA	0.162%	-143.1°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
07	Ch1 48.56mA	1.033%	-311.1°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
08	Ch1 4.572mA	0.097%	-090.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
09	Ch1 11.618mA	0.247%	-113.2°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
10	Ch1 2.162mA	0.046%	-045.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
11	Ch1 3.063mA	0.065%	-090.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
12	Ch1 3.069mA	0.065%	-000.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
13	Ch1 3.438mA	0.073%	-063.4°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
14	Ch1 1.5403mA	0.033%	-180.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
15	Ch1 9.891mA	0.210%	-141.3°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
hd	Ch1 15.226%		
	Ch2 100.00%		
	Ch3 100.00%		

Med L
 Carga Baixa
 Convencional
 Centrifugação

 VOLTECH PM300 Serial 4061 Version 2.05
 Current scaling = 100.00

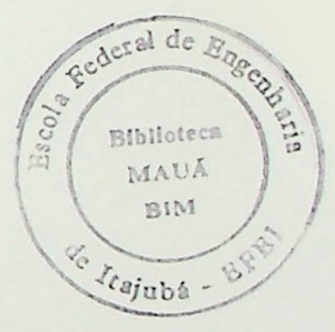
	Ch1	Ch2	Ch3
PF	0.987	1.000	1.000
Vthd	Ch1 1.273%		
	Ch2 1.561%		
	Ch3 1.563%		
A dc	Ch1 93.99mA		
	Ch2 0.000 A		
	Ch3 0.000 A		
AH01	Ch1 5.033 A		-003.9°
	Ch2 0.000 A		-000.0°
	Ch3 0.000 A		-000.0°
AH02	Ch1 30.10mA	0.598%	-139.1°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH03	Ch1 667.4mA	13.261%	-012.9°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH04	Ch1 12.239mA	0.243%	-240.2°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH05	Ch1 74.83mA	1.487%	-167.1°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH06	Ch1 9.740mA	0.194%	-218.6°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH07	Ch1 36.79mA	0.731%	-335.5°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH08	Ch1 0.000 A	0.000%	-000.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH09	Ch1 15.331mA	0.305%	-095.7°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH10	Ch1 0.000 A	0.000%	-000.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH11	Ch1 12.347mA	0.245%	-082.9°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH12	Ch1 9.207mA	0.183%	-269.9°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH13	Ch1 9.352mA	0.186%	-099.5°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH14	Ch1 5.554mA	0.110%	-033.7°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH15	Ch1 7.724mA	0.153%	-143.1°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
Athd	Ch1 14.548%		
	Ch2 100.00%		
	Ch3 100.00%		

Med Z
 Carga Alta
 Convencional
 Centrifugas

 VOLTECH PM300 Serial 4061 Version 2.05
 Current scaling = 100.00

	Ch1	Ch2	Ch3
PF	0.970	1.000	1.000
Vthd	Ch1 1.137%		
	Ch2 1.215%		
	Ch3 1.330%		
A dc	Ch1 92.17mA		
	Ch2 0.000 A		
	Ch3 0.000 A		
AH01	Ch1 2.376 A		-012.4°
	Ch2 0.000 A		-000.0°
	Ch3 0.000 A		-000.0°
AH02	Ch1 10.746mA	0.452%	-015.9°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH03	Ch1 234.4mA	9.867%	-196.8°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH04	Ch1 5.507mA	0.232%	-169.7°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH05	Ch1 74.19mA	3.123%	-355.3°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH06	Ch1 8.033mA	0.338%	-047.5°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH07	Ch1 52.03mA	2.190%	-167.9°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH08	Ch1 4.478mA	0.188%	-173.7°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH09	Ch1 13.805mA	0.581%	-014.5°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH10	Ch1 991.8uA	0.042%	-090.0°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH11	Ch1 4.499mA	0.189%	-006.3°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH12	Ch1 7.467mA	0.314%	-126.9°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH13	Ch1 6.784mA	0.286%	-107.1°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH14	Ch1 6.960mA	0.293%	-200.9°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
AH15	Ch1 2.835mA	0.119%	-314.9°
	Ch2 0.000 A	100.00%	-000.0°
	Ch3 0.000 A	100.00%	-000.0°
Athd	Ch1 11.570%		
	Ch2 100.00%		
	Ch3 100.00%		

Med Z
 Carga Alta
 Convencional
 Lavagem



 OLTECH PM300 Serial 4061 Version 2.05
 Current scaling = 25.00

	Ch1	Ch2	Ch3
F	0.441	0.540	0.463

thd	Ch1 1.102%		
	Ch2 1.460%		
	Ch3 1.324%		

dc	Ch1 9.346mA		
	Ch2 105.49mA		
	Ch3 94.67mA		
AH01	Ch1 569.9mA		-336.1°
	Ch2 817.7mA		-121.3°
	Ch3 501.0mA		-259.1°
AH02	Ch1 23.66mA	4.151%	-021.6°
	Ch2 33.70mA	4.121%	-248.1°
	Ch3 23.67mA	4.724%	-111.0°
AH03	Ch1 405.6mA	71.17%	-097.7°
	Ch2 90.56mA	11.076%	-273.9°
	Ch3 314.7mA	62.81%	-277.0°
AH04	Ch1 23.15mA	4.063%	-180.9°
	Ch2 31.72mA	3.879%	-324.4°
	Ch3 20.85mA	4.163%	-098.1°
AH05	Ch1 511.3mA	89.73%	-212.3°
	Ch2 751.1mA	91.86%	-070.0°
	Ch3 462.0mA	92.22%	-292.2°
AH06	Ch1 11.590mA	2.034%	-310.9°
	Ch2 2.000mA	0.245%	-011.3°
	Ch3 13.323mA	2.659%	-136.1°
AH07	Ch1 501.7mA	88.03%	-354.9°
	Ch2 707.1mA	86.47%	-141.4°
	Ch3 398.0mA	79.44%	-278.2°
AH08	Ch1 14.403mA	2.527%	-052.5°
	Ch2 24.11mA	2.949%	-288.9°
	Ch3 20.64mA	4.119%	-147.4°
AH09	Ch1 306.4mA	53.76%	-118.6°
	Ch2 56.88mA	6.957%	-275.1°
	Ch3 257.1mA	51.31%	-305.1°
AH10	Ch1 17.594mA	3.087%	-214.3°
	Ch2 22.13mA	2.706%	-004.1°
	Ch3 14.552mA	2.905%	-127.7°
AH11	Ch1 345.5mA	60.63%	-226.2°
	Ch2 519.0mA	63.48%	-088.9°
	Ch3 355.7mA	71.00%	-310.2°
AH12	Ch1 9.278mA	1.628%	-007.1°
	Ch2 4.353mA	0.532%	-000.0°
	Ch3 8.197mA	1.636%	-180.0°
AH13	Ch1 336.5mA	59.05%	-011.8°
	Ch2 449.4mA	54.96%	-160.6°
	Ch3 240.1mA	47.92%	-292.9°
AH14	Ch1 7.357mA	1.291%	-096.0°
	Ch2 12.624mA	1.544%	-335.8°
	Ch3 13.486mA	2.692%	-183.2°
AH15	Ch1 164.12mA	28.80%	-147.4°
	Ch2 35.07mA	4.288%	-268.6°
	Ch3 143.56mA	28.66%	-338.0°
thd	Ch1 183.10%		
	Ch2 157.58%		
	Ch3 180.14%		

VOLTECH PM300 Serial 4061 Version 2.05
Current scaling = 25.00

	Ch1	Ch2	Ch3
PF	0.533	0.589	0.542
Vthd	Ch1 0.881%		
	Ch2 1.226%		
	Ch3 1.163%		
A dc	Ch1 25.09mA		
	Ch2 85.38mA		
	Ch3 87.66mA		
AH01	Ch1 1.2236 A		-344.4°
	Ch2 1.6006 A		-120.9°
	Ch3 1.1301 A		-251.8°
AH02	Ch1 25.79mA	2.108%	-359.1°
	Ch2 20.11mA	1.257%	-256.4°
	Ch3 30.99mA	2.742%	-135.5°
AH03	Ch1 555.6mA	45.41%	-099.8°
	Ch2 106.37mA	6.646%	-261.4°
	Ch3 446.8mA	39.54%	-283.5°
AH04	Ch1 27.40mA	2.240%	-210.7°
	Ch2 20.67mA	1.292%	-335.3°
	Ch3 22.85mA	2.022%	-079.8°
AH05	Ch1 1.0630 A	86.88%	-205.5°
	Ch2 1.3970 A	87.28%	-074.0°
	Ch3 1.0547 A	93.33%	-303.1°
AH06	Ch1 13.821mA	1.130%	-082.1°
	Ch2 1.4143mA	0.088%	-033.7°
	Ch3 10.243mA	0.906%	-244.3°
AH07	Ch1 1.0131 A	82.80%	-005.1°
	Ch2 1.2979 A	81.09%	-144.4°
	Ch3 847.8mA	75.03%	-273.4°
AH08	Ch1 13.989mA	1.143%	-029.4°
	Ch2 15.652mA	0.978%	-321.0°
	Ch3 27.04mA	2.393%	-177.6°
AH09	Ch1 350.6mA	28.65%	-127.5°
	Ch2 90.10mA	5.630%	-244.6°
	Ch3 320.7mA	28.38%	-323.4°
AH10	Ch1 19.819mA	1.620%	-250.8°
	Ch2 18.387mA	1.149%	-031.0°
	Ch3 11.790mA	1.043%	-118.2°
AH11	Ch1 630.9mA	51.57%	-220.0°
	Ch2 809.8mA	50.59%	-097.0°
	Ch3 707.2mA	62.58%	-325.3°
AH12	Ch1 11.610mA	0.949%	-097.6°
	Ch2 3.381mA	0.211%	-020.6°
	Ch3 10.122mA	0.896%	-263.6°
AH13	Ch1 571.0mA	46.67%	-027.0°
	Ch2 664.4mA	41.51%	-168.5°
	Ch3 423.3mA	37.46%	-290.4°
AH14	Ch1 1.9254mA	0.157%	-053.1°
	Ch2 12.185mA	0.761%	-019.0°
	Ch3 15.714mA	1.391%	-218.1°
AH15	Ch1 119.37mA	9.757%	-181.5°
	Ch2 54.52mA	3.406%	-248.0°
	Ch3 149.98mA	13.273%	-021.1°
thd	Ch1 150.78%		
	Ch2 137.43%		
	Ch3 151.78%		

 LITECH PM300 Serial 4061 Version 2.05
 Current scaling = 25.00

 Ch1 Ch2 Ch3
 0.442 0.560 0.465

hd Ch1 1.364%
 Ch2 1.821%
 Ch3 2.825%

dc Ch1 24.29mA
 Ch2 100.81mA
 Ch3 95.19mA

01 Ch1 775.8mA -333.3°
 Ch2 1.2312 A -117.6°
 Ch3 780.6mA -261.0°

02 Ch1 19.068mA 2.458% -017.4°
 Ch2 48.79mA 3.962% -257.9°
 Ch3 41.36mA 5.298% -098.7°

03 Ch1 593.4mA 76.50% -095.5°
 Ch2 7.822mA 0.635% -269.9°
 Ch3 577.5mA 73.99% -275.0°

04 Ch1 16.845mA 2.171% -165.7°
 Ch2 50.27mA 4.083% -298.3°
 Ch3 36.56mA 4.684% -093.5°

05 Ch1 671.7mA 86.59% -209.8°
 Ch2 1.1213 A 91.07% -068.5°
 Ch3 729.1mA 93.41% -283.8°

06 Ch1 8.366mA 1.078% -269.9°
 Ch2 17.963mA 1.459% -301.5°
 Ch3 27.92mA 3.576% -115.9°

07 Ch1 663.2mA 85.49% -346.4°
 Ch2 1.0256 A 83.30% -132.3°
 Ch3 605.3mA 77.54% -274.4°

08 Ch1 10.970mA 1.414% -020.3°
 Ch2 32.29mA 2.622% -273.4°
 Ch3 33.98mA 4.353% -123.0°

09 Ch1 432.0mA 55.69% -113.3°
 Ch2 19.599mA 1.592% -141.5°
 Ch3 452.6mA 57.97% -294.5°

10 Ch1 13.082mA 1.686% -173.3°
 Ch2 27.88mA 2.264% -316.0°
 Ch3 22.75mA 2.914% -123.7°

11 Ch1 404.9mA 52.19% -218.8°
 Ch2 737.9mA 59.93% -082.2°
 Ch3 522.9mA 66.99% -293.9°

12 Ch1 1.2131mA 0.156% -198.4°
 Ch2 14.343mA 1.165% -335.5°
 Ch3 13.665mA 1.751% -154.1°

13 Ch1 408.4mA 52.65% -357.9°
 Ch2 586.8mA 47.66% -145.0°
 Ch3 328.0mA 42.02% -282.9°

14 Ch1 1.9254mA 0.248% -323.0°
 Ch2 10.174mA 0.826% -321.2°
 Ch3 15.979mA 2.047% -159.4°

15 Ch1 221.5mA 28.55% -140.7°
 Ch2 26.40mA 2.144% -095.2°
 Ch3 239.6mA 30.70% -316.6°

hd Ch1 175.79%
 Ch2 148.35%
 Ch3 179.68%

Med 04
 Carga Alta
 Lavagem
 motor 1/2 cv
escala

 VOLTECH PM300 Serial 4061 Version 2.05
 Current scaling = 25.00

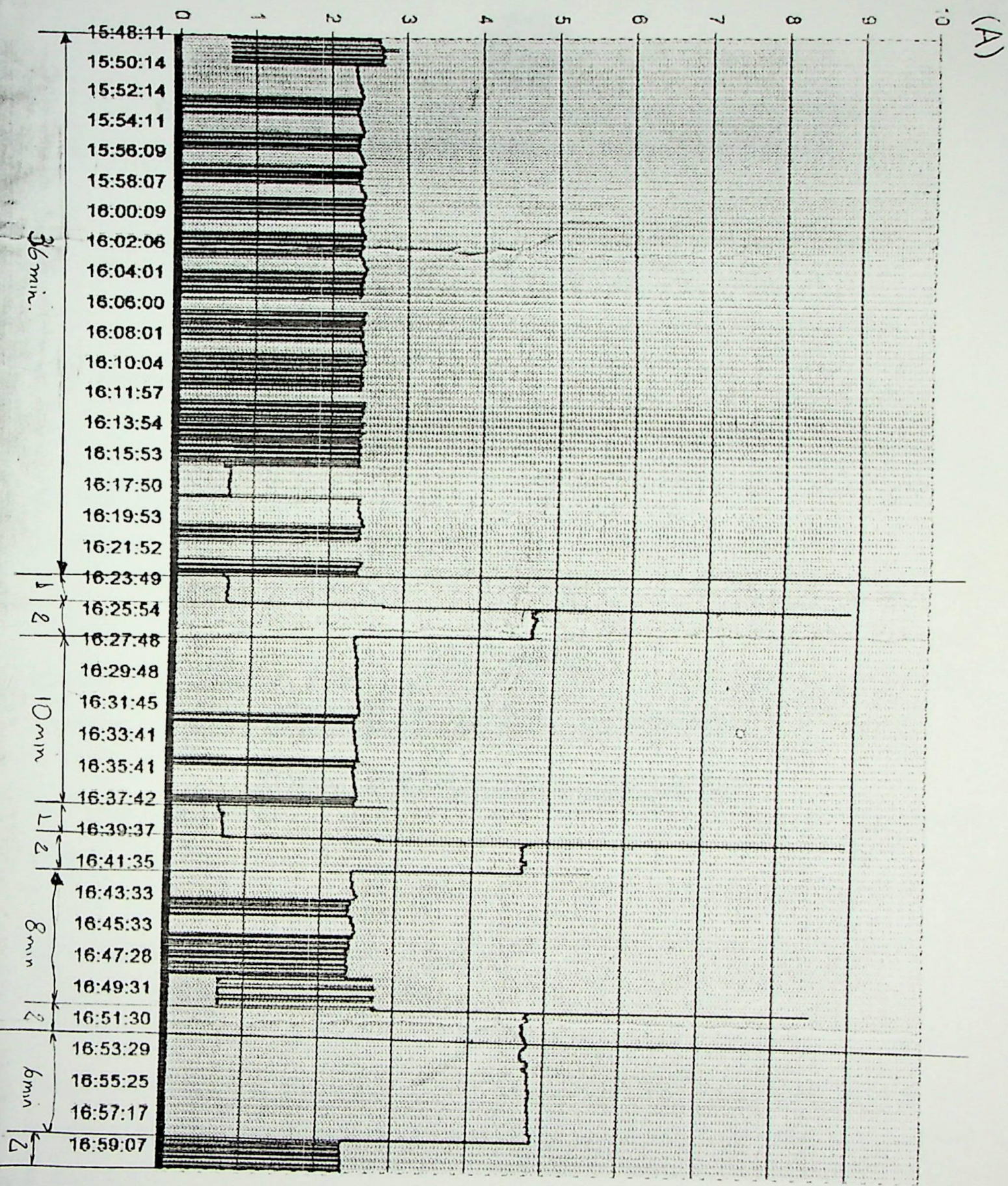
	Ch1	Ch2	Ch3
PF	0.539	0.613	0.549
Vthd	Ch1 1.310%	Ch2 1.716%	Ch3 2.311%
A dc	Ch1 5.149mA	Ch2 202.4mA	Ch3 181.29mA
AH01	Ch1 1.6274 A	Ch2 2.206 A	Ch3 1.4695 A
AH02	Ch1 23.12mA	Ch2 52.43mA	Ch3 47.66mA
AH03	Ch1 858.4mA	Ch2 135.10mA	Ch3 723.7mA
AH04	Ch1 27.78mA	Ch2 44.37mA	Ch3 41.19mA
AH05	Ch1 1.3209 A	Ch2 1.9045 A	Ch3 1.3872 A
AH06	Ch1 12.743mA	Ch2 9.994mA	Ch3 23.73mA
AH07	Ch1 1.3110 A	Ch2 1.6764 A	Ch3 1.0317 A
AH08	Ch1 12.768mA	Ch2 36.10mA	Ch3 28.92mA
AH09	Ch1 533.9mA	Ch2 58.79mA	Ch3 499.0mA
AH10	Ch1 15.788mA	Ch2 22.90mA	Ch3 19.910mA
AH11	Ch1 648.8mA	Ch2 1.0212 A	Ch3 860.5mA
AH12	Ch1 11.955mA	Ch2 6.561mA	Ch3 8.299mA
AH13	Ch1 657.3mA	Ch2 711.0mA	Ch3 424.9mA
AH14	Ch1 7.722mA	Ch2 18.693mA	Ch3 11.367mA
AH15	Ch1 212.2mA	Ch2 26.51mA	Ch3 195.87mA
Athd	Ch1 143.13%	Ch2 129.07%	Ch3 149.91%

Med 0/1
 Carga Alta
 Centrifuga
 motor 1/2 cv
 ecc...

ANEXO B

PERFIL DE CORRENTE PARA UM CICLO COMPLETO

ANEXO 2 → PERFIL DE CARGA P/ CILLO COMPLETO.



— Fase A



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

APÊNDICE

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

SOBRE MOTORES DE INDUÇÃO

APÊNDICE

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS SOBRE MOTORES DE INDUÇÃO

1 - RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS ENROLAMENTOS

1.1 - RESISTÊNCIA ÔHMICA

É a resistência ôhmica dos condutores que formam os enrolamentos. O ensaio que determina a resistência ôhmica dos enrolamentos de um motor caracteriza-se como sendo um ensaio de verificação, e não de determinação ou previsão.

Os valores obtidos neste ensaio, devem ser comparados com os valores apresentados quando o motor estava novo (valores característicos), valores estes normalmente fornecidos pelo fabricante.

Este procedimento torna-se obrigatório no caso de reenrolamentos parcial ou total da máquina.

1.2 - COMO MEDIR A RESISTÊNCIA ÔHMICA

Os motores de indução comerciais podem apresentar-se com 3 ou 6 pontas acessíveis no Estator. No caso do Motor de 6 Pontas, não há conexão interna, logo o valor apresentado a cada 2 pontas já é o valor de cada enrolamento, como mostra a figura 1.2.1

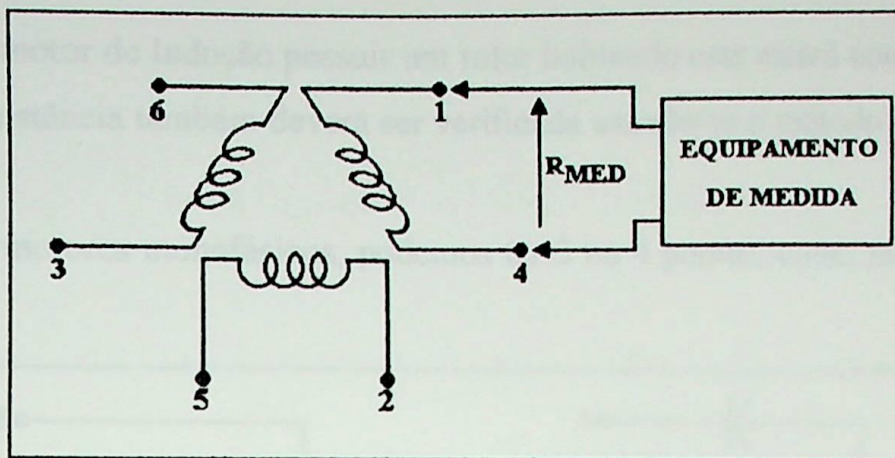


Figura 1.2.1 :Motor de 6 pontas

Comumente, os motores de indução trifásicos (MIT) se apresentam com 3 pontas acessíveis no estator, estando este já conectado internamente em Δ e Y. Se a conexão interna for Y, a resistência de fase (Resistência de cada Enrolamento) será metade da Resistência medida.

Já quando a Conexão interna for Δ , a resistência de Fase será 1,5 maior que a Resistência medida. Tal esquema é apresentado na figura 1.2.2.

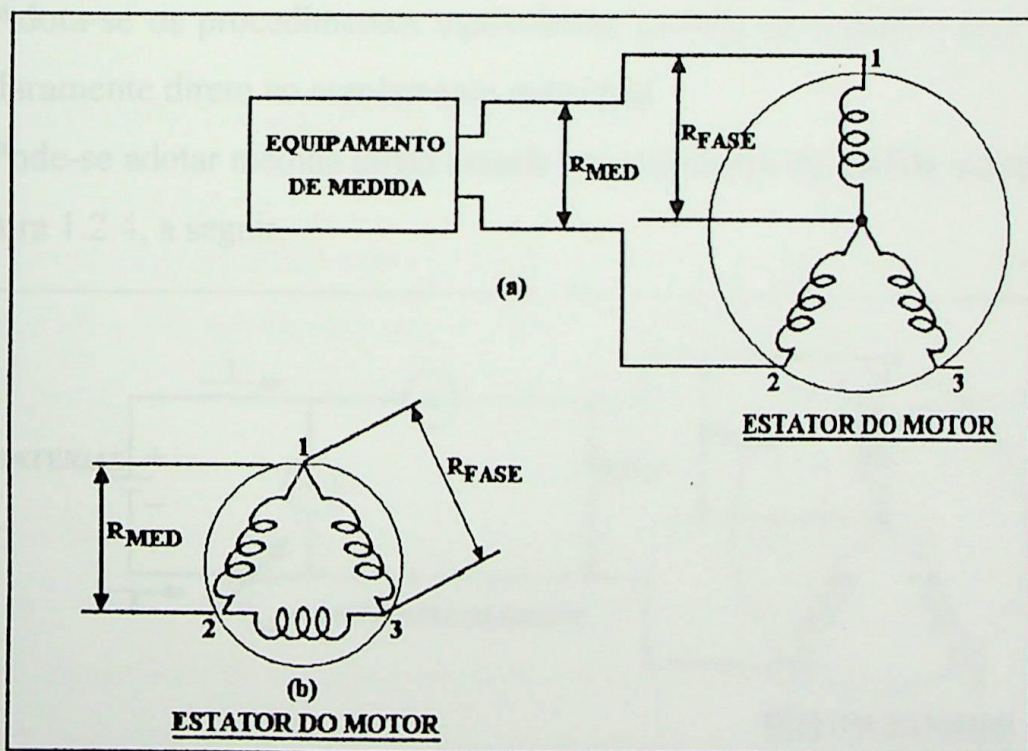


Figura 1.2.2 :Resistência de fase

Se o motor de Indução possuir um rotor bobinado este estará conectado em Y, e a sua resistência também deverá ser verificada usando-se o método anteriormente descrito.

Para motores monofásicos, podemos ter 3 ou 4 pontas, como mostra a figura 1.2.3.

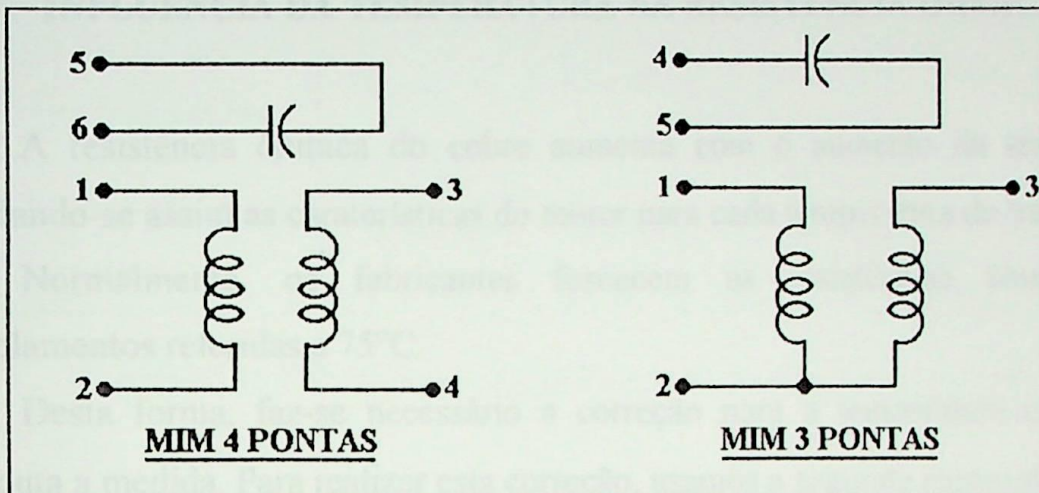


Figura 1.2.3 :Motores monofásicos

Adota-se os procedimentos equivalentes ao MIT de 6 pontas, pois o acesso está claramente direto ao enrolamento individual.

Pode-se adotar medida direta usando um ohmímetro ou medida indireta, como na figura 1.2.4, a seguir.

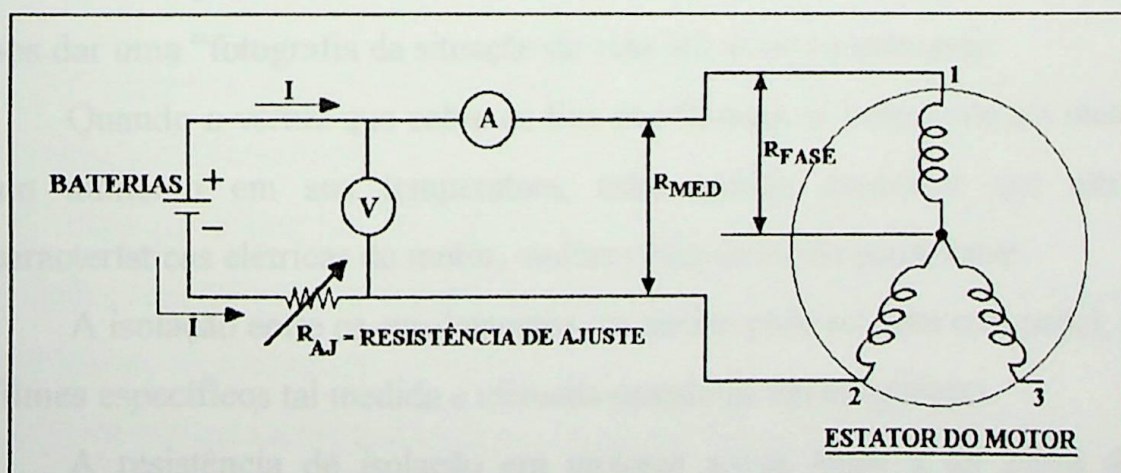


Figura 1.2.4 :Ligação do ohmímetro

Neste caso, o valor de R_{MED} será:

$$R_{MED} = \frac{V_{MED}}{I_{MED}} \quad \text{onde: } I_{MED,MAX} = 15\% \cdot I_N \quad (\text{NBR 5383}) \quad \text{eq.: 1.1.1}$$

2 - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA RESISTÊNCIA ÔHMICA

A resistência ôhmica do cobre aumenta com o aumento da temperatura, mudando-se assim as características do motor para cada temperatura de trabalho.

Normalmente, os fabricantes fornecem as resistências ôhmicas dos enrolamentos referidas a 75°C.

Desta forma, faz-se necessário a correção para a temperatura em que se executa a medida. Para realizar esta correção, usamos a seguinte expressão:

$$\frac{R_{T_1}}{R_{T_2}} = \frac{234,5 + T_1}{234,5 + T_2} \quad \text{eq.: 2.1}$$

3 - MEDIDA DE RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO

O acompanhamento sistemático da resistência de isolação de um motor pode nos dar uma “fotografia da situação da vida útil deste equipamento.

Quando o verniz que cobre os fios que formam as bobinas de um motor sofre um aumento em sua temperatura, estes sofrem mudanças que alteram as características elétricas do motor, muitas vezes de forma permanente.

A isolação entre os enrolamentos e o núcleo pode ser feita com papel, mica ou filmes específicos tal medida é efetuada usando-se um megômetro.

A resistência de isolação em motores novos tende a ser baixa devido a presença de vapores de verniz entre as partes energizadas.

A temperatura também influencia, sendo que a temperatura padrão para este ensaio é de 40°C*.

Caso o ensaio ocorra a outras temperaturas, o valor deverá ser corrigido usando-se a seguinte tabela*:

FAIXA DE TEMPERATURA	10 - 20 °C	30 - 40 °C	50 - 60 °C	70 - 80 °C
RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO	40 MΩ	10 MΩ	4 MΩ	1 MΩ

Tabela 3.1: Tabela das temperatura X Resistência de isolação

O Valor mínimo aceitável segundo a norma ABNT 5383 para a resistência de isolação é dado pela seguinte expressão:

$$R_m = U_n + 1 \quad \text{eq.: 3.1}$$

onde: U_n é a menor tensão nominal do motor em KV

R_m é a resistência mínima de isolação em MΩ

A presença de umidade nas medidas também poderá comprometer as medidas da resistência de isolação.

Para se evitar tal fato, deve-se aquecer o motor, usando-se uma estufa, resistências internas ou fazendo-se passar uma corrente no estator da máquina, eliminando-se a umidade presente.

Um cuidado a ser tomado é a taxa de elevação da temperatura que não deverá exceder a 5°C a cada hora, podendo atingir um valor máximo de 105°C. Para taxas

* Norma ABNT

maiores haverá a formação de vapores de verniz, acarretando-se em erros nas leituras.

4 - DETERMINAÇÃO DA MÁXIMA TENSÃO SUPORTÁVEL

Para determinar-se este parâmetro, deve-se realizar sobre o motor o ensaio de tensão suportada ou tensão aplicada.

Tal ensaio contribui para uma avaliação mais concreta. Do comportamento da resistência de isolamento do motor.

Consiste em aplicar uma tensão alternada cujo valor é estabelecido por norma, e dado pela seguinte expressão:

$$U_{AP} = 2 \times U_N + 1000 \quad \text{eq.: 4.1}$$

onde: U_n é a tensão nominal em VOLTS

U_{AP} é a tensão a ser aplicada

A expressão anteriormente citada não representa que um motor que tenha obtido sucesso neste ensaio, vá realmente possuir uma vida útil longa.

Na maioria das vezes os resultados deste ensaio conferem com a realidade, porém às vezes, acontecem danos ao motor durante o ensaio.

A aplicação da tensão deverá ocorrer a partir de 0V crescendo gradativamente, em um espaço de tempo superior a 10s.

Podemos verificar o arranjo deste ensaio na figura a seguir:

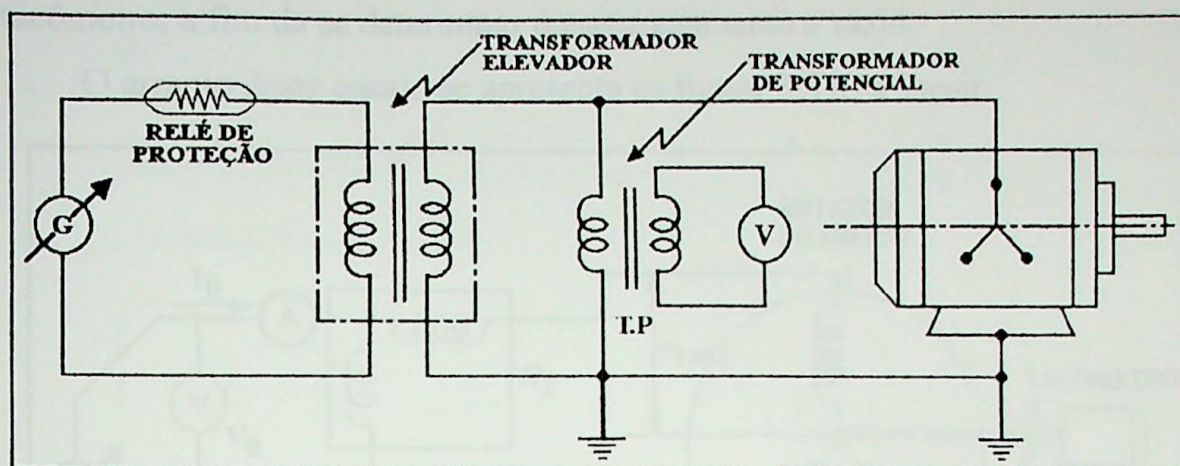


Figura 4.1: Ensaio com tensão aplicada

Faz-se imperativo lembrar, que, para motores com tempo de utilização acima de 10 anos, a resistência de isolação encontra-se bem inferior ao valor apresentado com 2 ou 3 anos. Desta forma, deve-se redobrar a atenção ao realizar-se este ensaio em motores mais antigos. Sob pena de danificá-lo durante o ensaio.

5 - DETERMINAÇÃO DO CIRCUITO EQUIVALENTE COMPLETO EM OPERAÇÃO COM CARGA

5.1. - RESISTÊNCIA ÔHMICA

Os parâmetros magnéticos que envolvem potências reativas são levantados através do ensaio a vazio do motor de indução.

Parâmetros como a corrente a vazio, a reatância oferecida por fase a linha pelo motor em vazio (X_{MAG}) e a resistência equivalente as perdas no núcleo e mecânicas por fase (R_p).

Outro dado importante adquirido por este ensaio é a curva de magnetização do motor.

Deve-se medir também a velocidade no motor lançando-se mão de um tacômetro, a fim de se determinar o escorregamento a vazio.

O arranjo deste ensaio se apresenta na figura 5.1.1, a seguir:

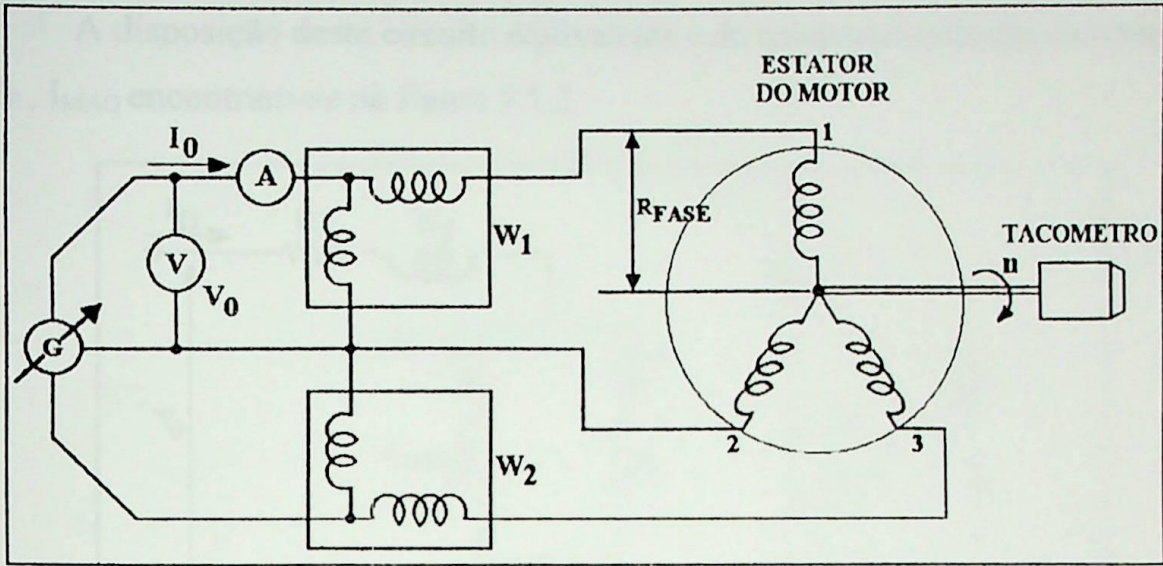


Figura 5.1.1: Arranjo de ensaio para escorregamento

O circuito equivalente é montado por fase.

A potência total do circuito será fornecida por:

$$W_{TOT} = 3 \times W_{FASE} \quad \text{eq.: 5.1.1}$$

$$W_{TOT} = W_1 + W_2 \quad \text{eq.: 5.1.2}$$

De posse dos valores obtidos pelo voltímetro, amperímetro e wattímetros, obtendo-se as tensões e correntes corrigidas por fase e considerando-se também que a corrente I_0 possui duas componentes defasadas de 90° , sendo I_{MAG} reativa a magnetização e I_p , em fase com a tensão, relativa as perdas, devemos observar que como I_{MAG} é muito maior que I_p , podemos afirmar que erra-se pouco aproximando-se I_0 de I_{MAG} . Portanto, temos:

$$X_{MAG} = \frac{V_0}{I_{MAG}} \quad \text{eq.: 5.1.3}$$

E ainda temos:

$$R_p = \frac{V_0}{I_p} \quad \text{eq.: 5.1.4}$$

A disposição deste circuito equivalente e do comportamento das correntes I_0 , I_p , I_{MAG} encontram-se na figura 5.1.2.

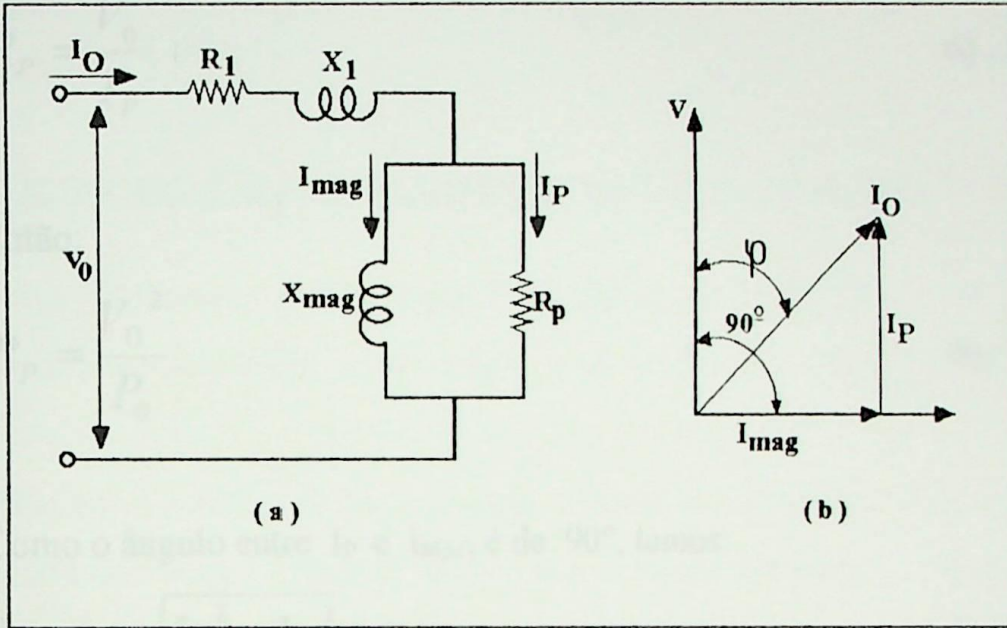


Figura 5.1.2: Circuito equivalente

Como as resistências e reatâncias do primário são muito menores que X_{MAG} e R_p para este tipo de operação, podemos considerá-las nulas.

A corrente I_p será fornecida por:

$$I_p = I_0 \times \cos\varphi_0 \quad \text{eq.: 5.1.5}$$

onde φ_0 é o fator de potência em vazio da máquina. E ainda:

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{V_0 \times I_0} \quad \text{eq.: 5.1.6}$$

Logo,

$$\frac{P_0}{V_0 \times I_0} = \frac{I_p}{I_0} = \frac{P_0}{V_0} \quad \text{eq.: 5.1.7}$$

Portanto:

$$R_p = \frac{V_0}{I_p} \quad \text{eq.: 5.1.8}$$

Então:

$$R_p = \frac{V_0^2}{P_0} \quad \text{eq.: 5.1.9}$$

Como o ângulo entre I_p e I_{MAG} é de 90° , temos:

$$I_{MAG} = \sqrt{I_0^2 - I_p^2} \quad \text{eq.: 5.1.10}$$

5.2. - DETERMINAÇÃO DE ESCORREGAMENTO A VAZIO DO MOTOR

A velocidade do campo girante criado pelo estator de um motor trifásico é chamada de velocidade síncrona (N_s) e depende do número de pares de pólos que este possui e é dada por:

$$N_s = \frac{60 \times f(\text{frequência da rede})}{N^\circ(\text{número de pares de pólos})} \quad \text{eq.: 5.2.1}$$

Define-se como escorregamento a diferença de velocidade entre o campo girante e o rotor da máquina de indução. O escorregamento (S) é dado por:

$$S = \frac{N_s - N_{OP}}{N_s} \quad \text{eq.: 5.2.2}$$

onde: N_s é a velocidade síncrona

N_{OP} é a velocidade de operação do rotor

Pode-se observar que o escorregamento varia da seguinte forma:

$$0 \leq S \leq 1 \text{ (PU)} \quad \text{eq.: 5.2.3}$$

5.3. - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DO MOTOR COM REATOR BLOQUEADO

Estes parâmetros são levantados no ensaio do motor com rotor bloqueado (ensaio de curto-circuito) e são relativos as perdas nos enrolamentos por efeito Joule.

Realiza-se o ensaio de rotor travado, fixando-se o rotor do motor, e, através de um autotransformador ajustável, aumenta-se a tensão aplicada no estator até que a corrente de circulação seja a nominal.

Tal valor de tensão, é muito menor que o nominal, e, desta forma, podemos afirmar que as perdas ocorridas neste caso, se devem principalmente a circulação da corrente nos enrolamentos.

O circuito é equivalente por fase, o arranjo deste ensaio pode ser observado na figura 5.3.1, a seguir:

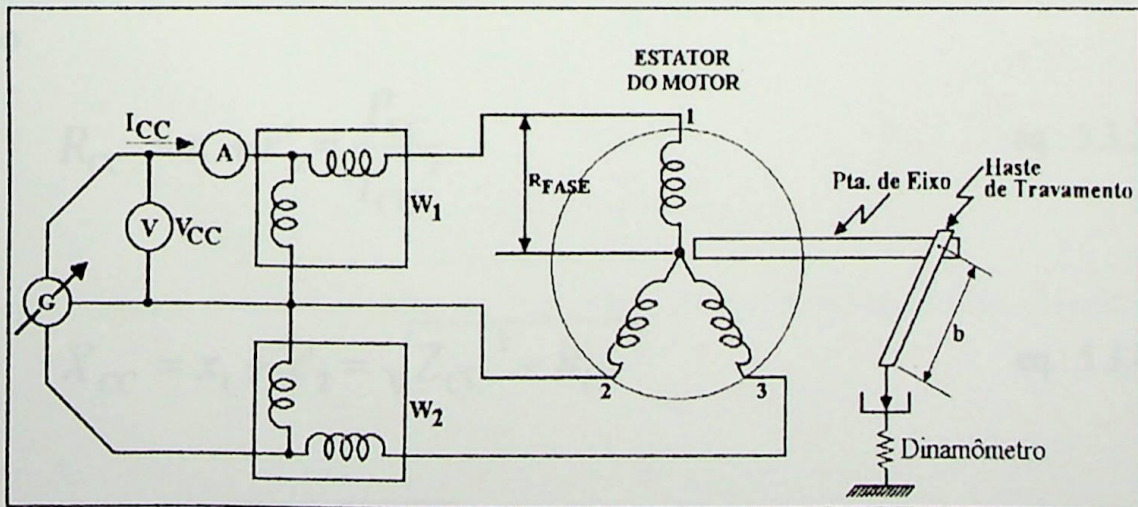


Figura 5.3.1: Circuito equivalente por fase

O ramo referente as perdas por efeito magnético poderá ser desconsiderado para este tipo de ensaio.

Desta forma, o circuito equivalente para este ensaio apresenta-se como na figura 5.3.2:

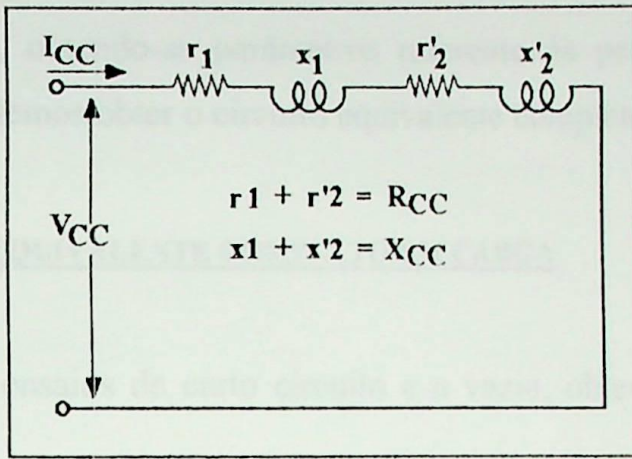


Figura 5.3.2: Circuito equivalente

Os valores r'_2 e x'_2 são os valores do rotor referidos ao estator através da relação:

$$E2' = E2 \times \left(\frac{N1}{N2} \right)^2 \quad \text{eq.: 5.3.1}$$

e

$$X2' = X2 \times \left(\frac{N1}{N2} \right)^2 \quad \text{eq.: 5.3.2}$$

Onde N_1 e N_2 são o número de espiras do estator e rotor respectivamente.

As equações para a determinação dos parâmetros do ensaio de curto circuito são:

$$R_{CC} = r_1 + r'_2 = \frac{P_{CC}}{I_{CC}^2} \quad \text{eq.: 5.3.3}$$

$$X_{CC} = x_1 + x'_2 = \sqrt{Z_{CC}^2 - R_{CC}^2} \quad \text{eq.: 5.3.4}$$

$$Z_{CC} = \sqrt{Z_{CC}^2 - R_{CC}^2} \quad \text{eq.: 5.3.5}$$

$$Z_{CC} = \frac{V_{CC}}{I_{CC}} \quad \text{eq.: 5.3.6}$$

Desta forma, obtendo-se parâmetros referente às perdas no núcleo e nos enrolamentos, podemos obter o circuito equivalente completo em carga.

5.4. - CIRCUITO EQUIVALENTE COMPLETO EM CARGA

Através dos ensaios de curto circuito e a vazio, obteve-se r'_2 , r_1 , x'_2 , x_1 e X_{MAG} .

O Valor r'_2 , foi obtido com o rotor travado, porém, o comportamento de r'_2 , depende da velocidade com que o rotor está girando, logo, no escorregamento.

Neste circuito equivalente, o valor r'_2 , será acrescido, devido ao fato do escorregamento ser menor que 1 e, como uma correta representação da resistência

do rotor referida ao estator, para a situação do rotor em operação normal é $\frac{r'_2}{s}$.

Temos então o seguinte circuito equivalente mostrado na figura 5.4.1:

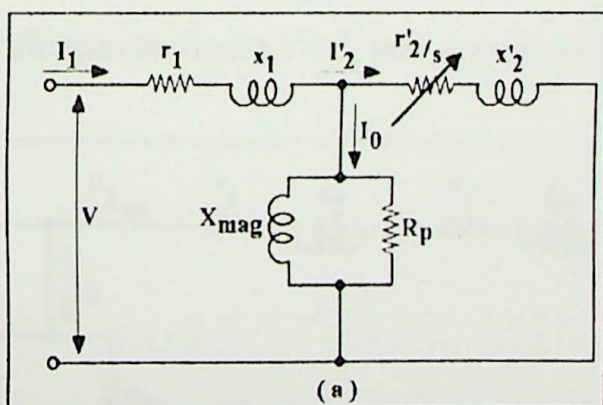


Figura 5.4.1: Circuito equivalente para rotor em operação normal

Como:

$$r_1 + r'_2 = \left(\frac{1-S}{S} \right) = \frac{r'}{S} \quad \text{eq.: 5.4.1}$$

Podemos então decompor $\frac{r'_2}{S}$ em duas resistências conectamos em série, resultando no circuito da figura 5.4.2, a seguir:

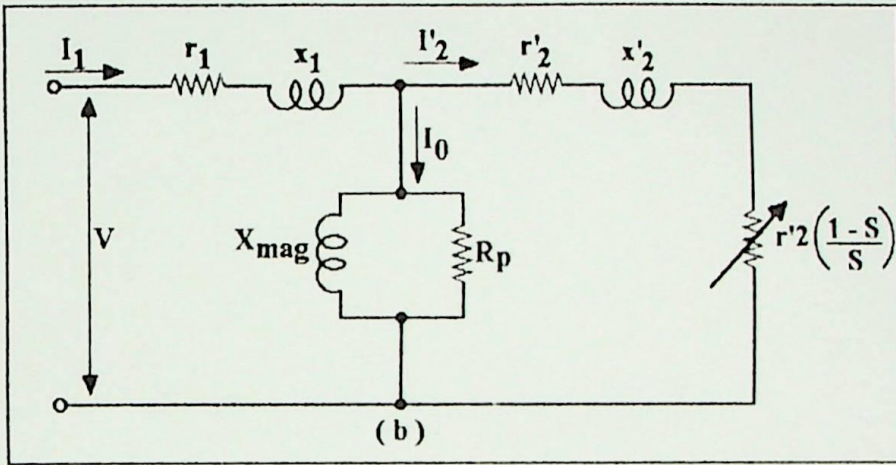


Figura 5.4.2: Circuito equivalente com duas resistências em série

Porém, como I'_2 mostra-se em termos práticos muito maior que I_0 , podemos ainda anotar a simplificação da figura 5.4.3, sem grandes previsões.

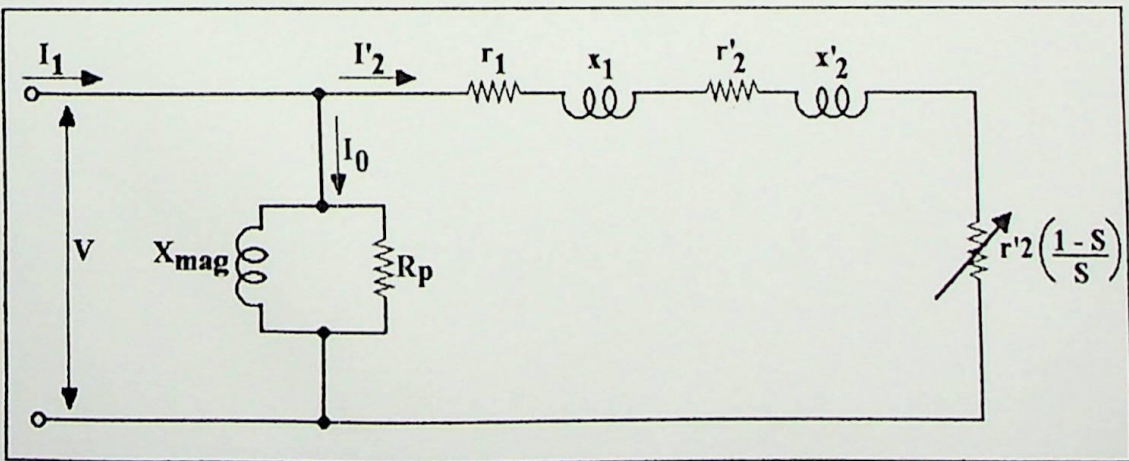


Figura 5.4.3: Simplificação do circuito

O circuito equivalente é de importância quando se opera como controle vetorial em inversores de frequência.

Normalmente (é o caso do equipamento usado na implementação deste trabalho) o inversor realiza sozinho os ensaios para levantamento dos parâmetros do motor, antes de entrar em operação normal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS



ESCOLA FEDERAL DE ENGENHARIA DE ITAJUBÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] RAJAMANI, Hailes S. and MAHON, R. A. Mc., **Induction Motor Drives for Domestic Appliances**, IEEE on Industry Application Magazine, May/June, 1997, pág. 21 - 26;
- [2] KOKALY, David G., **Variable Frequency Drives for Commercial Laundry Machines**, IEEE on Industry Application Magazine, May / June, 1977, pág. 27 - 30;
- [3] KATSUYUKI ISHIDA, Susumuoida and IKEDA, Yoshio, **Fully Automatic Easher**, model AW 8350, 1982, Toshiba Review n.º 141, Sep / Oct, pág. 28 - 32;
- [4] CLAWSON, Lawreng G., PETTY, Scott J. and ADAMSKI, Joseph R., **PSC Motor Improvement for Direct Drive Clothes Washers Applications**, IEEE on Industry Application Magazine, March/April, pág. 311 - 316;
- [5] NEIVA, J., **Conservação de Energia na Indústria Cerâmica**, 1980, SP, Editora IPT;
- [6] YAMACHITA, Roberto Akira, **Conservação de Energia Elétrica utilizando Sistemas de Iluminação**, 1998, Sistemas de iluminação, relatórios técnicos;
- [7] GAMA, Paulo H. R. Pereira, **A Conservação de Energia e sua Relação com a Qualidade de Energia Elétrica**, 1998, Conservação da Energia / PROCEL, relatórios técnicos;
- [8] **Three Phase Analyzing Datalogger - RCC Technologies**, Totonto - Canadá, 1995;
- [9] Brastemp - Manual técnico BNQ22BBANA, 1999;
- [10] Brastemp - Manual técnico BWQ22A, 1992;
- [11] Brastemp - Manual técnico BLL22B Mondial, 1990;
- [12] Brastemp - Manual técnico Master III, 1999;