

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

MAURICIO SILVA RANGEL

**ANÁLISE DO CONSUMO E QUALIDADE DE ENERGIA EM
CONDICIONADORES DE AR CONVENCIONAL E INVERTER**

ITUMBIARA - GO

2020



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: **Maurício Silva Rangel**

Matrícula: **201410400702**

Título do Trabalho: **Análise do Consumo e Qualidade de Energia em Condicionadores de Ar Convencional e Inverter**

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2** ou **3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Humbiana 17/11/2020
Local Data

Maurício Silva Rangel
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

MAURICIO SILVA RANGEL

**ANÁLISE DO CONSUMO E QUALIDADE DE ENERGIA EM
CONDICIONADORES DE AR CONVENCIONAL E INVERTER**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca avaliadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Itumbiara, como parte dos requisitos para a conclusão do Curso de Engenharia Elétrica e obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: 3.04.04.00-2 -
Sistemas Elétricos de Potência

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Pacheco

ITUMBIARA – GO

2020

Dados catalográficos

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

R196a Rangel, Mauricio Silva
 Análise do consumo e qualidade de energia em condicionadores
 de ar convencional e inverter. / Maurício Silva Rangel. – Itumbiara, 2020.
 85 p. : il. color.

 Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia
 Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
 Goiás, Câmpus Itumbiara, 2020.
 Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Pacheco

 1. Consumo de energia. 2. Energia elétrica - Consumo. 3. Ar
 condicionado - Equipamento e acessórios.
 I. Título. II. Pacheco, Cláudio Roberto. III. Instituto Federal de
 Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 621.3193

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Itumbiara
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey
Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Eduardo Pereira Resende CRB1/326



INSTITUTO FEDERAL
GOIÁS
Câmpus Itumbiara

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
COORDENAÇÃO DE CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

TERMO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Análise do Consumo e Qualidade de Energia em Condicionadores de Ar Convencional e Inverter.

AUTOR: Mauricio Silva Rangel.

ORIENTADOR: Claudio Roberto Pacheco.

Aprovado como parte das exigências para obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista, do Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

Itumbiara, 17 de novembro de 2020.

Claudio Roberto Pacheco.

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

Marcos Antônio Arantes de Freitas.

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

Roberlan Gonçalves de Mendonça.

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar neste objetivo, por não me fazer desistir da longa caminhada acadêmica.

Agradeço aos meus pais, José Francisco Nogueira Rangel por ser o meu maior incentivador e Iracilda Maria de Jesus Silva, os quais sempre me deram o total suporte e apoio nesta jornada.

Agradeço em especial a minha finada avó Iraide Isabel por tudo que fez por mim, por cada gesto de carinho, dedico este título a ela.

Agradeço aos meus amigos, pelos momentos de felicidade e tristeza durante todo o período de graduação em especial ao Vinicius Marquette, Matheus Faria, Matheus Ferreira, Tiago Damasceno, Paulo Àvila, Marcos Candine, Caio Franco, Tayron Moreira, Wandry, Luiz Carlos Lourenço, Frank Rodrigues, Márcio Barbosa, Leonardo Lira, Fabricio Mendonça, Wallace Garcia, Alexandre Macedo entre diversos parceiros que fiz em Itumbiara e também em Jataí onde iniciei o curso.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Cláudio Roberto Pacheco pela atenção, disposição, motivação e principalmente pelos ensinamentos repassados a mim desde o curso técnico em eletrotécnica e também na engenharia. O seu apoio foi imprescindível para a realização deste trabalho.

Agradeço aos professores Marcos Freitas e Roberlam Gonçalves por aceitarem compor a banca de avaliação deste trabalho, dois grandes nomes os quais sempre terei a honra de dizer que fui aluno deles.

Agradeço também os professores Sérgio Silva, Gunther Paulo, Rui Vagner, Luis Gustavo, Eric Nery, Marcelo Escobar, Hugo Xavier, Cássio Xavier, Victor Bernadelli, Willian Leão, Jucélio, dentre vários outros os quais tive o prazer de ser aluno.

Ao Instituto Federal de Goiás Campus Itumbiara por ofertar o curso de engenharia elétrica, o qual tive a oportunidade de estudar e conquistar o tão sonhado diploma.

RESUMO

A opção por um aparelho de ar condicionado tem sido frequente em todo território nacional devido às altas temperaturas ao longo do ano. Com o aumento do número de condicionadores instalados nas residências e conectados nas redes elétricas, altera-se a qualidade e o consumo da energia, ocasionando perturbações ao sistema elétrico de potência. Para reduzir tais problemas e preservar as características da energia, opta-se por dispositivos mais econômicos e eficientes.

Contudo, é importante tomar o conhecimento dos diferentes modelos de condicionadores de ar disponíveis no mercado, da conhecida tecnologia inverter, e até mesmo os modelos mais antigos do tipo convencional. Independentemente do tipo do ar condicionado todos querem um modelo que consuma menos energia. Logo, existem outros fatores nestes aparelhos que muitas das vezes passam despercebidos para o consumidor. Fatores como desequilíbrios, distúrbios harmônicos, entre outras variações existentes, podem ocasionar diversos problemas nos equipamentos e na rede, e de modo geral reduzir a qualidade da energia.

Neste sentido, foi proposta a análise comparativa do consumo e qualidade de energia entre dois condicionadores de ar, sendo um convencional e outro do tipo inverter, foram submetidos à ensaios individuais através de um analisador de energia permitindo, então, um diagnóstico real do comportamento de cada equipamento, tornando possível avaliar os quesitos de qualidade para obtenção do melhor desempenho do equipamento. Os resultados colhidos evidenciam a importância dos índices de qualidade de energia, tanto para o consumidor quanto para as concessionárias.

Palavras-Chave: 1. Ar Condicionado. 2. Consumo. 3. Qualidade. 4. Inverter. 5. Convencional

ABSTRACT

The option for an air conditioning unit has been frequent throughout the national territory due to the high temperatures throughout the year. With the increase in the number of conditioners installed in homes and connected to the electrical networks, the quality and consumption of energy changes, causing disturbances to the electrical power system. In order to reduce such problems and preserve the characteristics of the energy, more economical and efficient devices are chosen.

However, it is important to take note of the different models of air conditioners available on the market, of the well-known inverter technology, and even the oldest models of the conventional type. Regardless of the type of air conditioner, everyone wants a model that consumes less energy. Therefore, there are other factors in these devices that often go unnoticed by the consumer. Factors such as imbalances, harmonic disturbances, among other existing variations, can cause several problems in the equipment and in the network, and in general reduce the quality of the energy.

In this sense, it was proposed a comparative analysis of energy consumption and quality between two air conditioners, one conventional and the other of the inverter type, which were subjected to individual tests through an energy analyzer allowing, then, a real diagnosis of the behavior of each equipment, making it possible to evaluate the quality requirements to obtain the best performance of the equipment. The results obtained show the importance of the energy quality indexes, both for the consumer and for the concessionaires.

Keywords: 1. Air Conditioning. 2. Consumption. 3. Quality. 4. Inverter. 5. Conventional

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Uso Final da Energia Elétrica pelo Setor Residencial.....	17
Figura 2 – Uso Final da Energia Elétrica pelo Setor Comercial.....	18
Figura 3 - Gráfico de Consumo 2006-2015.....	18
Figura 4 - Consumo de Energia Elétrica Geral e por Região.....	19
Figura 5 - Curva de Carga Residencial, Região Norte.....	19
Figura 6 - Curva de Carga Residencial, Região Nordeste.....	20
Figura 7 - Curva de Carga Residencial, Região Sul.....	20
Figura 8 - Curva de Carga Residencial, Região Centro-Oeste.....	20
Figura 9 - Curva de Carga Residencial, Região Sudeste.....	21
Figura 10 - Selo PROCEL e ENCE.....	23
Figura 11 - Variação Anual de Classificação da ENCE de Equipamentos Split.....	24
Figura 12 - Distorção Harmônica em Rede Elétrica.....	26
Figura 13 - Potência Aparente Energia Total.....	31
Figura 14 - Comparativo entre Sistema Inverter e Convencional.....	34
Figura 15 - Forma de onda de um sinal elétrico de uma carga linear.....	36
Figura 16 - Forma de onda de tensão e corrente solicitada por uma carga não linear.....	37
Figura 17 - Analisador de energia.....	40
Figura 18 - Montagem do Analisador para Obtenção dos Dados.....	41
Figura 19 - Unidade Evaporadora do Equipamento Inverter.....	41
Figura 20 - Unidade Condensadora do Equipamento Inverter.....	42
Figura 21 - Potência Ativa - Inverter.....	43
Figura 22 - Corrente de Operação - Inverter.....	44
Figura 23 - Partida em Rampa - Inverter.....	45
Figura 24 - Fator de Potência - Inverter.....	46
Figura 25 - Distorção Harmônica Total de Tensão – THD _v	47
Figura 26 - Distorção Harmônica Total de Corrente – THD _i	48
Figura 27 - Relação entre o Fator de Potência e a Distorção Harmônica Total de Corrente.....	48
Figura 28 - Classes de Eficiência Energética para Condicionadores de Ar Split.....	50
Figura 29 - Tensão - Inverter.....	52
Figura 30 - Frequência - Inverter.....	53
Figura 31 - Indicador de Severidade de Cintilação de Curta Duração – Pst Inverter.....	55

Figura 32 - Potência Reativa – Inverter.....	56
Figura 33 - Montagem do Analisador para Obtenção dos Dados – Convencional.....	57
Figura 34 - Unidade Evaporadora do Equipamento – Convencional.....	58
Figura 35 - Unidade Condensadora do Equipamento – Convencional.....	58
Figura 36 - Potência Ativa – Convencional.....	59
Figura 37 - Corrente de Operação – Convencional.....	60
Figura 38 - Fator de Potência – Convencional.....	61
Figura 39 - Distorção Harmônica Total de Tensão – Convencional.....	62
Figura 40 - Distorção Harmônica Total de Corrente – Convencional.....	63
Figura 41 - Tensão - Convencional.....	65
Figura 42 - Frequência - Convencional.....	66
Figura 43 - Indicador de Severidade de Cintilação de Curta Duração – Pst- Convencional.....	66
Figura 44 - Potência Reativa – Convencional.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Posse Média de Equipamentos.....	16
Tabela 2 - Consumo de Energia Elétrica por Equipamento.....	17
Tabela 3 - Classificação dos equipamentos quanto à norma IEC 61000-2-3.....	29
Tabela 4 - Limites de Harmônicas de Corrente.....	29
Tabela 5- Limites de Distorção de Tensão.....	30
Tabela 6 - Limites de Distorção da Corrente para Sistemas de Distribuição 120V a 69kV.....	30
Tabela 7 - Implicações de alguns distúrbios da QEE.....	38
Tabela 8 - Emissão de Harmônicos em alguns equipamentos.....	38
Tabela 9 - LG Smart Inverter - Dados Técnicos.....	42
Tabela 10 - Influência dos Harmônicos no Acréscimo da Corrente e na Redução do FP.....	49
Tabela 11- Electrolux Split Características Técnicas.....	59
Tabela 12 - Comparação Potência Medida.....	68
Tabela 13 - Comparação Corrente Nominal e Corrente de Partida.....	69
Tabela 14 - Comparação Fator de Potência.....	69
Tabela 15 - Comparação Distorção Harmônica Total.....	70
Tabela 16 - Comparação Coeficiente de Eficiência Energética.....	71
Tabela 17 - Comparação Custo.....	71
Tabela 18 - Comparação Potência Reativa.....	72
Tabela 19 - Comparação Frequência, Tensão e Pst.....	73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BT	Baixa Tensão
BTU	British Thermal Unit (<i>Unidade Térmica Britânica</i>)
CEE	Capacidade de Eficiência Energética
CFCs	Clorofluorcarbonos
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EMBRACO	Empresa Brasileira de Compressores
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCOS	Energy Services Companies
FP	Fator de Potência
GWh	Gigawatt Hora
Hz	Hertz
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IEC	International Electrotechnical Commission
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia Qualidade e Tecnologia
KVAr	Quilovolt Amperes Reativos
KWh	Quilowatt Hora
MME	Ministério de Minas e Energia
ONS	Operador Nacional do Sistema
P	Potência Ativa
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa de Conservação de Energia Elétrica
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
Pst	Indicador de Severidade de Cintilação de Curta Duração
Q	Potência Reativa
QEE	Qualidade de Energia Elétrica
RGR	Reserva Global de Reversão
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade
S	Potência Aparente
SEP	Sistema Elétrico de Potência
THD	Distorção Harmônica Total

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	14
INTRODUÇÃO.....	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
CAPÍTULO 2.....	16
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 RESUMO ENERGÉTICO	16
2.2 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL.....	16
2.3 CURVA DE CARGA.....	19
CAPÍTULO 3.....	22
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	22
3.1 PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	22
3.2 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM.....	23
3.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES.....	24
CAPÍTULO 4.....	26
HARMÔNICOS.....	26
4.1 DISTORÇÕES HARMÔNICAS.....	26
4.2 CONSEQUÊNCIAS DE CORRENTES HARMÔNICAS.....	28
4.3 LIMITES PARA EMISSÃO DE HARMÔNICOS DE CORRENTE: IEC 61000-3-2.....	28
4.4 RECOMENDAÇÕES DA IEEE 519.....	30
4.5 FATOR DE POTÊNCIA.....	31
4.6 TECNOLOGIA INVERTER.....	33
4.7 QUALIDADE DE ENERGIA.....	35
4.7.1 DISTÚRBIOS RELACIONADOS COM A QUALIDADE DE ENERGIA.....	36
4.7.2 CAUSAS DE ALGUNS DISTÚRBIOS RELACIONADOS COM A QEE.....	37
CAPÍTULO 5.....	39
TÉCNICAS, ENSAIOS E RESULTADOS.....	39
5.1 DADOS TÉCNICOS E PROCEDIMENTOS.....	39
5.1.1 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO.....	39
5.2. INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO.....	39
5.2.1 ANALISADOR DE ENERGIA.....	40
5.3 LG SMART INVERTER.....	40

5.3.1	CONSUMO DE ENERGIA.....	43
5.3.2	CORRENTE DE OPERAÇÃO.....	44
5.3.3	FATOR DE POTÊNCIA.....	45
5.3.4	DISTORÇÃO HARMÔNICA.....	46
5.3.5	COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (CEE)	49
5.3.6	VALOR MENSAL DO CONSUMO.....	50
5.3.7	QUALIDADE DE ENERGIA – TENSÃO.....	51
5.3.8	QUALIDADE DE ENERGIA – FREQUÊNCIA.....	53
5.3.9	QUALIDADE DE ENERGIA – FLUTUAÇÃO DE TENSÃO.....	53
5.3.10	QUALIDADE DE ENERGIA – REATIVOS.....	55
5.4	SPLIT ELECTROLUX.....	57
5.4.1	CONSUMO DE ENERGIA.....	59
5.4.2	CORRENTE DE OPERAÇÃO.....	60
5.4.3	FATOR DE POTÊNCIA.....	61
5.4.4	DISTORÇÃO HARMÔNICA.....	62
5.4.5	COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (CEE)	63
5.4.6	VALOR MENSAL DO CONSUMO.....	64
5.4.7	QUALIDADE DE ENERGIA – TENSÃO.....	65
5.4.8	QUALIDADE DE ENERGIA – FREQUÊNCIA.....	65
5.4.9	QUALIDADE DE ENERGIA – FLUTUAÇÃO DE TENSÃO.....	66
5.4.10	QUALIDADE DE ENERGIA – REATIVOS.....	67
CAPÍTULO 6.....		68
CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS.....		68
6.1	CONSUMO.....	68
6.2	CORRENTE NOMINAL E CORRENTE DE PARTIDA.....	69
6.3	FATOR DE POTÊNCIA.....	69
6.4	DISTORÇÃO HARMÔNICA.....	70
6.5	COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA.....	71
6.6	CUSTO DE ENERGIA.....	71
6.7	REATIVOS.....	72
6.8	FREQUÊNCIA, TENSÃO E PST.....	73
CAPÍTULO 7.....		74
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....		74
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....		76
REFERÊNCIAS.....		77

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

No Brasil, o principal responsável pelo consumo energético, é o setor industrial, cerca de 40% do consumo total de energia elétrica é devido a presença de grandes cargas, como motores de elevadas potências e de diferentes tipos.

Além disso, as residências, edifícios, estabelecimentos comerciais, entre outros, apresentam cada vez mais, um aumento significativo no consumo de energia. A evolução da realidade social brasileira no sentido de uma economia mais desenvolvida e com melhor distribuição de renda, colaboram para um crescimento acelerado do consumo de energia elétrica no setor. Para se ter uma noção, foram consumidos no país, no ano de 2017, cerca de 465,13 GWh de energia elétrica, sendo, 133,9 GWh do setor residencial e 167 GWh do setor industrial [1].

Os refrigeradores, as iluminações e os aparelhos condicionadores de ar têm sido os principais responsáveis pelo aumento do consumo de energia elétrica nestes setores.

Segundo, [2], o Brasil encontra-se em terceiro lugar no ranking mundial de aparelhos de janela no segmento de ar-condicionado, atrás apenas dos Estados Unidos e Índia, e em nono lugar quando se fala em *splits*.

Com a temperatura predominantemente alta no decorrer do ano, a demanda por aparelhos de ar condicionado aumenta cada vez mais no Brasil, fazendo com que o consumo cresça proporcionalmente.

Há de se destacar ainda que, a matriz energética do Brasil é composta principalmente por usinas hidrelétricas, e que esta, em períodos de estiagem e altas temperaturas comprometem a sua geração de energia, devido à queda nos níveis de água dos rios. Logo, é fundamental a busca por soluções para evitar esse tipo de situação, atender a demanda que cresce frequentemente e assim evitar os indesejáveis apagões e falhas de energia no sistema.

Um caminho viável, seria o investimento em infraestrutura. Todavia, o custo seria alto e os resultados seriam lentos, podendo ainda ocasionar impactos ambientais relevantes. Uma saída seria o investimento em eficiência energética, pois tem um custo relativamente menor e uma resposta mais rápida.

1.2 OBJETIVOS

- Analisar o consumo, eficiência e qualidade de energia elétrica no Brasil, com ênfase em condicionadores de ar.
- Realizar medições através de um analisador de energia, a fim de colher dados das variáveis de potência de dois aparelhos de ar condicionado (convencional e inverter), ambos situados e instalados na cidade de Itumbiara, Goiás.
- Apresentar alguns parâmetros de potência assim como as variáveis de qualidade de energia medidos pelo analisador para que seja possível avaliar o comportamento de cada equipamento.
- Identificar e analisar possíveis anormalidades, quanto ao consumo, comportamento das distorções harmônicas e qualidade de energia de cada aparelho ensaiado.
- Avaliar a qualidade de energia elétrica da medição de acordo com as legislações.
- Comparar os resultados em ambos aparelhos de ar condicionado em questão.
- Verificar possíveis melhorias por meio das análises realizadas.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 RESUMO ENERGÉTICO

Neste capítulo pode-se analisar o consumo de energia elétrica dos setores residenciais, comerciais e industriais por meio de ilustrações gráficas e tabelas as quais colaboram para uma melhor avaliação do consumo de energia elétrica do Brasil.

2.2 ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

De acordo com [3], espera-se que o consumo total de energia no setor residencial cresça 1,8% ao ano entre 2016 e 2026, resultado conjunto do aumento da renda médias das famílias, do número de novos domicílios, das políticas de eficiência energética e da expansão da malha de distribuição de combustíveis. A eletricidade continua sendo a principal fonte de energia dos domicílios. A posse média dos principais equipamentos que consomem energia pode ser verificado pelas tabelas 1 e 2 a seguir:

Posse média de equipamentos			
Equipamento	2016	2021	2026
	unidades/100 domicílios		
Condicionador de ar	46	56	60
Geladeira	108	108	110
Freezer	18	17	15
Chuveiro elétrico	65	61	58
Máquina de lavar roupa	68	74	76
Televisão	181	183	186
Lâmpadas ⁽¹⁾	8,9	9,1	9,3

Nota: (1) Lâmpadas/domicílio

Tabela 1- Posse média de equipamentos. Fonte: [3]

Equipamento	2016	2026
Geladeira	24 Kw	26 Kw
Televisão	21 Kw	24 Kw
Condicionador de Ar	19 Kw	29 Kw
Chuveiro Elétrico	19 Kw	19,5 Kw
Lâmpadas	18 Kw	10 Kw
Freezer	7 Kw	6,5 Kw
Máquina de lavar roupa	3 Kw	4 Kw

Tabela 2- Consumo de energia elétrica por equipamento. Fonte: adaptado [3]

Pode-se notar um crescimento pronunciado do consumo de energia no período de 2016 a 2026, com contribuição expressiva dos condicionadores de ar. Observa-se ao longo do tempo que a aquisição destes aparelhos pelas famílias tem sido mais fácil, e por consequência, a tendência é um consumo crescente. Nesse contexto, o consumo de energia elétrica no setor residencial é de 3,9% ao ano. [3].

De acordo com a pesquisa do [4] de posse e hábitos no consumo de energia realizada pela Eletrobrás no período de 2006, o uso de eletrodomésticos referentes ao condicionamento de ambiente por parte de consumidores residenciais corresponde cerca de 20% de todo consumo de energia elétrica.

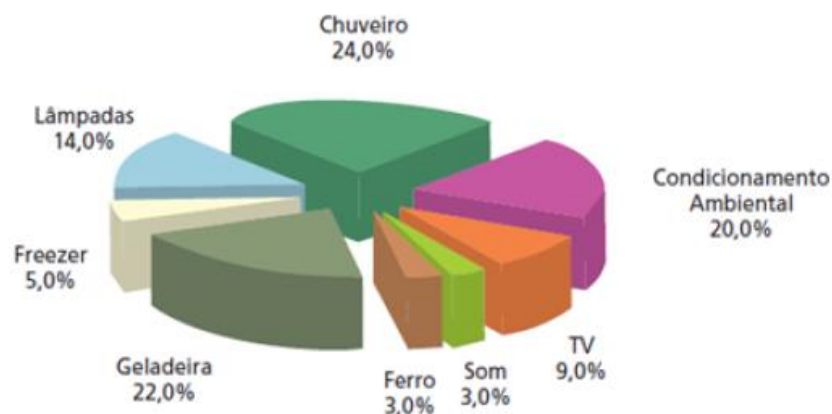


Figura 1 – Uso final da energia elétrica pelo setor residencial. Fonte: [4].

No entanto, o setor comercial representa cerca de 47% do consumo final se tratando de condicionador de ar, enquanto a iluminação corresponde a 22%. E no que se trata de ar condicionado, 77% correspondem a sistemas individuais de janela e/ou inverter.

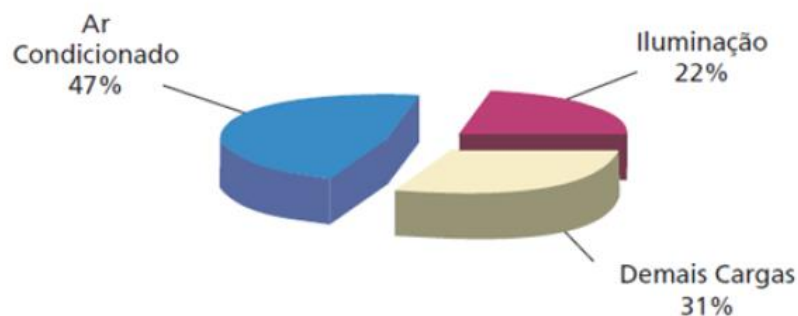


Figura 2 - Uso final da energia elétrica pelo setor comercial. Fonte:[4].

Segundo a [1], em 2006 os setores residencial, comercial e público registraram um consumo anual de 85,81GWh, 55,22GWh e 33,05 GWh, respectivamente. No entanto, em 2015 os consumos de energia elétrica por setores aumentaram significativamente, 53%, 65% e 29% respectivamente, conforme mostra a figura 3:

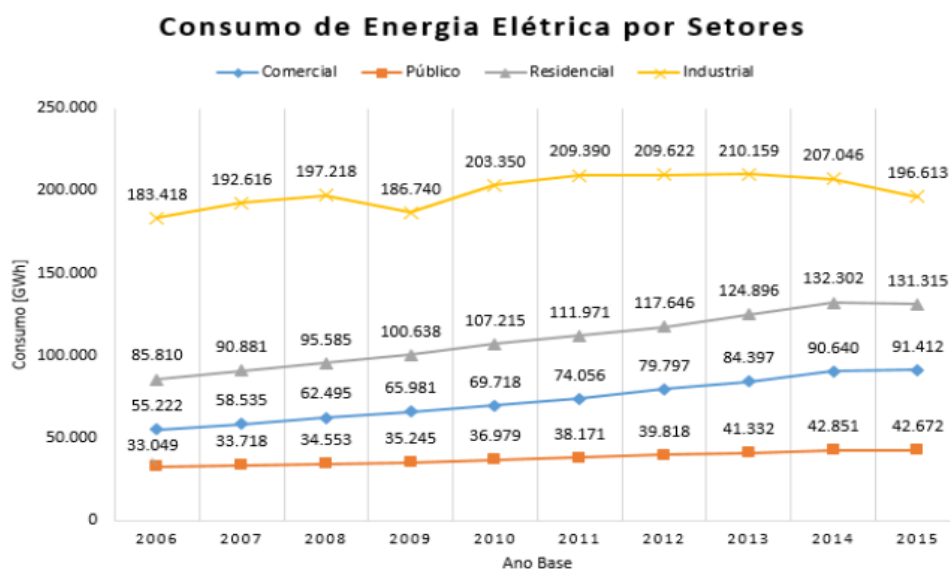


Figura 3 - Gráfico de consumo 2006-2015. Adaptado de [1]

Percebe-se que o consumo do setor residencial é influenciado pelo salto na economia do país no período de 2006 a 2015, isto é, de acordo com que a economia aumenta, a população em si tem mais acesso a aparelhos eletrodomésticos que fornecem maior comodidade e melhor qualidade de vida. Um desses aparelhos é o ar condicionado.

2.3 CURVA DE CARGA

Como o Brasil é um país muito extenso e populoso, logo, é válido o conhecimento sobre o consumo de cada região brasileira. Assim, pode-se ter uma visão geral do consumo final de energia elétrica no país e por região territorial, conforme dito:

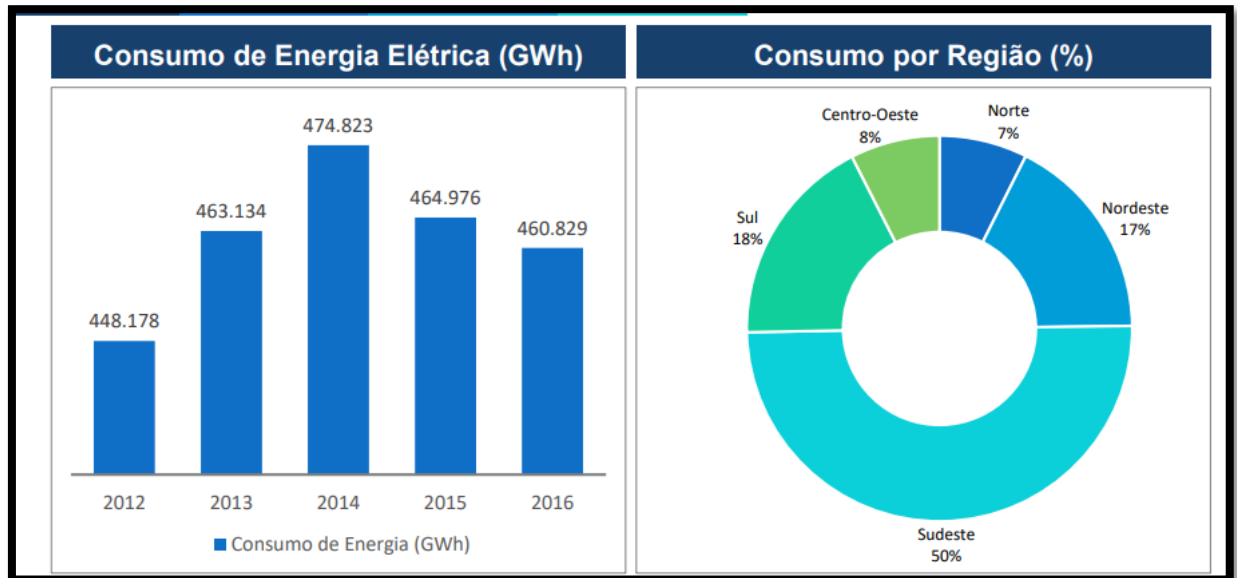


Figura 4 - Consumo de energia elétrica geral e por região. Fonte: [1]

Segundo a pesquisa do [4] de posse e hábitos no consumo de energia realizada pela Eletrobrás no período entre 2004 e 2006 é possível obter a curva de carga das 5 regiões do país, bem como o consumo detalhado de cada aparelho ou equipamento elétrico. Ainda que os dados estejam defasados, pode-se ter uma grande importância para o estudo.

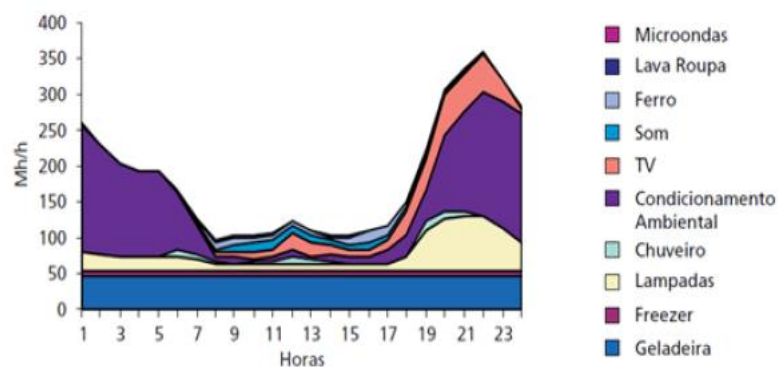


Figura 5 – Curva de carga residencial, Região Norte. Fonte: [4]

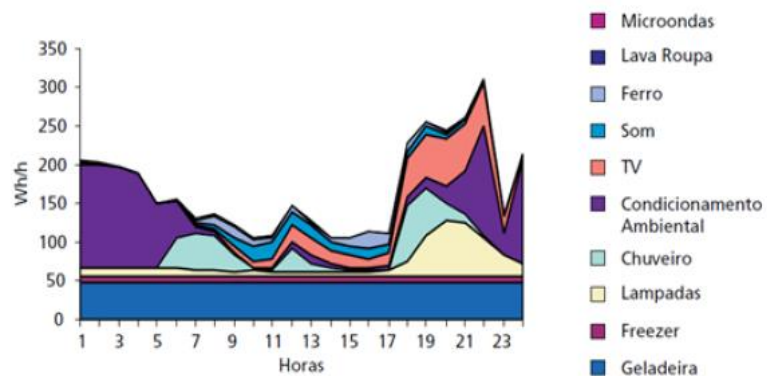


Figura 6 – Curva de carga residencial, Região Nordeste. Fonte: [4]

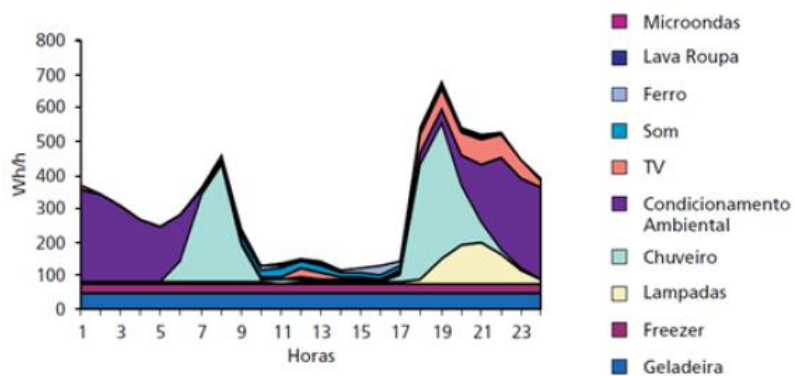


Figura 7 – Curva de carga residencial, Região Sul. Fonte: [4]

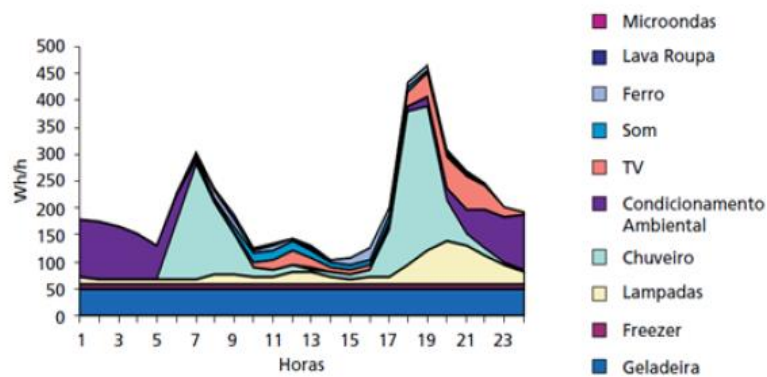


Figura 8 – Curva de carga residencial, Região Centro-Oeste. Fonte: [4]

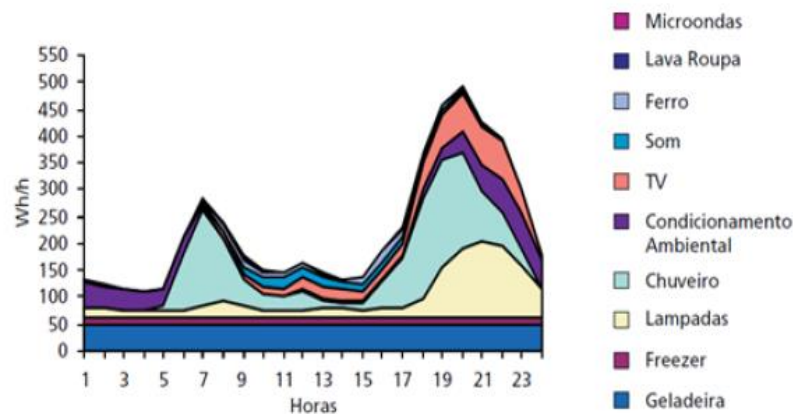


Figura 9 – Curva de carga residencial, Região Sudeste. Fonte: [4]

Vale ressaltar que nas regiões Norte e Nordeste obteve maiores impactos em relação ao consumo devido os condicionadores de ar e seus semelhantes. Com altas temperaturas nessas regiões, aumenta-se a utilização de condicionadores de ar e por outro lado diminui-se o uso do chuveiro elétrico. Porém, nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, o chuveiro causa um impacto mais significativo na curva de carga, e em relação ao ar condicionado, também causa um resultado significativo.

Apesar das distintas regiões do Brasil apresentarem diferentes climas e consumos de energia, o ar condicionado e semelhantes, possui valores relevantes, logo, em todas as regiões as médias de consumo estiveram bem próximas.

Diante de dados informados, pode-se observar que os setores comercial, residencial e industrial juntos, apresentam uma fatia considerável do consumo de energia elétrica do país. Portanto o ar condicionado tem uma grande contribuição para cada setor, visto que, cada dia que passa este torna-se mais comum, logo, pode-se alertar para as consequências que os condicionadores de ar geram em relação ao consumo e também para o sistema elétrico brasileiro.

CAPÍTULO 3

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3.1 PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Existem no Brasil alguns programas de eficiência energética de grande relevância para o potencial de conservação de energia. Se tratando de condicionamento de ambiente, o ar condicionado em específico, contribui significativamente para o consumo de energia elétrica entre os principais setores.

Segundo o [4], o condicionamento ambiental é uma fonte potencial de economia de grande importância em instalações comerciais, mediante a combinação da redução da carga térmica, aliada ao uso de tecnologias eficientes de geração de frio e melhor controle dos sistemas.

De acordo com [5], entre 1986 e 2007 a Eletrobrás-Procel investiu cerca de R\$ 359,22 milhões nos programas de eficiência energética, que somados aos recursos do RGR (R\$ 627,56 milhões) e a outros investimentos (R\$ 37,49 milhões), totaliza uma quantia superior a R\$ 1 bilhão. Estima-se que estes investimentos geraram um saldo positivo em economia de energia em torno de 28,53 bilhões de kWh/ano, o que equivale a uma usina de 6,841 MW a menos no sistema de geração de energia do país em 2008.

Em 1993, foi criado pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – Procel, o Selo Procel de Economia de Energia, ou simplesmente Selo Procel, o qual, tem como finalidade ser uma ferramenta simples e eficaz que permite ao consumidor conhecer, entre os equipamentos e eletrodomésticos à disposição no mercado, os mais eficientes e que consomem menos energia. Contudo são estabelecidos índices de consumo e desempenho para cada categoria de equipamento. Cada equipamento candidato ao selo deve ser submetido a ensaios em laboratórios indicados pela Eletrobrás. Apenas os produtos que atingem esses índices são contemplados com o Selo Procel.

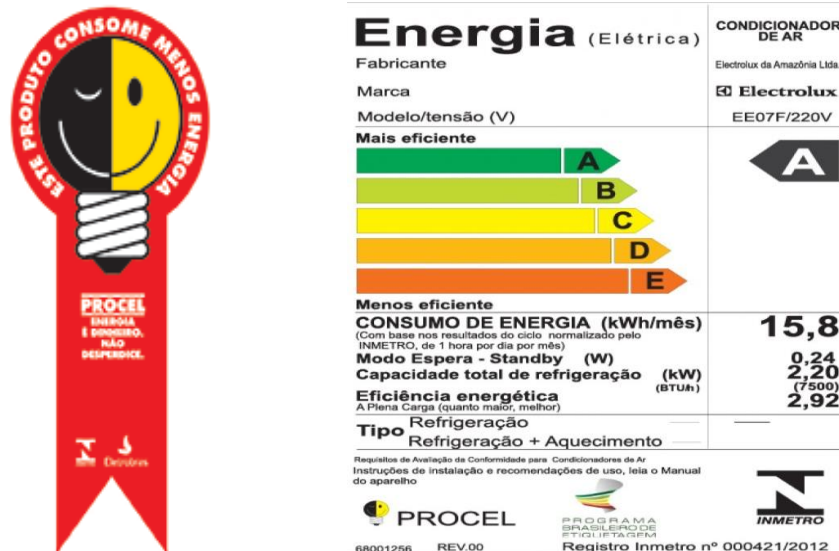


Figura 10 – Selo Procel de Economia de Energia e Etiqueta Nacional de Conservação de Energia.

Fonte: [4]

O selo auxilia o consumidor a escolher equipamentos que atendam os índices de eficiência de cada categoria. Para um equipamento obter o selo do Procel, este deve estar enquadrado na classe de eficiência energética “A” da ENCE.

3.2 PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM

Além do Procel, que é parceiro do PBE, existe um outro programa, este do INMETRO, responsável por indicar o desempenho energético do produto: O Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que faz a indicação das características técnicas e energéticas do produto por meio da ENCE (Etiqueta Nacional de Conservação de Energia). Ele é muito parecido com o PROCEL, pois fornece informações para o consumidor da eficiência energética do mesmo. Dessa forma além de auxiliar o mesmo no ato da compra, estimula a concorrência da indústria para produzir produtos com melhores qualidades e por preços menores. Em relação aos condicionadores de ar, o índice de eficiência energética tem sido uma ferramenta bastante útil para análises de eficiência e comparativos do desempenho.

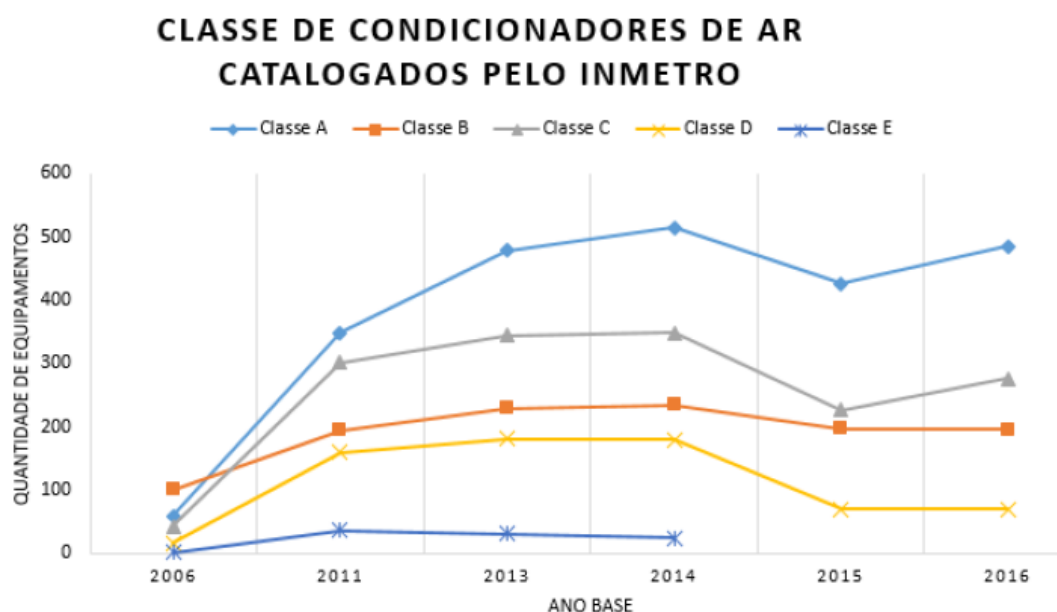


Figura 11 – Variação anual de classificação da ENCE de equipamentos Split. Fonte: Inmetro

Segundo os dados do INMETRO, é possível enxergar ao longo do tempo o número de equipamentos split cadastrados no programa PBE, assim como sua respectiva classe de eficiência energética.

Nota-se que houve uma grande mudança a partir de 2006 e no ano seguinte o índice mínimo passou a ser estabelecido e a maior parte dos equipamentos cadastrados no programa pertenciam a classe ‘B’. Contudo, em 2011, a classe ‘A’ obteve um grande avanço e assim percebe-se um salto relevante em relação à demais classes. A política de adoção de um índice mínimo de eficiência energética é uma variável muito importante para a conservação de energia elétrica e aumento da qualidade destes aparelhos. No ano de 2014, foi estabelecido um novo valor de índice mínimo, que passou de 2.39W/W para 2.6W/W, sendo estes valores permanecidos inalterados até hoje. Vale ressaltar que a categoria ‘E’ foi extinta a fim de reduzir a utilização de aparelhos menos efetivos. [6]

3.3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A conservação de energia é estimulada cada vez mais devido ao uso de equipamentos eficientes, entretanto, o uso indevido destes, podem comprometer toda a efetividade da instalação.

Segundo [7], no Brasil a taxa de consumo dos condicionadores de ar pode chegar em até 45% a mais do que o necessário. Isso ocorre devido a execução de projetos inadequados, ou seja, projetos elaborados sem levar em consideração diversos fatores que influenciam no desempenho térmico da edificação, tais como, a localização, entorno, radiação solar, características térmicas dos materiais dentre outros, impondo a necessidade de se utilizar o condicionador de ar como estratégia para o conforto térmico.

Logo é essencial, o estudo sobre os requisitos básicos de desempenho para edificações, com isso foi criado o Regulamento Técnico da Qualidade do nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviço e Público. (RTQ-C).

CAPÍTULO 4

HARMÔNICOS

Nesta parte, serão abordados alguns tópicos de grande importância para melhor compreensão do estudo envolvendo os aparelhos de ar condicionado e qualidade de energia. Em especial, os chamados “harmônicos” inclusive normas que regem o controle de distúrbios em redes elétricas.

4.1 DISTORÇÕES HARMÔNICAS

A palavra “harmônico” foi originalmente definida em acústica, significando a vibração de um fio ou uma coluna de ar, com frequência múltipla e diferente da fundamental, provocando uma distorção na qualidade do som resultante. Fenômenos semelhantes a este ocorrem na Engenharia Elétrica, onde deformações das tensões e correntes elétricas também tem sido registrada. Neste caso, os fundamentos físicos e matemáticos utilizados naquela área da física podem ser imediatamente aplicados às questões elétricas. [8]

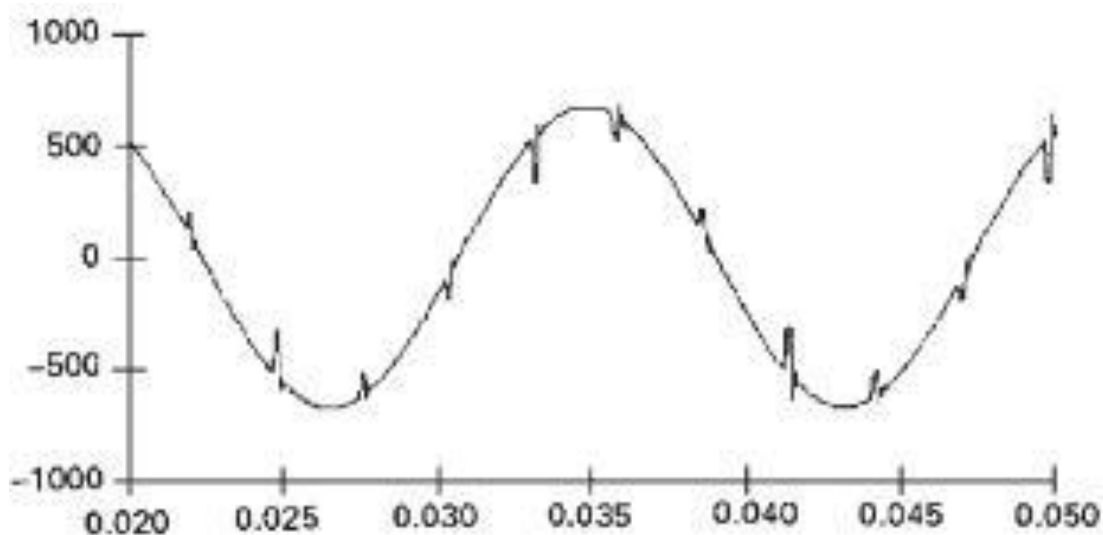


Figura 12 - Distorção harmônica em rede elétrica - fonte:[9]

Um dos objetivos de todas concessionárias de energia elétrica, é a qualidade do fornecimento de energia aos consumidores industriais e residenciais. Sabe-se que na teoria, o comportamento da tensão, frequência e amplitude são completamente diferentes da prática. Isso dar-se-á, devido aos desvios e perdas significativas durante o processo em questão.

Desde o advento da corrente alternada e conseqüentemente aos inúmeros componentes eletroeletrônicos com características não-lineares conectados à rede elétrica, a distorção de tensão e corrente é apresentada matematicamente através dos estudos das ondas não senoidais periódicas. Sabe-se que uma onda que tenha em seu conteúdo distúrbios ou anomalias em seu formato, ou seja, frequências com amplitude diferente da fundamental, logo pode ser decomposta de acordo com a série de Fourier, em uma componente de mesma frequência que o da onda resultante distorcida, que é chamada de “Onda Fundamental “ e em outras frequências múltiplas da desta fundamental, que recebem o nome de *harmônicas*.

Visando um melhor entendimento da decomposição de uma onda distorcida em função da existência de cargas não lineares (computadores, inversores, máquinas de solda, lâmpadas, no-breaks, etc.) que nada mais são que cargas com princípio de acionamento baseado na eletrônica de potência. (PROCEL -2006).

Portanto, para se chegar em um valor expressivo do nível de distorção harmônica presente em uma rede elétrica, calcula-se:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum (V_{n,rms})^2}}{V_{1,rms}} \quad (1)$$

$$THD_i = \frac{\sqrt{\sum (I_{n,rms})^2}}{I_{1,rms}} \quad (2)$$

THD significa, Distorção Harmônica Total, sendo THD_v em relação a Tensão e THD_i em relação a corrente.

Ou seja, a formulação matemática para encontrar a THD, basicamente é, a raiz quadrada da razão do somatório de todos os quadrados das amplitudes de todos os harmônicos do sinal pela amplitude da frequência fundamental do sinal.

4.2 CONSEQUÊNCIAS DE CORRENTES HARMÔNICAS

Altos níveis de harmônicas podem gerar alguns indesejáveis prejuízos para a qualidade de energia elétrica, pode-se citar os principais:

- Desempenho ruim e mau funcionamento de alguns equipamentos;
- Aumento das perdas em condutores; (efeito skin)
- Elevação de temperatura;
- Interferências;
- Aumento de vibrações.
- Aumento de correntes induzidas;
- Redução da vida útil de equipamentos, alternadores, transformadores, motores.
- Sobrecarga de condutores de Neutro;
- Sobretensões devido a ressonâncias;
- Sobrecarga na rede de distribuição devido ao aumento da corrente eficaz.

Contudo, com a intenção de reduzir os danos e prejuízos decorrentes destes distúrbios, surge a necessidade de impor limites referentes à presença de distorções harmônicas na corrente, e assim garantir a preservação da qualidade da tensão da rede.

Sendo assim, foram criadas algumas normas internacionais e nacionais que regulamentam e fiscalizam os valores máximos de harmônicas de correntes injetadas no sistema elétrico de potência (SEP).

4.3 LIMITES PARA EMISSÃO DE HARMÔNICOS DE CORRENTE: IEC 61000-3-2

Esta norma internacional IEC 61000-3-2 (1995) tem por objetivo impor limites para a emissão de harmônicos que consumam até 16A por fase, conectado a uma rede pública de

baixa tensão. Os equipamentos são classificados em 4 classes, com o propósito de limitação de correntes harmônicas conforme mostra a tabela abaixo:

Classe A	– Equipamentos trifásicos equilibrados – Aparelhos domésticos, exceto aqueles identificados como Classe D – Ferramentas, com exceção das portáteis – <i>Dimmers</i> para lâmpadas incandescentes – Equipamento de áudio – Todo equipamento não classificado como B, C e D
Classe B	– Ferramentas portáteis – Equipamento de solda a arco que não seja profissional
Classe C	– Equipamentos de iluminação
Classe D	– Computadores pessoais e monitores de PC – Aparelhos de televisão

Nota: Potência de entrada $P \leq 600$ W. Não há limites para $P < 75$ W.

Tabela 3 - Classificação dos equipamentos quanto à norma IEC 61000-2-3 – Fonte: [10]

Na tabela 4, é possível obter os valores limites de harmônicos de corrente, segundo a norma IEC 61000-2-3 e com as devidas classificações dos equipamentos:

Ordem h	Classe A (A)	Classe B (A)	Classe C (% da fund.) $P > 25$ W	Classe C (mA/W) $P \leq 25$ W	Classe D (mA/W)	Classe D (A)
Harmônicas ímpares						
3	2,30	3,45	$30 \times \lambda^*$	3,40	3,40	2,30
5	1,14	1,71	10	1,90	1,90	1,14
7	0,77	1,16	7	1,00	1,00	0,77
9	0,40	0,60	5	0,50	0,50	0,40
11	0,33	0,50	3	0,35	0,35	0,33
13	0,21	0,312	3	$3,85/h$	$3,85/h$	Ver Classe A
$15 \leq h \leq 39$	$0,15 \times 15/h$	$0,23 \times 15/h$	3	$3,85/h$	$3,85/h$	Ver Classe A
Harmônicas pares						
2	1,08	1,62	2	–	–	–
4	0,43	0,65	–	–	–	–
6	0,30	0,45	–	–	–	–
$8 \leq h \leq 40$	$0,23 \times 8/h$	$0,35 \times 8/h$	–	–	–	–

Tabela 4 – Limites de harmônicas de corrente- Fonte: [11]

4.4 RECOMENDAÇÕES DA IEEE 519

A norma internacional IEEE-519 - Controle de harmônicas no sistema elétrico de potência (2014), veio para tratar dos principais efeitos causadores de distorção harmônica, além de indicar métodos de medição e aplicar limites de distorção. Ao contrário da norma IEC, vista anteriormente, sua ênfase é o SEP e não o equipamento individualmente.

Para distorções harmônicas desde BT até 161KV, é estabelecido um limite individual por componente, isto é, conforme a tabela 5 e seguindo na tabela 6 para os limites de distorção da corrente em sistemas de distribuição.

Faixa de Tensão	Distorção individual por harmônico (%)	THDv (%)
Até 1 KV	5%	8%
1 KV < V < 69 KV	3%	5%
69 KV < V < 161 KV	1.5%	2.5%
161 KV < V	1%	1.5%

Tabela 5 – Limites de Distorção de Tensão. Fonte: [12]

Distorção de corrente em percentuais de I_{carga}						
	<i>Harmônicos individuais</i>					
I_{cc}/I_{carga}	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$h \geq 35$	TDD
<20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0
Harmônicos pares são limitados a 25% dos limites dos harmônicos ímpares						
I_{cc} = corrente máxima de curto-circuito						
I_{carga} = demanda máxima de corrente de carga (somente fundamental)						

Tabela 6 – Limites de Distorção da Corrente para Sistemas de Distribuição 120V a 69kV

Fonte: [13]

4.5 FATOR DE POTÊNCIA

Os motores, os transformadores e outros equipamentos de unidades consumidoras têm como força a energia elétrica, que é utilizada de duas formas distintas: a energia reativa e a energia ativa. A primeira delas, a energia reativa (Q), medida em KVA_r, não realiza trabalho efetivo, mas é necessária e consumida na geração do campo eletromagnético responsável pelo funcionamento de motores, transformadores e geradores. A segunda, a energia ativa, medida em kWh, é a que realmente produz as tarefas, isto é, faz os motores e os transformadores funcionarem. A composição destas duas formas de energia resulta na energia aparente ou total. [14]

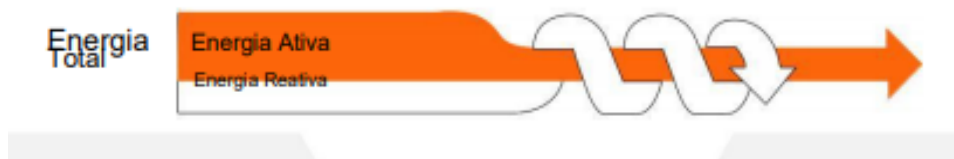


Figura 13 – Potência Aparente (Energia Total) – Fonte: [14]

O fator de potência (FP), é uma relação entre potência ativa (P) e a potência aparente (S). A formulação para calcular o FP é nada mais que a razão entre P e S, ou seja:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (3)$$

onde:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4)$$

Conforme (Resolução ANEEL 456/2000) estabelece através do PRODIST, determina que o Fator de Potência deve ser mantido o mais próximo possível da unidade 1, porém, permite um valor mínimo de 0,92. Se o Fator de Potência estiver abaixo desse mínimo, a conta de energia elétrica sofrerá um ajuste em reais, quanto maior for o consumo de energia reativa, para o mesmo consumo de energia ativa, mais baixo será o Fator de Potência.

Como os aparelhos condicionadores possuem motores, logo pode-se citar algumas das principais causas de um baixo fator de potência:

- Motores operando em baixo regime de carregamento;
- Utilização de grande número de motores de pequena potência;
- Capacitores ligados nas instalações das unidades consumidoras horossazonais no período da madrugada.

Um baixo fator de potência indica que a energia está sendo mal aproveitada. Nesse caso, podem ocorrer as seguintes situações:

1. Aumento das perdas elétricas internas da instalação;
2. Queda de tensão na instalação;
3. Redução do aproveitamento da capacidade dos transformadores;
4. Condutores aquecidos.

Para corrigir e melhorar o Fator de Potência e assim diminuir os riscos com acidentes elétricos por superaquecimento e, também, para evitar o acréscimo na fatura de energia, bem como reduzir as perdas de energia elétrica, pode-se seguir alguns conceitos:

- O dimensionamento correto de motores e equipamentos;
- A seleção, utilização e operação correta de motores e equipamentos elétricos em geral;
- A utilização permanente de reatores de alto Fator de Potência;
- A instalação de capacitores ou banco de capacitores onde for necessário (de preferência próximo da carga);
- A instalação de motores síncronos em paralelo com a carga.

Segundo o [15] para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 KV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 (noventa e dois centésimos) e 1,00 (um) indutivo ou 1,00 (um) e 0,92 (noventa e dois centésimos) capacitivo, de acordo com regulamentação vigente.

Contudo, um bom resultado do FP, isto é, quando o mesmo se encontra corrigido e elevado para 0,92 ou mais, tem-se uma série de vantagens sendo:

- Melhora no aproveitamento da energia elétrica para geração de trabalho útil;
- Diminuem-se as variações de tensão, as chamadas oscilações;
- Melhora o aproveitamento dos equipamentos com menos consumo;
- Aumenta a vida útil dos equipamentos;
- Os condutores tornam-se menos aquecidos, diminuindo as perdas de energia elétrica na instalação.

Portanto, o entendimento desses conceitos vistos neste capítulo, é importante para uma melhor compreensão dos resultados apresentados neste trabalho.

4.6 TECNOLOGIA INVERTER

A tecnologia inverter vem sendo a nova sensação no mercado do ramo de condicionadores de ar. Preferido por muitos consumidores quanto principalmente à economia de energia e eficiência. Os fabricantes garantem que equipamentos com a tecnologia inverter, podem resultar em economia de até 40% de energia elétrica, se comparado com um equipamento de modelo convencional.

O modelo inverter, o qual é aplicado a condicionadores split, como compressores rotativos, trata-se de um inversor de frequência que permite a variação na rotação do compressor, a partir do controle de velocidade do motor elétrico, conforme a temperatura desejada é atingida.

Essa tecnologia possui algumas vantagens, pode-se mencionar algumas:

- Menor ruído;
- Alcança rapidamente a temperatura desejada;
- Motor parte em rampa, ao invés de partida direta;
- A temperatura é mantida constante com poucas oscilações;
- Utiliza como gás refrigerante o R-410A que não agride a camada de ozônio, porque não possui CFCs (clorofluorcarbonos).

Entretanto, pouco se fala em desvantagens do ar condicionado inverter, logo, possuem um alto custo e demandam reformas por possuir duas unidades (interna e externa).

No caso do condicionador de ar de modelo convencional, o compressor possui somente duas opções, ou ligado ou desligado, isto é, quando é necessário resfriar o ambiente o compressor é ligado e opera com a sua potência máxima em Watts. Quando a temperatura do ambiente chega à temperatura desejada, o compressor é desligado.

A seguir pode-se comparar o funcionamento entre um condicionador inverter e um convencional. Percebe-se que a tecnologia inverter trabalha com um nível de rotação mais baixo do que o convencional, garantindo uma menor variação da temperatura e inclusive atingindo a temperatura solicitada em menor tempo.

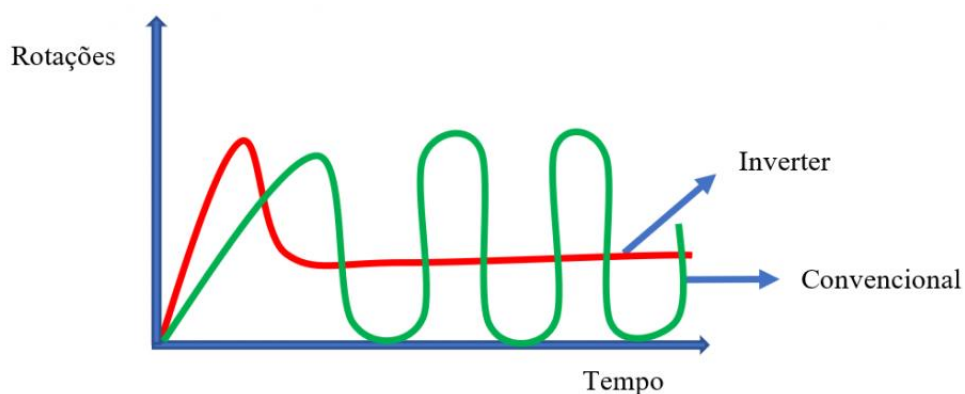


Figura 14 – Comparativo entre sistema inverter e convencional. Fonte: adaptado IEI-Brasil 2019.

Segundo [16] o fabricante Pioneer (2015), a precisão no controle da temperatura para o modelo Convencional chega a variar entre $\pm 3^\circ$ Celsius, enquanto a precisão no controle para o aparelho com a tecnologia inverter é de $\pm 0,5^\circ$ Celsius. Outra característica observada no gráfico é o fato de que o modelo inverter é capaz de reduzir a temperatura ambiente mais rápido, chegando a utilizar apenas 30% do tempo necessário para o aparelho convencional. Estas características comprovam a maior eficiência do modelo inverter em relação ao modelo convencional. De acordo com o fabricante Daikin (2015), por exemplo, seus aparelhos com a tecnologia inverter são 30% mais econômicos no consumo de energia elétrica do que os aparelhos convencionais. Outros fabricantes informam que essa economia chega a 40%. Alguns aparelhos da Samsung (2015) possuem uma função chamada Smart Inverter, que de acordo com

a empresa, chegam a apresentar uma economia de até 60% em relação aos modelos convencionais.

4.7 QUALIDADE DE ENERGIA

Os atuais programas de conservação de energia, adotados pelas mais diversas empresas governamentais (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL) e não governamentais (Energy Services Companies – ESCOS), são elaborados e executados considerando-se que o sistema elétrico de potência esteja trabalhando sob condições senoidais, com níveis de tensão e frequência dentro de valores estabelecidos por normas.

De acordo com [17] devido o aumento das cargas não lineares no sistema elétrico, o problema da distorção harmônica tem se tornado cada vez mais significativo, e interfere na qualidade do sistema elétrico, de forma a aumentar as perdas e até causarem danos e prejuízos aos consumidores e à concessionária.

No passado, a questão da qualidade da energia elétrica não era importante por dois motivos principais: o primeiro deles porque a maioria dos usuários não necessitava de um fornecimento de energia de alta qualidade, já que seus processos e equipamentos não eram tão sensíveis aos distúrbios relacionados com a qualidade. O segundo deles está relacionado com as empresas brasileiras de eletricidade que há quase meio século, operam dentro de um regime de monopólio de tarifas com base no custo do serviço, significando que todo aumento ou redução de custos não implicava em aumento ou redução dos lucros respectivamente.

Atualmente, a questão da qualidade de energia elétrica surge como um fator muito mais relevante e necessário aos vários envolvidos no sistema elétrico. A deterioração da qualidade pode provocar ineficiências técnicas e econômicas com significativas perdas para a comunidade.[17]

Qualidade de energia elétrica (QEE) pode ser definida como a ausência relativa de variações de tensão provocadas pelo sistema da concessionária, particularmente a ausência de desligamentos, flutuações de tensão, surtos e harmônicos (este pelo lado do cliente), medidos no ponto de entrega de energia (fronteira entre as instalações da concessionária e as do consumidor). Se, entretanto, olharmos o problema sob o ponto de vista do consumidor, “energia elétrica de boa qualidade, é aquela que garante o funcionamento contínuo, seguro e adequado

dos equipamentos elétricos e processos associados, sem afetar o meio ambiente e o bem estar das pessoas”. (Bronzeado, 1997).

4.7.1 DISTÚRBIOS RELACIONADOS COM A QUALIDADE DE ENERGIA

De acordo com [17], em um sistema de energia elétrica ideal, as tensões em qualquer ponto deveriam ser de forma permanente, perfeitamente senoidais, equilibradas, amplitude e frequência constantes, fator de potência unitário e perdas nulas. Qualquer desvio, acima de certos limites, na característica desses parâmetros pode ser considerado como uma perda de qualidade de energia. Em outras palavras, existe um problema de QEE sempre que ocorre um desvio na forma de onda da tensão de alimentação. Portanto, a QEE, na maioria dos casos, poderia ser representada pela qualidade da tensão elétrica do ponto onde a carga está ligada.

Por outro lado, a natureza das cargas conectadas à rede de distribuição cujas correntes solicitadas são também senoidais, são ditas lineares e apresentam formas de onda de corrente e de tensão conforme a figura 15. Para outras cargas, chamadas de não-lineares (ou especiais), as correntes são distorcidas, pode-se notar a forma de onda não senoidal, múltiplas frequências, diversos distúrbios, sistema desequilibrado, magnitudes diferentes, fator de potência não unitário e perdas não nulas. (figura 16).

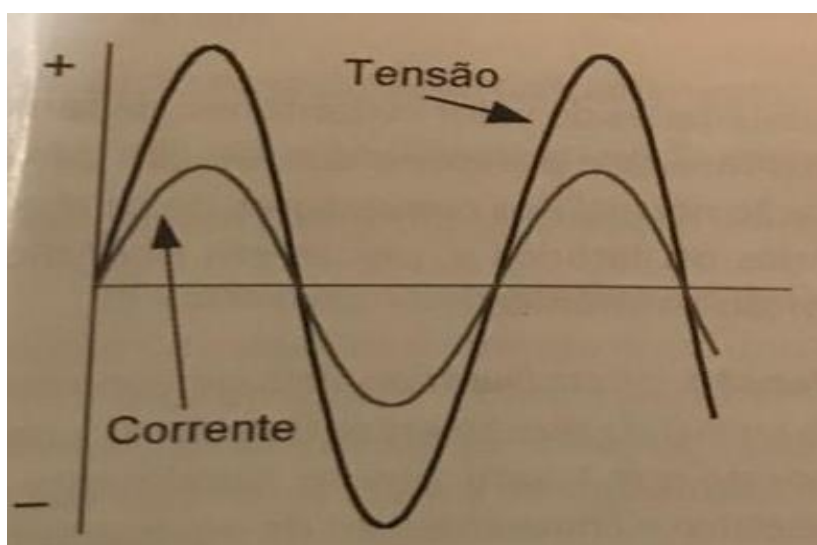


Figura 15 – Forma de onda de um sinal elétrico de uma carga linear – Fonte: adaptado [17]

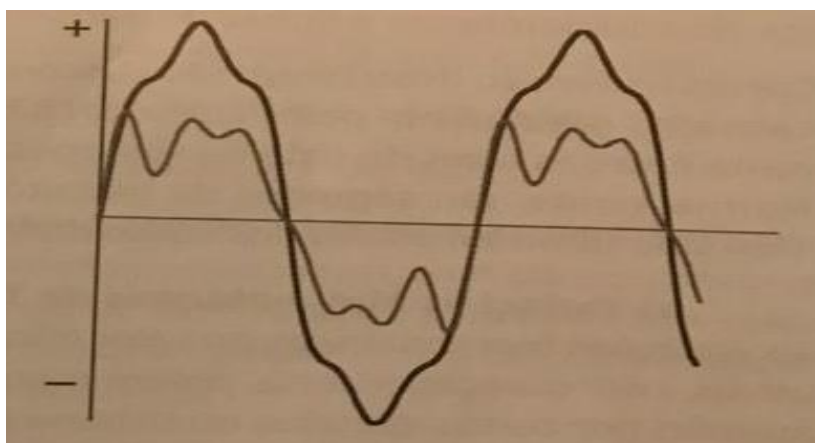


Figura 16 – Forma de onda de tensão e corrente solicitada por uma carga não linear

Fonte: adaptado [17]

Assim, a qualidade de energia pode ser caracterizada por um grupo de parâmetros relacionados com a qualidade da fonte de tensão e corrente.

A qualidade das fontes de tensão e corrente pode ser definida através de quatro parâmetros principais:

1. Frequência;
2. Forma de onda;
3. Amplitude da tensão;
4. Assimetria em sistemas trifásicos.

4.7.2 CAUSAS DE ALGUNS DISTÚRBIOS RELACIONADOS COM A QEE

A tabela a seguir relaciona alguns distúrbios da qualidade de energia com suas causas e consequências, assim como também apresenta algumas medidas de mitigação/eliminação dos distúrbios.

Distúrbios	Causas	Consequências
Harmônicos	Cargas não-lineares	Ocupação do sistema, sobreaquecimento distúrbios em contadores
Flutuação de Tensão	Cargas a arco Equipamentos de solda Partida de motor Cargas intermitentes	Flicker (cintilação)
Desequilíbrio de Tensão	Cargas desequilibradas	Altas correntes, aquecimento de máquinas elétricas girantes
Variação da Frequência	Variação de carga e geração	Afeta a operação de máquinas girantes e contadores

Tabela 7 – Implicações de alguns distúrbios da QEE - fonte: Adaptado [17]

Como os harmônicos tem maior significado, devido à expansão dos equipamentos com base na eletrônica de potência, como já foi dito “cargas não lineares”, logo existe uma preocupação por sua influência no sistema como um todo.

A seguir pode-se notar o nível de harmônicos de alguns equipamentos de uso residencial, comercial e industrial.

Equipamento Avaliado	DHTi (%)
Microcomputador com impressora	86,8
Geladeira	7,2
Microondas	46,1
TV a cabo	92,3
Ar condicionado	123
Aparelho de som com CD	103,5
Carregador de bateria	83,1
Lâmpada fluorescente	35,8
Telefone sem fio	39,5
Vídeo Game	32,1
Portão eletrônico	13,0
Ventilador	4,2

Tabela 8 – Emissão de Harmônicos em alguns equipamentos. Fonte: Adaptado [17]

CAPÍTULO 5

TÉCNICAS, ENSAIOS E RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados alguns critérios e procedimentos os quais foram aplicados nos ensaios dos equipamentos de ar condicionado modelo convencional e inverter, possibilitando a avaliação do desempenho dos respectivos aparelhos, bem como algumas variáveis de qualidade de energia.

5.1 DADOS TÉCNICOS E PROCEDIMENTOS

Em parceria com a empresa POLITÉCNICA Refrigeração, foi possível realizar a medição de um aparelho de ar condicionado no escritório da empresa. Por meio de um analisador de energia (AEMC – 8335) foram obtidas várias grandezas que serão analisadas na sequência.

5.1.1 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO

Para a padronização das medições, foram adotados alguns critérios, quais sejam:

- A área para realização dos ensaios é de no mínimo 9m² e no máximo 15m²;
- A duração de cada ensaio será de 24 horas interruptas;
- Os aparelhos de ar condicionado deverão ter a mesma capacidade de refrigeração (9000 BTU/h), porém com tecnologia distinta.

5.2. INSTRUMENTO DE MEDIÇÃO

Os medidores de qualidade de energia, são peças importantes para a análise da QEE e possivelmente a diminuição de distúrbios causados pela má qualidade de energia. Para realização das medições utilizou-se um analisador de energia.

5.2.1 ANALISADOR DE ENERGIA

Para obter os dados de potência elétrica, fator de potência e distorções harmônicas, corrente e tensão, foi utilizado o Analisador de Qualidade de Energia Elétrica AEMC modelo PowerPad 8335 conforme mostra a figura 17. O equipamento é robusto e compacto, e é destinado a medir e realizar diagnósticos de trabalho e qualidade de energia em sistemas de tensão monofásico, bifásicos e trifásicos, O analisador capta automaticamente efeitos transitórios, entre outras funções.



Figura 17 - Analisador de energia - AEMC 8335

5.3 LG SMART INVERTER

Para monitorar os sinais de corrente das fases foram instalados alicates amperímetros AmpFlex® 193-24-BK de até 6500 A, conforme mostra a figura 18. O aparelho de ar condicionado LG Smart Inverter é composto por duas partes, sendo, uma unidade condensadora e outra unidade evaporadora como pode ser visto nas figuras 19 e 20.



Figura 18 – Montagem do Analisador para obtenção dos dados. Fonte: Autoria Própria



Figura 19 – Unidade Evaporadora do equipamento – Inverter. Fonte: Autoria Própria



Figura 20 – Unidade Condensadora do equipamento – Inverter – Fonte: Autoria Própria

De acordo com o fabricante [18], do equipamento da figura 20, LG Smart Inverter, alguns dados técnicos importantes foram disponibilizados através da tabela 9.

Modelo	LG US-Q092WSG3 Smart Inverter
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	9000
Alimentação (V)	220
Potência (W)	815
Corrente de operação (A)	3.7
Frequência (Hz)	60
Eficiência Energética (CEE) (W/W)	3.24
Consumo (kWh)	17.1
Fases	Monofásico
Gás Refrigerante	R-410 A
Classificação energética	A

Tabela 9 – LG-Smart Inverter-Dados Técnicos – Fonte: Adaptado [18]

5.3.1 CONSUMO DE ENERGIA

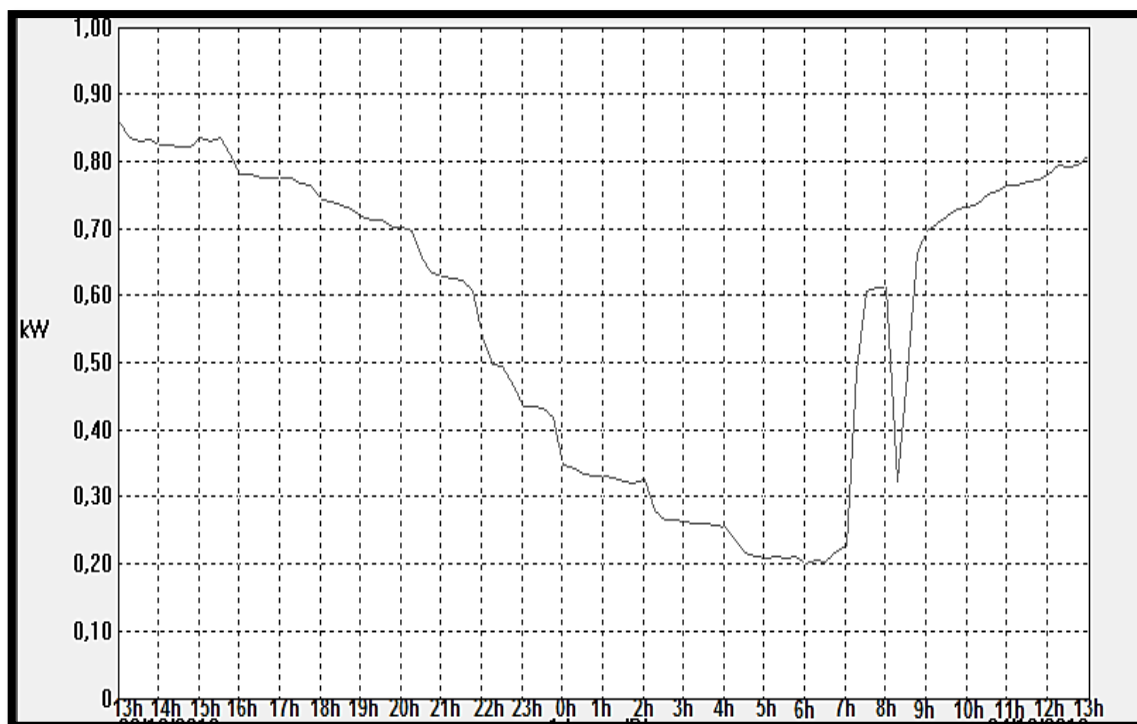


Figura 21 – Potência Ativa [kW] no período de 24 horas – Inverter. Fonte: Autoria Própria

Através do gráfico da figura 21, nota-se que o ar condicionado inverter foi ligado exatamente às 13h e que o pico de potência, isto é, o maior consumo foi de 859,4W logo no instante da partida. Vale ressaltar que o compressor do aparelho inverter não desliga, havendo assim, uma diminuição da rotação do motor quando a temperatura desejada é atingida. No período noturno e na madrugada, cujas temperaturas são mais baixas (das 5:00 h às 6:00 h) foi registrado a menor potência, 203,2 W. A potência média levando em consideração 24h de análise, foi de 571 W. Após o nascer do sol, a temperatura foi aumentando, consequentemente o consumo. As quedas de potência no gráfico, são o retrato da variação da rotação do motor do ar condicionado, de acordo com que a temperatura ambiente desejada é estabilizada, o motor altera a velocidade de giro proporcionando menor consumo de energia e menores ruídos.

5.3.2 CORRENTE DE OPERAÇÃO

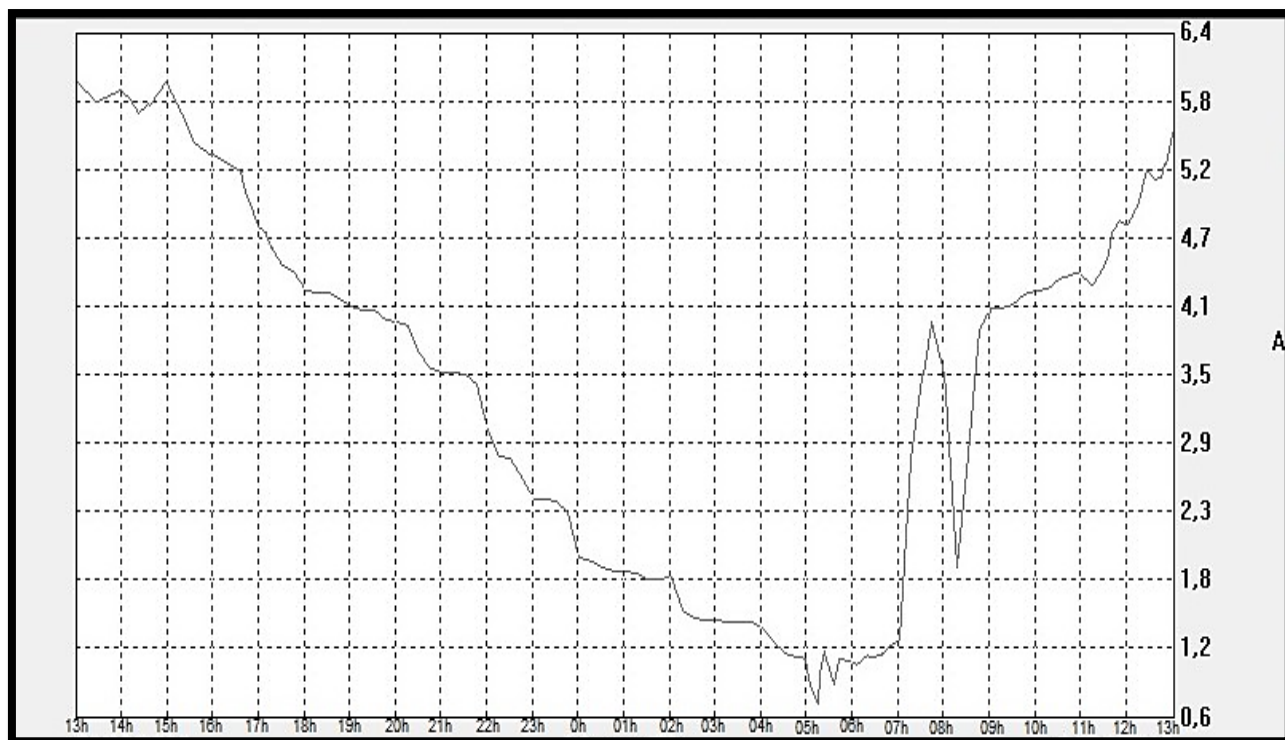


Figura 22 – Corrente de Operação em Ampères no período de 24 horas – Inverter.

Fonte: Autoria Própria

Segundo [6], as partidas dos condicionadores de ar inverter são realizadas por meio de inversores de frequência, e são feitas no modo rampa, isso faz suavizar o pico de corrente no instante inicial da partida. Esse tipo de partida é característico em sistemas acionados por inversores de frequência aplicado a sistemas de refrigeração.

A corrente de operação fornecida pelo fabricante [18] é de 3,7A e como a cidade de Itumbiara é muito quente, às 13 horas da tarde a corrente atingiu o seu maior valor na partida chegando a 6,15A logo, exigiu-se uma maior intensidade para que o compressor pudesse refrigerar o escritório na temperatura desejada. Vale ressaltar que a corrente mínima foi de 0,78A entre 5 e 6 horas da manhã, pouco após às 8h pode ter ocorrido uma estabilidade na temperatura do ambiente fazendo com que o motor do compressor reduzisse o esforço, exigindo-se menor corrente de operabilidade. A média da corrente durante todo o processo foi de 3,4A, valor este bem próximo da nominal fornecido pelo fabricante.

Na figura 23, pode-se observar o comportamento da corrente em modo rampa no instante da partida.

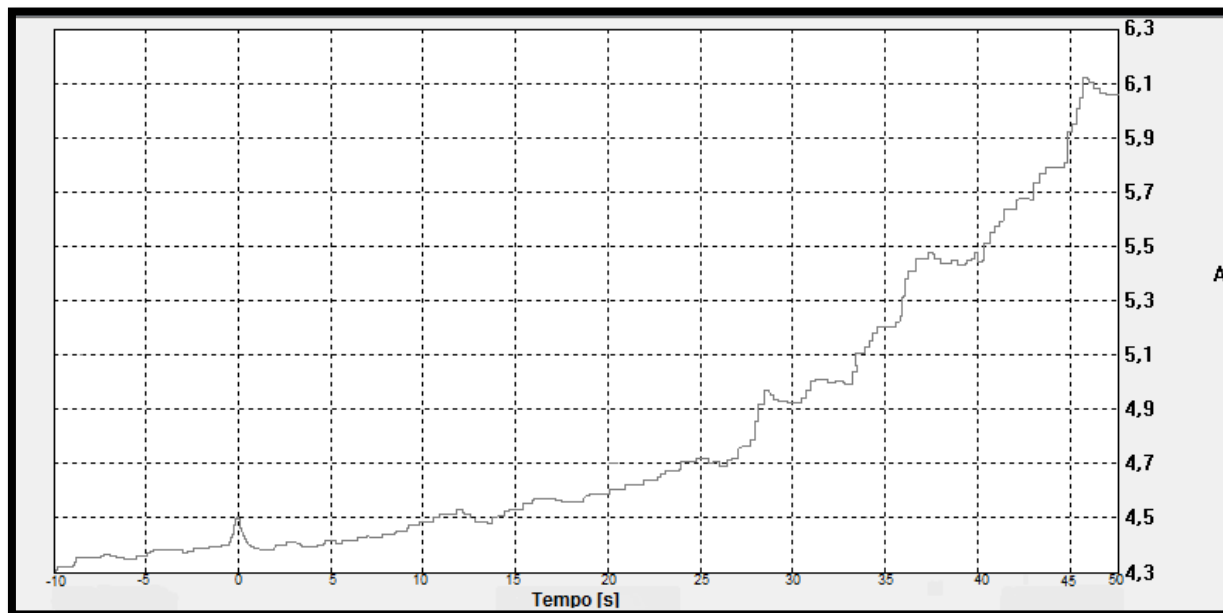


Figura 23 – Partida em rampa. Inverter - Fonte: Autoria Própria

5.3.3 FATOR DE POTÊNCIA

Desde o início da medição, houve pouca variação do fator de potência, isto é, o mesmo obteve média de 0,812 que por sinal não está muito longe do limite. O registro máximo foi de 0,835 das 5h às 6h, e o mínimo foi de 0,80. Sabe-se que os valores registrados estão abaixo do limite mínimo determinado pela ANEEL, (0,92) e como já visto no tópico 4.5 deste trabalho, alguns dos motivos pelos quais o fator de potência encontra-se abaixo do limite estabelecido pelo Prodist, logo neste caso houve um maior consumo de energia reativa por parte do ar condicionado, que já era de se esperar pelo tipo de equipamento, e quanto mais energia reativa for consumida, menor será o tráfego de energia ativa pela rede. Portanto, seguindo as recomendações normativas, há necessidade de correção do FP para melhorias desta instalação.

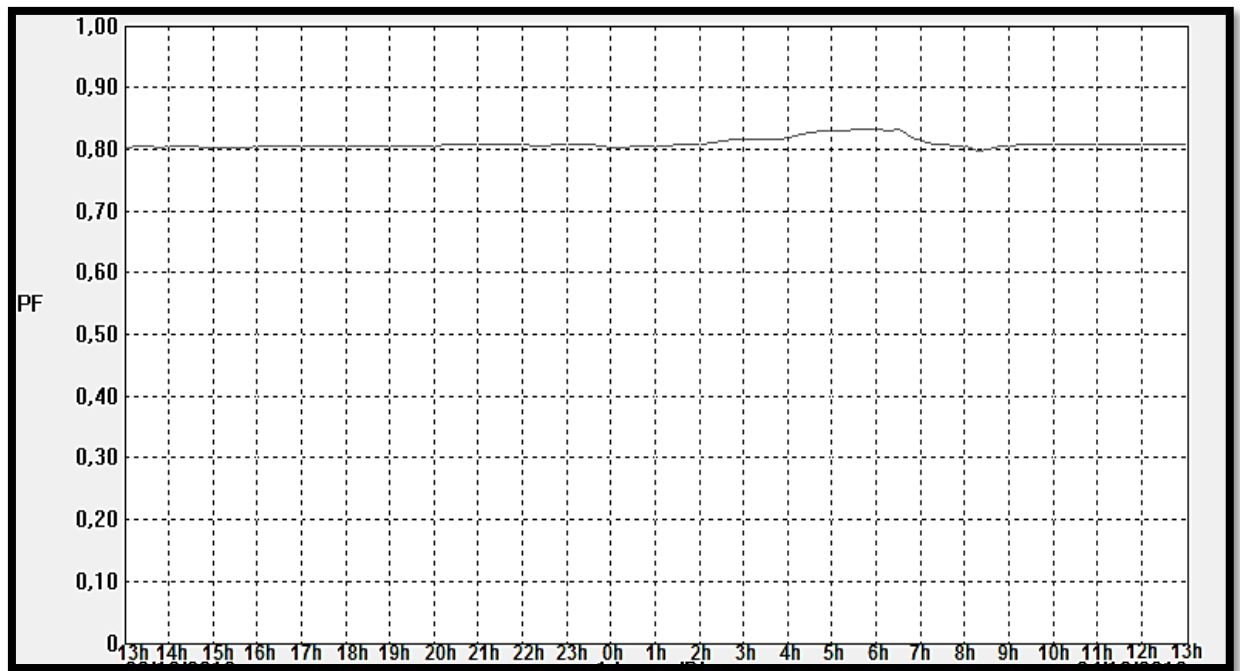


Figura 24 – Fator de Potência no período de 24 horas - Inverter. Fonte: Autoria Própria

5.3.4 DISTORÇÃO HARMÔNICA

Através do gráfico da figura 25, pode-se avaliar o comportamento harmônico de tensão durante todo o processo de medição. De modo geral, o percentual mínimo atingido para as distorções harmônicas totais de tensão foi de 1,5%, já o valor máximo atingido foi de 2,3%.

O valor médio total foi de 1,907% valores estes, os quais mantiveram-se dentro do que determina as leis vigentes com um limite de THDv de até 8% para uma faixa de tensão de até 1KV. Logo, dentro do que é estabelecido segundo as normas nacionais e internacionais (IEEE-519, IEC, ONS) e como visto na tabela 5 deste trabalho, o nível de distorção harmônico total de tensão mostrou-se adequado.

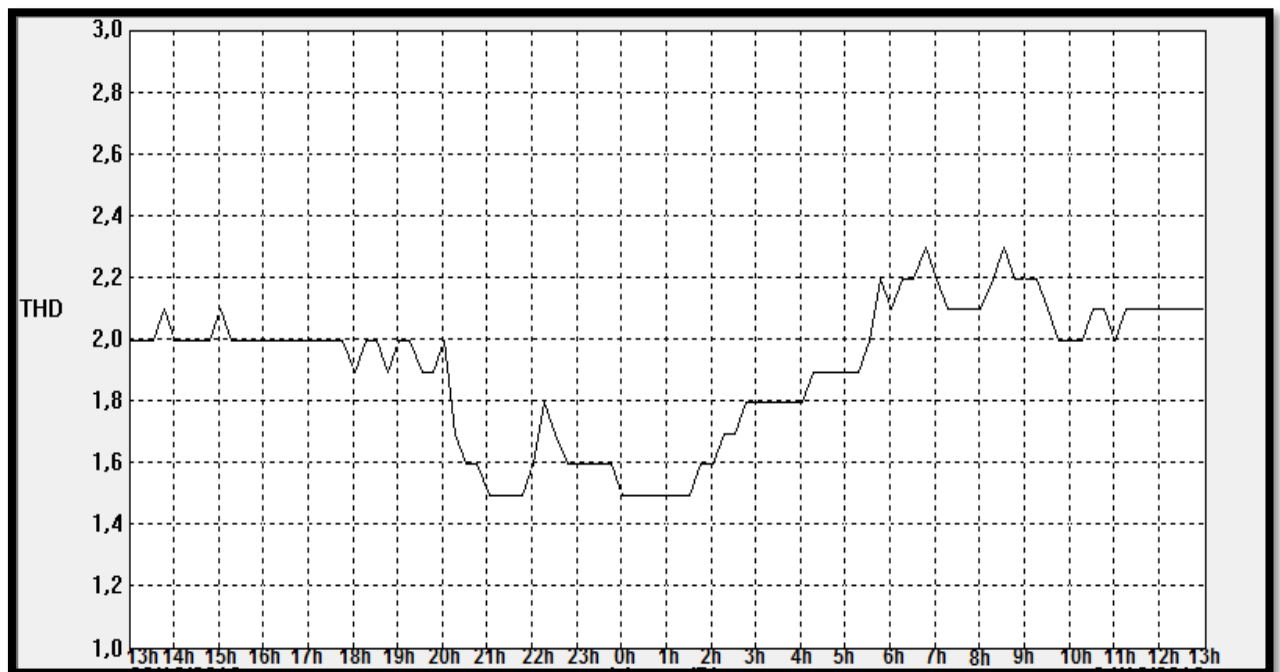


Figura 25 – Distorção Harmônica Total de Tensão no período de 24 horas - Inverter.

Fonte: Autoria Própria

Conforme foi registrado na figura 26, o valor mínimo de THDi durante a análise foi de 53,4%. O valor máximo atingiu 64,7% que é considerado um valor relevante. A média de todo o processo foi de 58,98%. Logo, como visto na tabela 8 o nível de THDi para ar condicionado é de 123%, se tratando de um nível de distorção harmônica total, e sem levar em consideração os harmônicos individuais. Segundo [17] a existência de harmônicos elevados pode ser indício de variações bruscas de tensão ou corrente.

De acordo com [19], um THDi inferior a 10% é considerado normal. Praticamente não há risco de funcionamento atípico nos equipamentos. Já um valor de THDi compreendido entre 10% e 50%, revela uma distorção significativa. Existe o risco de um aumento de temperatura, logo os cabos e fontes precisam ser superdimensionados. Por fim, o nível de THDi acima de 50%, revela uma distorção harmônica importante. O funcionamento anômalo dos equipamentos é provável. Uma análise profunda e um sistema de atenuação serão necessários, como por exemplo a inserção de um filtro ativo de harmônicos.

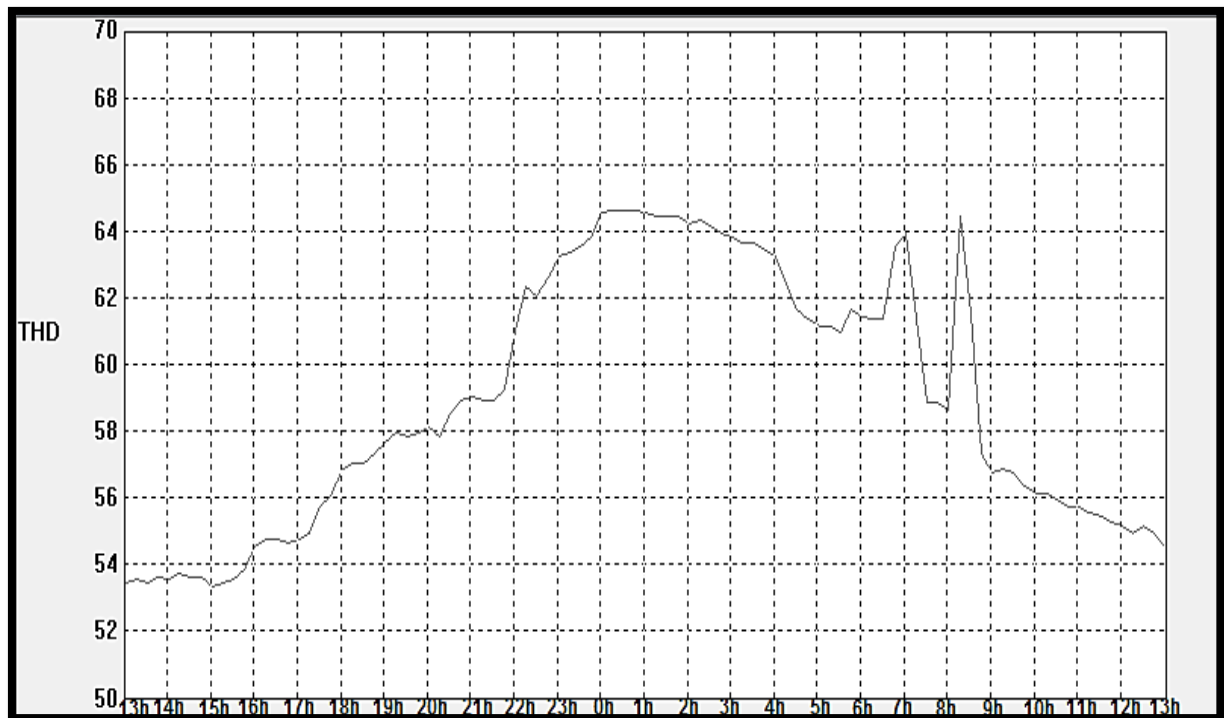


Figura 26 – Distorção Harmônica Total de Corrente no período de 24 hora – Inverter.

Fonte: Autoria Própria

O gráfico da figura 27 mostra a relação entre o FP e o THDi de uma carga qualquer. De acordo com que o percentual de distorção harmônica total de corrente aumenta, a tendência é que o FP obtenha uma redução inversamente proporcional. Logo, conforme o comportamento do condicionador de ar inverter analisado na figura 24 e 26, pode-se afirmar que, tanto o Fator Potência quanto o THDi encontraram-se coerentes com a curva seguinte.

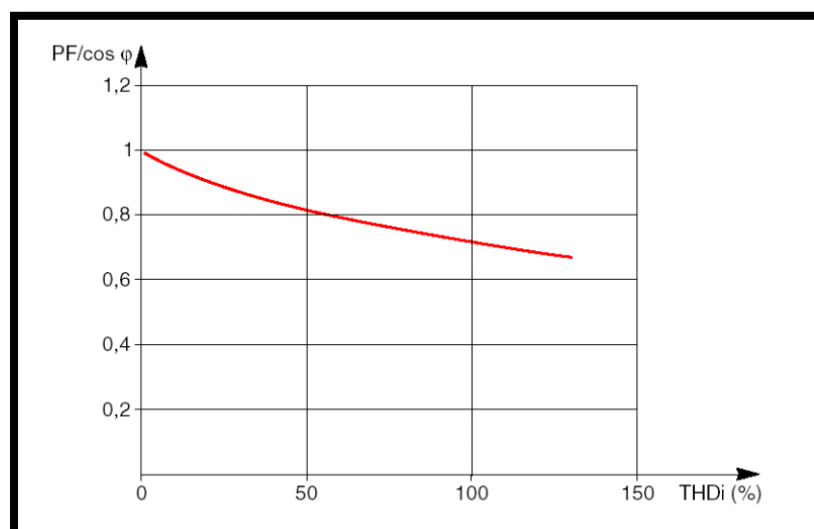


Figura 27 – Relação entre o Fator de Potência e a distorção harmônica total de corrente. Fonte:[19]

De acordo com [20] na tabela 10, apresenta-se a relação entre a distorção harmônica total de corrente e o acréscimo na corrente, além disso as consequências das distorções refletidas ao FP total, tendo como base uma corrente fundamental fixada de 1 A. Com a adição de harmônicos, chega-se a uma certa distorção de corrente, tendo por consequência um acréscimo de corrente no valor eficaz e uma diminuição no fator de potência.

Distorção de corrente – THD _i (%)	Acréscimo de corrente (%)	Fator de potência total
0	0,00	1
10	0,50	0,995
30	4,40	0,958
50	11,80	0,894
70	22,07	0,819
90	34,54	0,743
100	41,42	0,707
120	56,20	0,640
150	80,28	0,555

Tabela 10 - Influência dos harmônicos no acréscimo da corrente e na redução do fator de potência

Fonte: [21]

5.3.5 COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (CEE)

O coeficiente de eficiência energética de condicionadores de ar é a razão entre a capacidade de refrigeração e o consumo de energia, medido em plena carga, ou seja, na capacidade máxima de refrigeração do equipamento

De acordo com a tabela 9, o condicionador de ar inverter se enquadra na classe A, pois com CEE de 3,23. Avaliando a capacidade máxima de refrigeração dada pelo fabricante, temos o seguinte cálculo para a obtenção do CEE:

Sabe-se que 1 BTU = 0,2929 W, logo, como o Inverter é de 9000 BTU's, tem-se 2636,1W.

Sendo assim:

$$\text{(dados do fabricante) } CEE = \frac{prefr}{pot \max} = \frac{2636,1}{815} = 3,234 \quad (5)$$

$$\text{(dados da medição) } CEE = \frac{prefr}{pot \max} = \frac{2636,1}{859,4} \cong 3,1 \quad (6)$$

Portanto, seguindo como referência a potência máxima da medição da equação 6, a classe do aparelho inverter durante a medição foi “B” em eficiência energética, valor próximo do que o classifica o fabricante como pode-se ver na figura 28 a seguir.

Classes	Coeficiente de eficiência energética (W/W)		
A	3,23	<CEE	
B	3,02	<CEE≤	3,23
C	2,81	<CEE≤	3,02
D	2,60	≤CEE≤	2,81

Figura 28 – Classes de Eficiência Energética para condicionadores de ar split. Fonte: [22]

5.3.6 VALOR MENSAL DO CONSUMO

Para fins de análise de valores em reais de um consumo mensal do ar condicionado inverter, tem-se um exemplo hipotético, e com base na média gerada pelo gráfico da figura 21 temos:

Por exemplo, um condicionador de ar funcionando 8h diárias (horário comercial) com média de consumo de 571W.

$$0,571 \text{ Kw} \times 30 \text{ dias} = 17,13 \text{ kW} \text{ mês}$$

$$17,13 \text{ Kw} \times 8 \text{ horas} = 137,04 \text{ kWh}$$

$$137,04 \times 0,87 \text{ centavos (preço do kWh)}$$

$$\text{R\$} = 119,22$$

Portanto, o valor do consumo por este mesmo aparelho de ar condicionado inverter, funcionando 8 horas diárias, considerando os exatos 30 dias, e com o preço do kWh custando 0,87 centavos, resultaria algo em torno de 120 reais na conta de energia.

5.3.7 QUALIDADE DE ENERGIA – TENSÃO

Dugan et alli [23] conceituam a qualidade de energia elétrica como sendo qualquer problema manifestado na tensão, corrente ou frequência que resultará em falha ou operação inadequada em equipamento de consumidores. Definem os principais problemas associados à qualidade de energia elétrica: Transitórios, Variações de tensão de longa e curta duração, desbalanceamento, distorção da forma de onda, flutuação de tensão e variações na frequência da rede.

Diante disso, foram analisados: a tensão da rede durante todo o processo, assim como a frequência, a potência reativa e o indicador de severidade de cintilação de curta duração (Pst).

Segundo a (EMBRACO, Clube da Refrigeração - 2018) é preciso ter atenção às características de cada equipamento, para não ter prejuízo. No caso da tensão, além da preocupação com o nível para o qual o equipamento foi projetado, deve-se ficar atento às variações que ocorrem no fornecimento pelas empresas concessionárias de energia elétrica. Em quase todos os países da América Latina, a tensão varia em horários de pico de consumo. O mesmo pode ocorrer em regiões que estão no final da rede de distribuição. Como regra geral, os refrigeradores aguentam bem as flutuações na rede elétrica. Os compressores são projetados para trabalhar com uma variação de até 10% para mais ou para menos em relação à tensão nominal o que, no caso de um compressor para 220V significa poder trabalhar com voltagens entre 198V e 242V.

Para uma melhor compreensão, o gráfico do comportamento da tensão que alimentou o condicionador de ar inverter, é mostrado na figura 29.

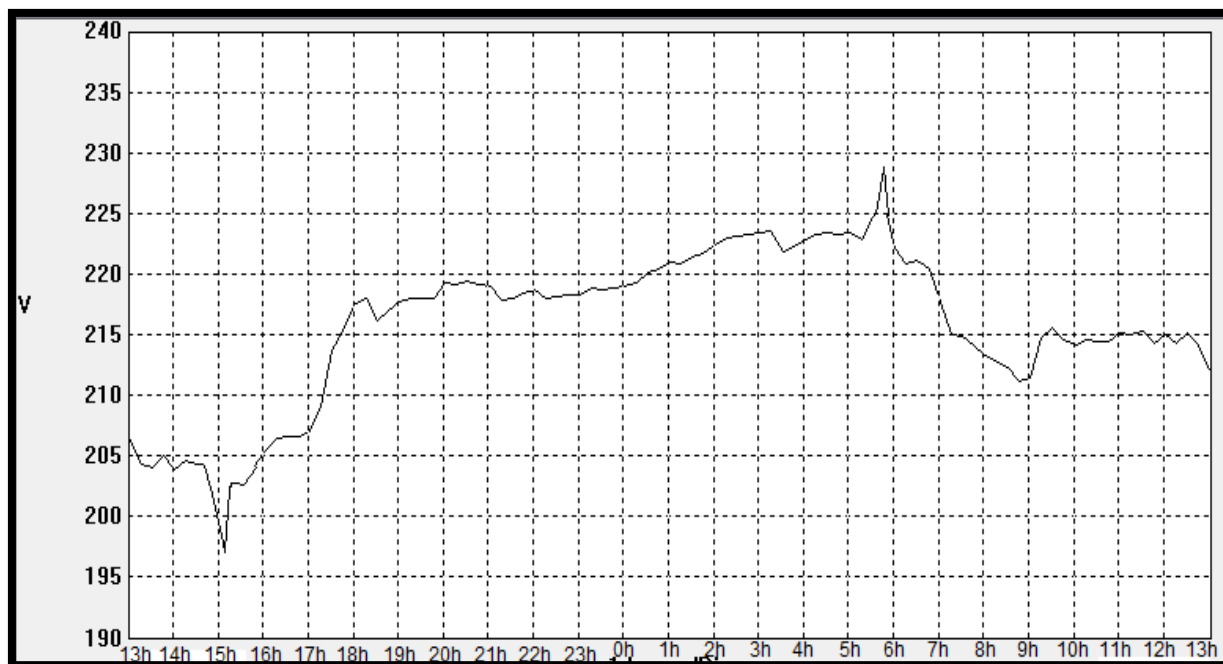


Figura 29 – Tensão no período de 24 horas – Inverter. Fonte: Autoria Própria

Durante às 24h de análise, a qualidade da tensão pouco foi comprometida, conforme visto, a tensão foi mínima em torno das 15 horas, atingindo 196,3V. Sabe-se que esta ficou abaixo do valor estabelecido pela ENEL, a tensão neste caso foi menor do que o limite de $\pm 10\%$ de 220 volts (tensão nominal entre fase e neutro) fornecida pela concessionária em Goiás. Isso acontece devido à variação dos horários de pico de consumo, podendo prejudicar o consumidor quanto ao funcionamento do equipamento. Por fim, a média do processo foi de 216V e a máxima tensão atingida foi de 228,5V próximo às 6 horas da manhã, valores estes dentro do limite ofertado pela concessionária (198V-242V) para uma boa qualidade de energia.

De acordo com a (EMBRACO, Clube da Refrigeração - 2018) tensões acima do limite estabelecido para um determinado aparelho provocam sobrecarga, danificando-o e levando muitas vezes à sua queima. No caso de compressores submetidos a essas condições, o normal é o protetor térmico atuar. Caso contrário, o compressor queimará. Já nos casos em que o equipamento é ligado em uma tensão abaixo de suas especificações, a queima é mais rara, mas podem ocorrer outros tipos de problemas. Ele pode simplesmente não funcionar, forçando demais o motor e levando a danos em peças.

A recomendação da Embraco, nos casos de tensão nominal fornecida abaixo ou acima do limite especificado para o compressor, é utilizar um estabilizador de tensão para evitar esse tipo de problemas.

5.3.8 QUALIDADE DE ENERGIA – FREQUÊNCIA

Segundo o PRODIST, módulo 8 da reguladora ANEEL, o sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem, em condições normais de operação e em regime permanente, operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz.

Na figura 30, pode-se ver o comportamento da frequência ao longo do processo.

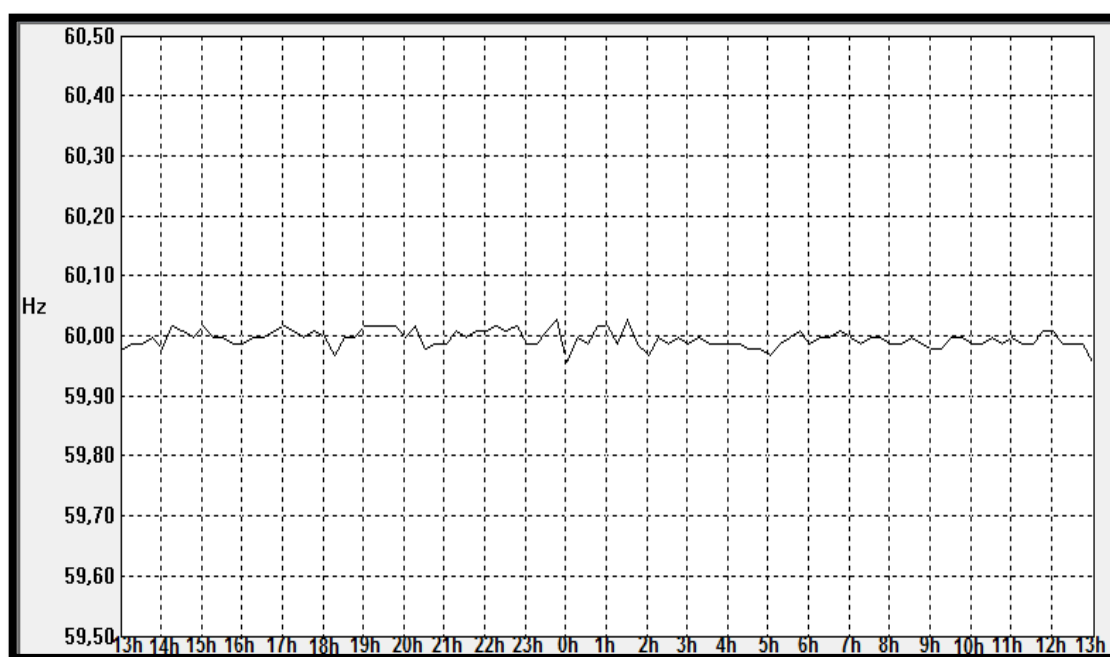


Figura 30 – Frequência no período de 24 horas – Inverter. Fonte: Autoria Própria

A frequência média foi 60 Hz, a mínima ficou em 59,96 Hz e máxima 60,03 Hz. Sendo assim, a frequência manteve-se dentro da normalidade.

5.3.9 QUALIDADE DE ENERGIA – FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

A flutuação de tensão é uma variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz da tensão. Determinação da qualidade da tensão de um barramento do sistema de distribuição quanto à flutuação de tensão tem por objetivo avaliar o incômodo provocado pelo efeito da cintilação luminosa no consumidor, que tenha em sua unidade consumidora pontos de iluminação alimentados em baixa tensão. (ANEEL, PRODIST módulo 8 - 2015)

De acordo com [25], Flicker, “piscar das fontes luminosas” é relacionado a mudanças de iluminação, é o resultado de pequenas flutuações de tensão provocadas pelo funcionamento de cargas variáveis importantes: forno de arco, equipamentos de solda, motores, etc. Provoca uma fadiga física e psíquica aos usuários da iluminação que se encontra conectada perto da carga perturbadora. Fundamentalmente, o flicker é o resultado de flutuações rápidas de pequena amplitude da tensão de alimentação, provocadas pela flutuação na potência que absorvem diversos receptores pela conexão e desconexão de cargas importantes tais como: partida de motores, manobra de baterias de condensadores em degraus, etc. O flicker depende fundamentalmente da frequência, amplitude e duração das flutuações de tensão que o causam. Estas oscilam entre 0,5 Hz e 30 Hz de frequência. A tolerância do flicker é de 1 Pst (nível de severidade de curta duração). [25]

Segundo [15] o $Pst < 1$ é classificado como valor adequado, já o $Pst (1 < Pst < 2)$ este encontra-se em um nível precário. O $Pst > 2$ é considerado crítico.

Os equipamentos elétricos que ocasionam estas flutuações de tensão, durante o seu funcionamento, têm importantes variações cíclicas de intensidade de corrente. Estas correntes, ao circularem pela impedância interna da fonte de alimentação, provocam quedas de tensão (ΔU) importantes provocando o flicker. Algumas soluções para corrigir e suavizar estes fenômenos são: reforçar a rede com a elevação da potência de curto circuito, instalação de compensadores de flicker, compensadores estáticos, capacitores controlados por tiristores.

Assim, pode-se observar na figura 31, o comportamento do ar condicionado inverter segundo este quesito de qualidade de energia.

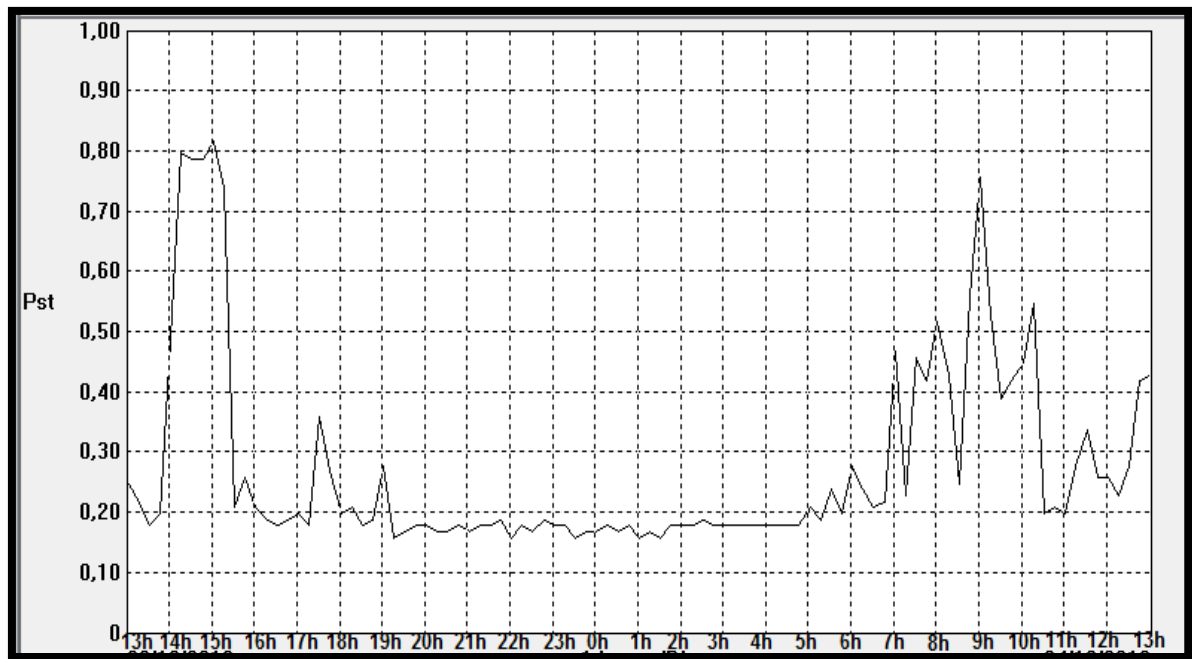


Figura 31 – Indicador de severidade de cintilação de curta duração no período de 24 horas - Inverter.

Fonte: Autoria Própria

O valor médio do Pst de toda análise foi de 0,276, valor este adequado, segundo as exigências da IEC 61000-3-3, 61000-3-5 e IEC 868. O valor máximo atingido foi próximo às 15 horas atingindo um nível de 0,82. O valor mínimo foi de 0,16.

Logo, pode-se afirmar que durante esta análise não houveram variações bruscas de tensão consideráveis que ocasionassem cintilações de curta duração significantes, pois os níveis de Pst mantiveram-se dentro da faixa adequada.

5.3.10 QUALIDADE DE ENERGIA – REATIVOS

A energia reativa medida em KVar, é a componente da energia elétrica que não realiza trabalho, mas é consumida pelos equipamentos com a finalidade de formar os campos eletromagnéticos necessários para o funcionamento. As cargas variáveis, como os motores os quais consomem reativos indutivos, devem ser limitados ao mínimo possível servindo apenas para magnetizar as bobinas dos equipamentos. O excesso de energia reativa exige condutores de maior secção e transformadores de maior capacidade, além de aumentar as perdas por aquecimento e quedas de tensão. [26]

Segundo [26] uma forma de avaliar se a energia reativa está sendo utilizada racionalmente é relacioná-la com a energia ativa, através do FP. Valores altos de fator de potência (próximo de 1) indicam que está sendo utilizada pouca energia reativa em relação à ativa, revelando seu uso racional de energia elétrica. Em oposição, valores baixos de FP (abaixo de 0,92) indicam que há excesso de energia reativa.

A seguir pode-se ver o comportamento da energia reativa de todo o período analisado do condicionador de ar inverter, pela figura 32.

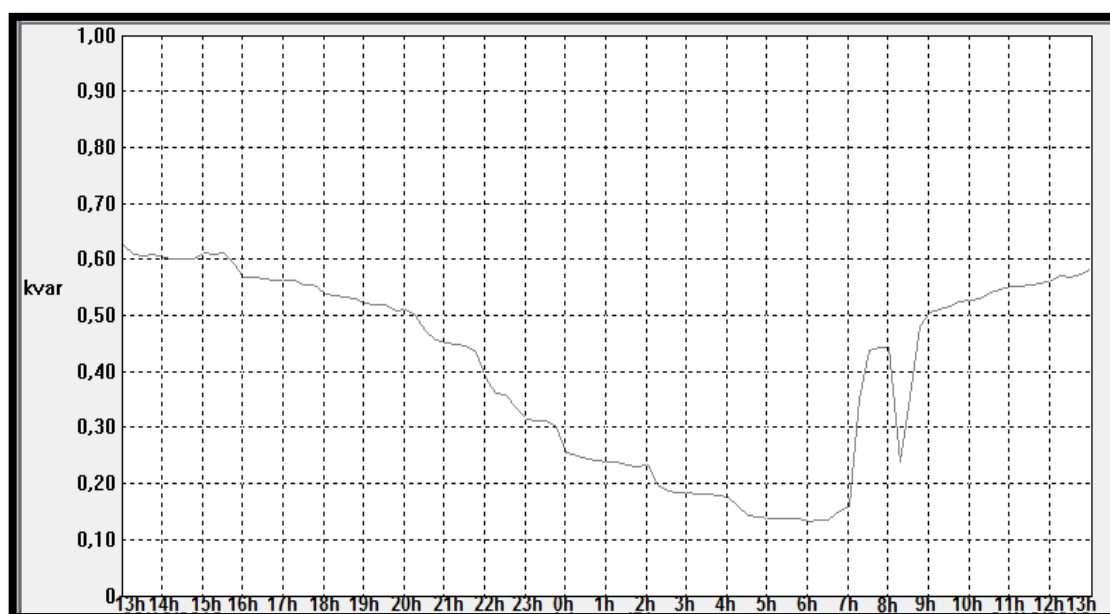


Figura 32 – Potência Reativa no período de 24 horas – Inverter. Fonte: Autoria Própria

No início da medição, às 13 horas, o consumo de energia reativa atingiu o máximo chegando em 629,1 VAR. Com o passar das horas, a demanda de energia reativa foi cada vez menor até atingir um mínimo de 133,7 VAR próximo às 6 horas. Conforme já visto na figura 24, no intervalo próximo às 2h e 6h30min, o fator de potência atingiu os mais altos valores de toda a análise (mais próximos de 0.92), sendo que, nesse mesmo intervalo obteve-se os menores valores de potência reativa. A média de todo o processo foi de 412,5 VAR.

De acordo com [26] fica estabelecido que no intervalo entre as 00h30 e 06h30, serão registrados os valores de fator de potência capacitivo, sendo que, no período complementar, o registro será do fator de potência indutivo, ambos inferiores ao estabelecido pelas normas vigentes.

Como já mencionado o FP médio foi de 0,812, logo de acordo com ANEEL, módulo 8 do PRODIST e do tópico 4.5 deste trabalho, é válido ressaltar que, se o fator de potência estiver abaixo do mínimo, a conta de energia elétrica sofrerá um ajuste em reais, quanto maior for o consumo de energia reativa, para o mesmo consumo de energia ativa, mais baixo será o fator de potência.

5.4 SPLIT ELECTROLUX

Em parceria com a empresa solar KW Energia, localizada em Itumbiara – GO, foi possível realizar outra análise por meio de medição do ar condicionado modelo split convencional situado no escritório da mesma.

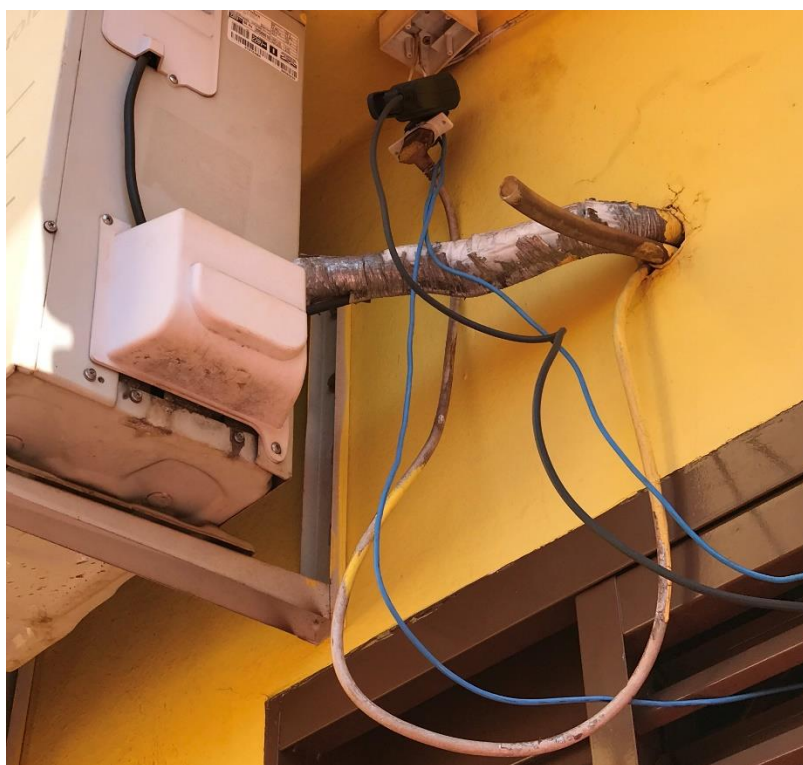


Figura 33 – Montagem do Analisador para obtenção dos dados – Ar Condicionado Convencional.

Fonte: Autoria Própria



Figura 34 – Unidade Evaporadora do equipamento – Convencional. Fonte: Autoria Própria



Figura 35 – Unidade Condensadora do equipamento – Convencional – Fonte: Autoria Própria

De acordo com [23] fabricante do modelo analisado, tem-se alguns dados importantes na tabela a seguir:

Modelo	ELECTROLUX Split PE09F
Capacidade de refrigeração (BTU/h)	9000
Alimentação (V)	220
Potência (W)	822
Corrente de operação (A)	3.7
Frequência (Hz)	60
Consumo (kwh) mês	19,7
Eficiência Energética (CEE) (W/W)	3.206
Gás Refrigerante	R-22

Tabela 11 – Electrolux Split - Características Técnicas. Fonte: Adaptado [24]

5.4.1 CONSUMO DE ENERGIA

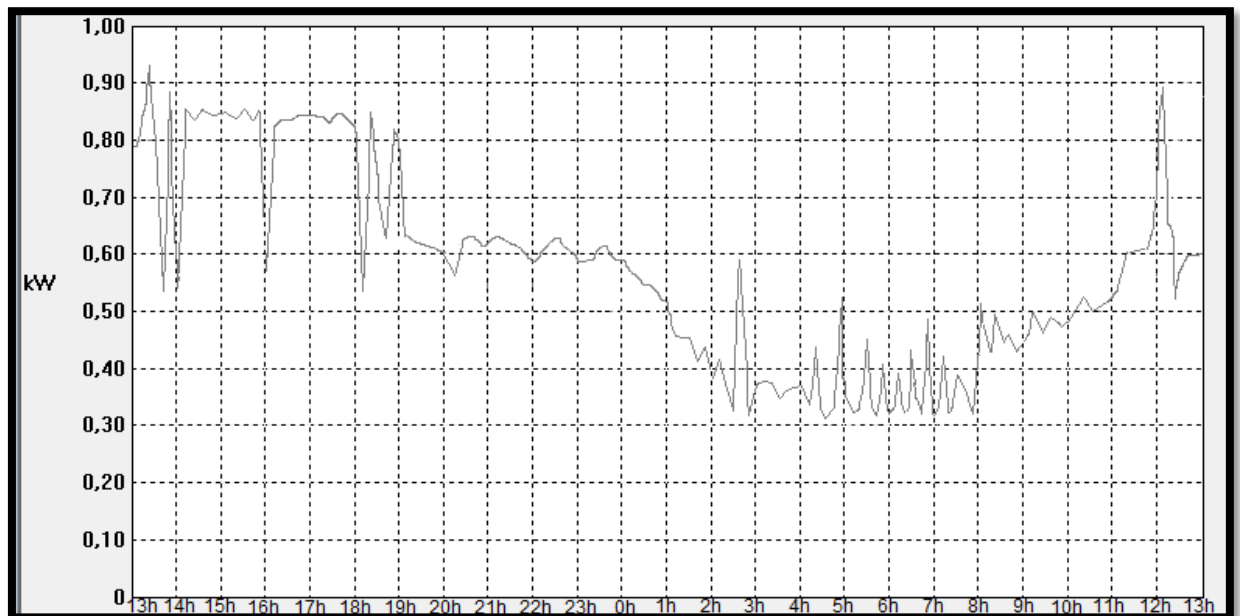


Figura 36 – Potência Ativa [KW] no período de 24 horas – Electrolux Convencional

Fonte: Autoria Própria

Pode-se enxergar o comportamento da potência ativa e logo percebe-se a principal característica de um ar condicionado modelo convencional, picos de potência na partida do compressor.

A partir do início da medição, o compressor é ligado e logo atinge-se um pico de potência de 925,3W que por sinal foi o máximo desta análise, próximo às 14h. Toda vez que a temperatura desejada do ambiente é atingida o compressor é desligado, e após um curto período é religado novamente. Esse processo se repetiu durante toda a tarde, cujas temperaturas externas são mais elevadas, chegando próximo às 19h. Depois deste horário, percebe-se que o consumo diminui e permanece praticamente constante em torno da média que foi de 668,1W. No período da madrugada foi atingido o menor consumo que foi 314,2W, nota-se que somente após às 8h o consumo se eleva com mais expressão. Vale ressaltar que, o ruído da partida do motor gera um pequeno desconforto sonoro para o consumidor.

5.4.2 CORRENTE DE OPERAÇÃO

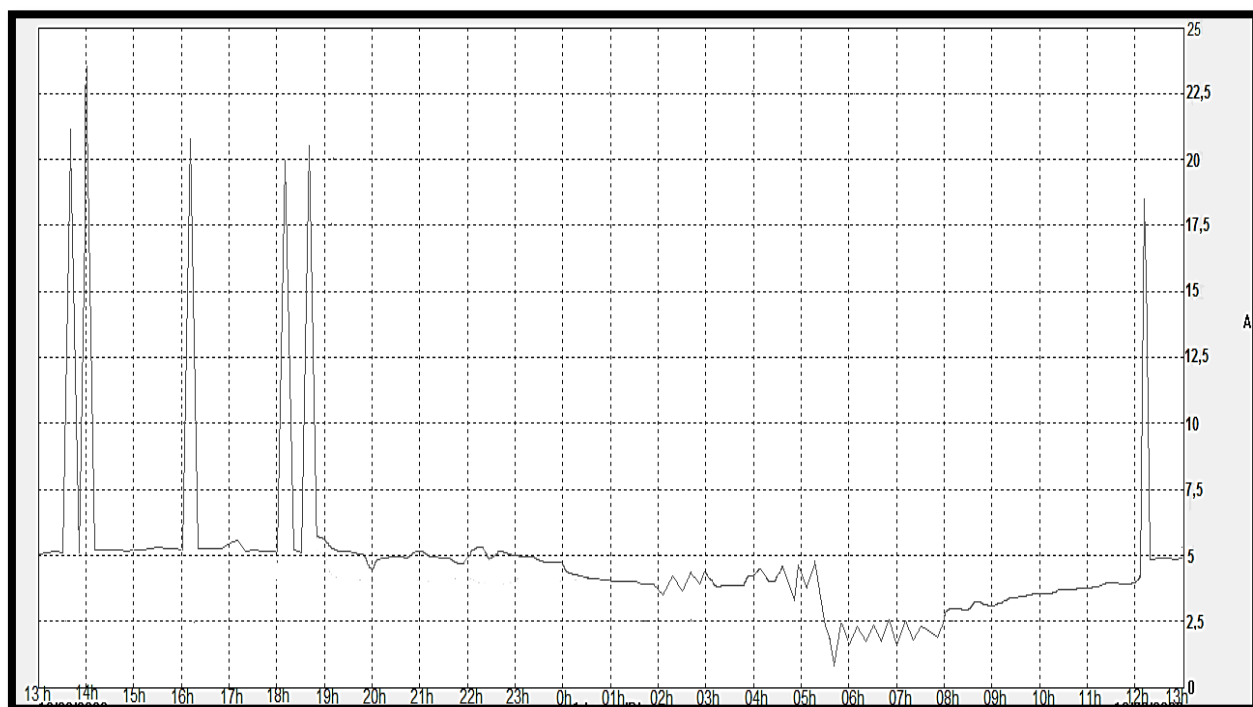


Figura 37 – Corrente de Operação no período de 24 horas – Electrolux Convencional

Fonte: Autoria Própria

Durante a partida, o motor apresenta um pico de corrente 23,9A, valor este correspondente a algo em torno de 6 a 10 vezes a corrente nominal do equipamento. Por se tratar de uma partida direta, esse valor de corrente era esperado.

Mesmo sendo uma corrente alta, a corrente de partida não causa nenhum tipo de prejuízo ou fadiga para o equipamento e/ou cabos de alimentação, uma vez que o pico ocorre em período de tempo muito curto, da ordem de milissegundos.

A média da corrente durante toda a medição foi de 3,37 A, já a corrente mínima foi de 1,18 A

5.4.3 FATOR DE POTÊNCIA

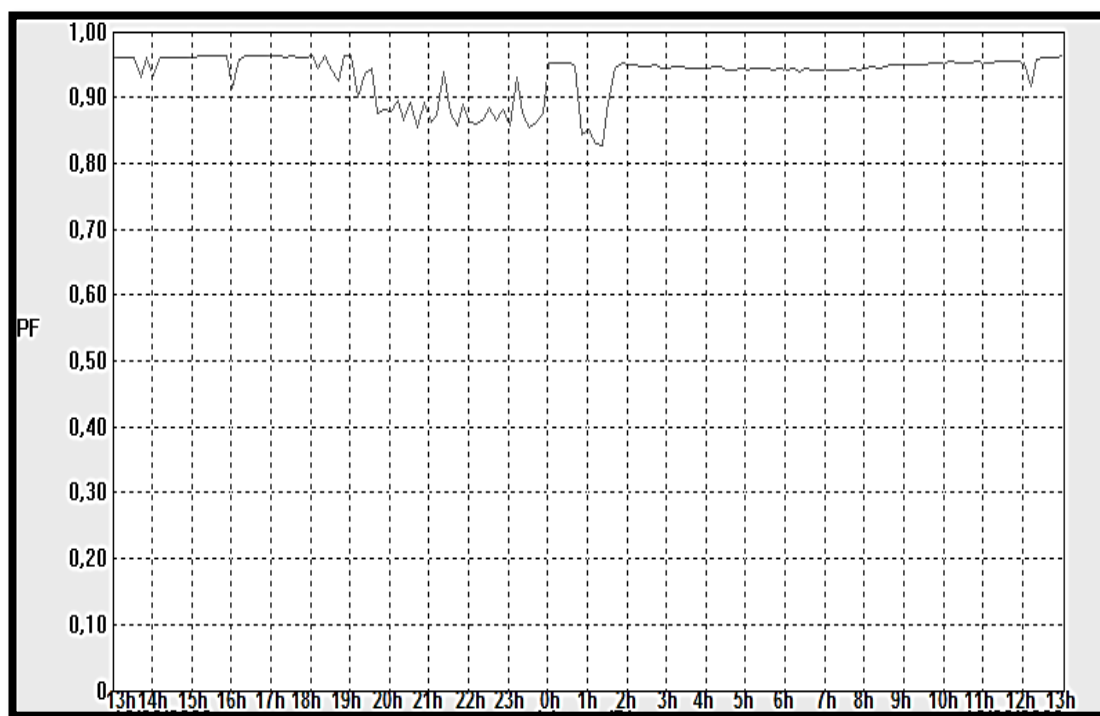


Figura 38 – Fator de Potência no período de 24 horas– Electrolux Convencional

Fonte: Autoria Própria

Durante todo o processo de medição em que o ar condicionado permaneceu ligado, o fator de potência se manteve em média de 0,936, demonstrando conformidade com a legislação vigente. O valor máximo do FP foi de 0,966 e o mínimo chegou a atingir 0,829. Embora em alguns períodos da medição o valor do FP ficou abaixo de 0,92, isso acaba sendo pouco relevante, devido ao baixo consumo durante esse período.

5.4.4 DISTORÇÃO HARMÔNICA

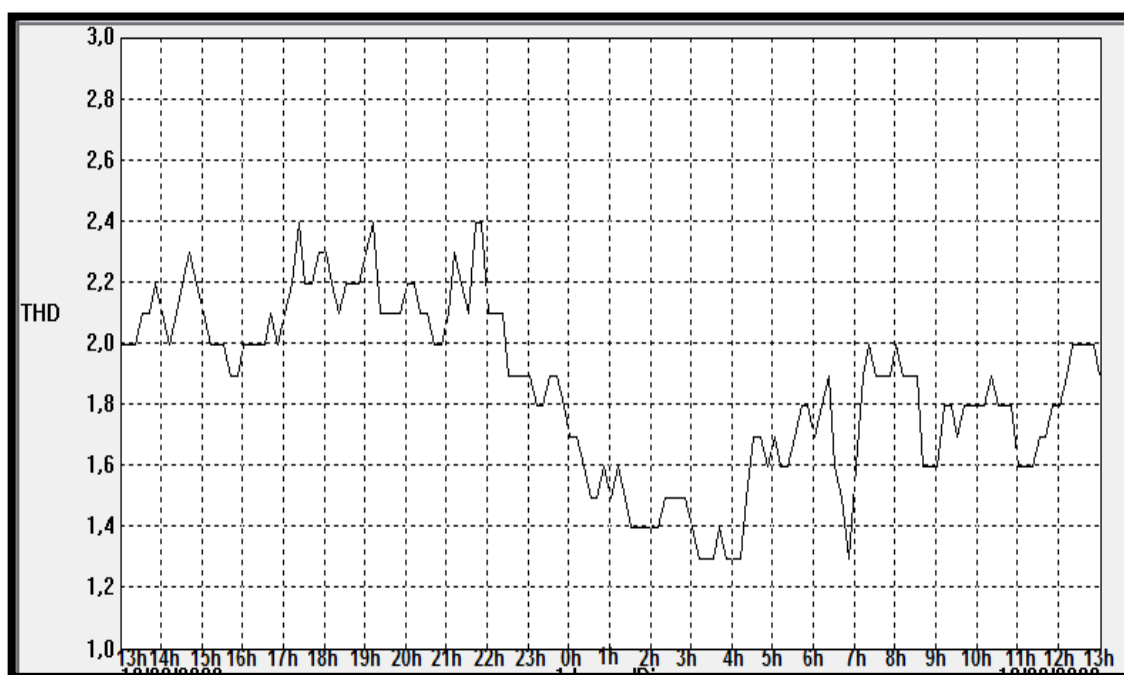


Figura 39 – Distorção Harmônica Total de Tensão no período de 24 horas– Electrolux Convencional

Fonte: Autoria Própria

A distorção harmônica total de tensão (THDv) do ar condicionado convencional mudou frequentemente ao longo da medição, porém nenhuma foi significativa, o THDv máximo atingiu 2,4% e o THDv mínimo foi de 1,3%. A média do THDv de toda operação foi de 1,86%, logo, conforme mostrado no tópico 4.4 e tabela 5, esses valores estão em conformidade com as normas.

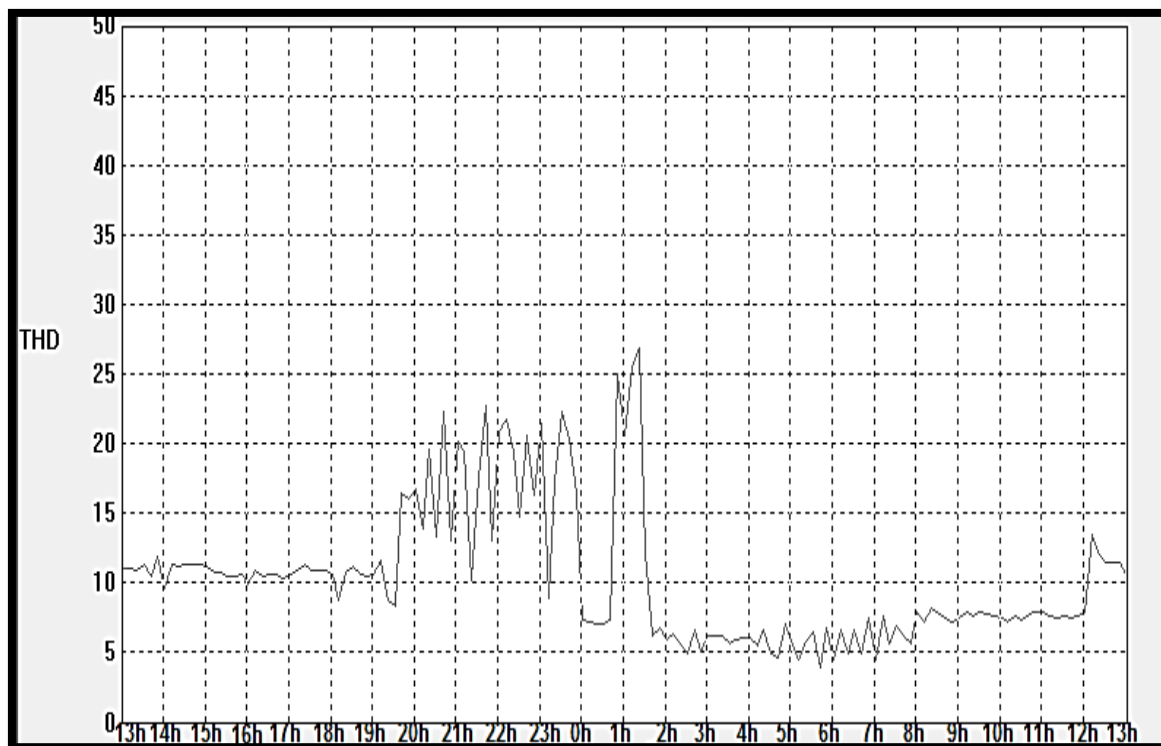


Figura 40 – Distorção Harmônica Total de Corrente no período de 24 horas – Electrolux Convencional
Fonte: Autoria Própria

A figura 40 mostra o percentual mínimo atingido de THDi durante a análise, valor este que foi de 4,1%. O valor máximo atingiu 27%. A média de todo o processo foi de 10,57%. Contudo, o THDi do ar condicionado convencional analisado encontra-se dentro da normalidade para esta classe de equipamento de uso doméstico não portáteis. Conforme já visto na tabela 8, pode-se ter uma base do nível de distorção harmônico total de alguns equipamentos e sem levar em consideração os harmônicos individuais que são limitados pela IEC conforme os tópicos 4.3 e 4.4.

Vale ressaltar que segundo [15] a distorção de corrente tem como principal função limitar a distorção de tensão, uma vez que esta depende da primeira, portanto, o documento não apresenta limitação para distorção de corrente. (PRODIST, módulo 8)

5.4.5 COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA (CEE)

De acordo com o fabricante, a tabela 11 do condicionador de ar convencional electrolux se enquadra na classe B. Segundo o equacionamento (6) abaixo, o coeficiente de eficiência

energética resulta em 2,85. Avaliando a capacidade máxima de refrigeração dada pelo fabricante, temos o seguinte cálculo para a obtenção do CEE:

Sabe-se que 1 BTU = 0,2929 W e que a potência máxima medida durante o ensaio foi de 925,3 W, logo como o modelo convencional também é de 9000 BTU's, tem-se 2636,1W.

Sendo assim:

$$\text{(dados do fabricante)} \quad CEE = \frac{prefr}{pot \text{ max}} = \frac{2636,1}{822} = 3,206 \quad (7)$$

$$\text{(dados da medição)} \quad CEE = \frac{prefr}{pot \text{ max}} = \frac{2636,1}{925,3} = 2,85 \quad (8)$$

Portanto, seguindo como referência a potência máxima da medição na equação 8, a classe do aparelho convencional durante a medição foi “C” em eficiência energética, isso pode ser comprovado novamente na figura 28.

5.4.6 VALOR MENSAL DO CONSUMO

Para fins de análise de valores em reais de um consumo mensal do ar condicionado convencional, tem-se um exemplo hipotético, e com base na média gerada pelo gráfico da figura 36 temos:

Por exemplo, um condicionador de ar funcionando 8h diárias (horário comercial) com média de consumo de 668,1W.

$$0,668 \text{ Kw} \times 30 \text{ dias} = 20,04 \text{ kW} \text{ mês}$$

$$20,04 \text{ Kw} \times 8 \text{ horas} = 160,32 \text{ kWh}$$

$$160,32 \times 0,87 \text{ centavos (preço do kWh)}$$

$$\mathbf{R\$=139,47}$$

Portanto, o valor do consumo por este aparelho de ar condicionado convencional, funcionando 8 horas diárias, considerando os exatos 30 dias, e com o preço do kWh custando 0,87 centavos, resultaria algo em torno de 140 reais na conta de energia.

5.4.7 QUALIDADE DE ENERGIA – TENSÃO

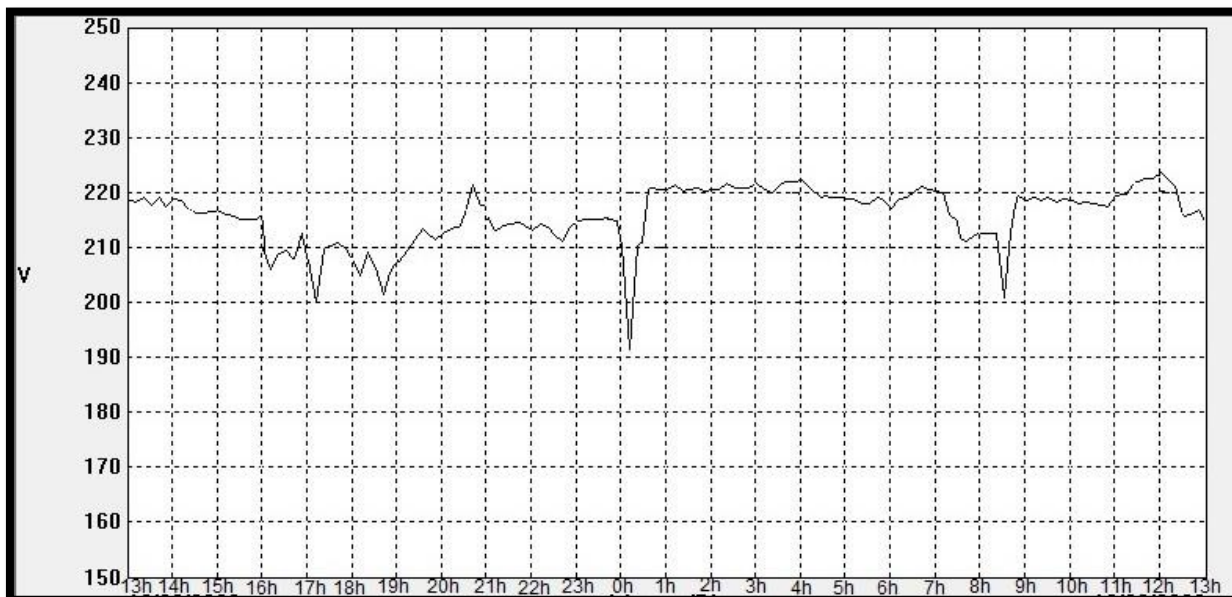


Figura 41 – Tensão no período de 24 horas – Electrolux Convencional. Fonte: Autoria Própria

Durante toda a medição, a qualidade da tensão quase não houve variações bruscas, a tensão foi mínima logo após a 0:00 hora atingindo 191,8 V. Sabe-se que esta ficou um pouco abaixo da faixa estabelecida pela ENEL. Porém a média da análise foi de 216,6 V e a máxima tensão atingida foi de 224,2 V próximo às 12 horas, valores estes dentro do limite da concessionária (198 V – 242 V) para uma boa qualidade de energia.

5.4.8 QUALIDADE DE ENERGIA – FREQUÊNCIA

A frequência do ar condicionado convencional manteve-se praticamente estável, e correspondeu aos limites determinados pelo PRODIST. A frequência média de todo o ensaio foi de 60 Hz, a frequência mínima foi de 59,94 Hz e a frequência máxima atingida foi de 60,03 Hz conforme mostra a figura 42.

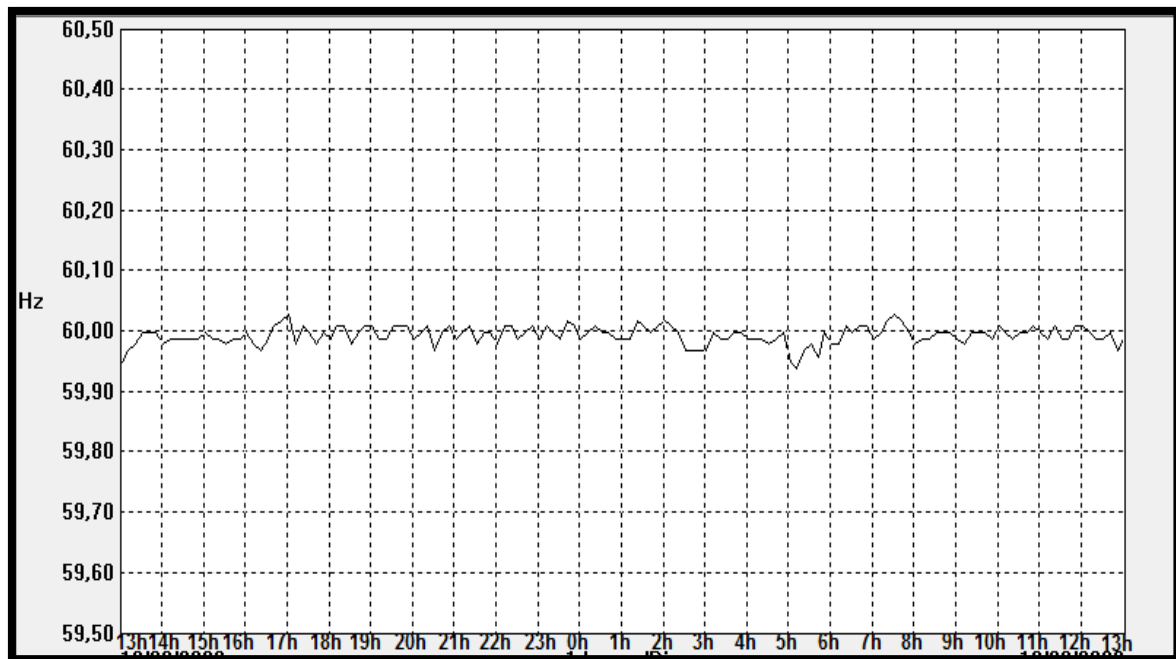


Figura 42– Frequência no período de 24 horas – Electrolux Convencional. Fonte: Autoria Própria

5.4.9 QUALIDADE DE ENERGIA – FLUTUAÇÃO DE TENSÃO

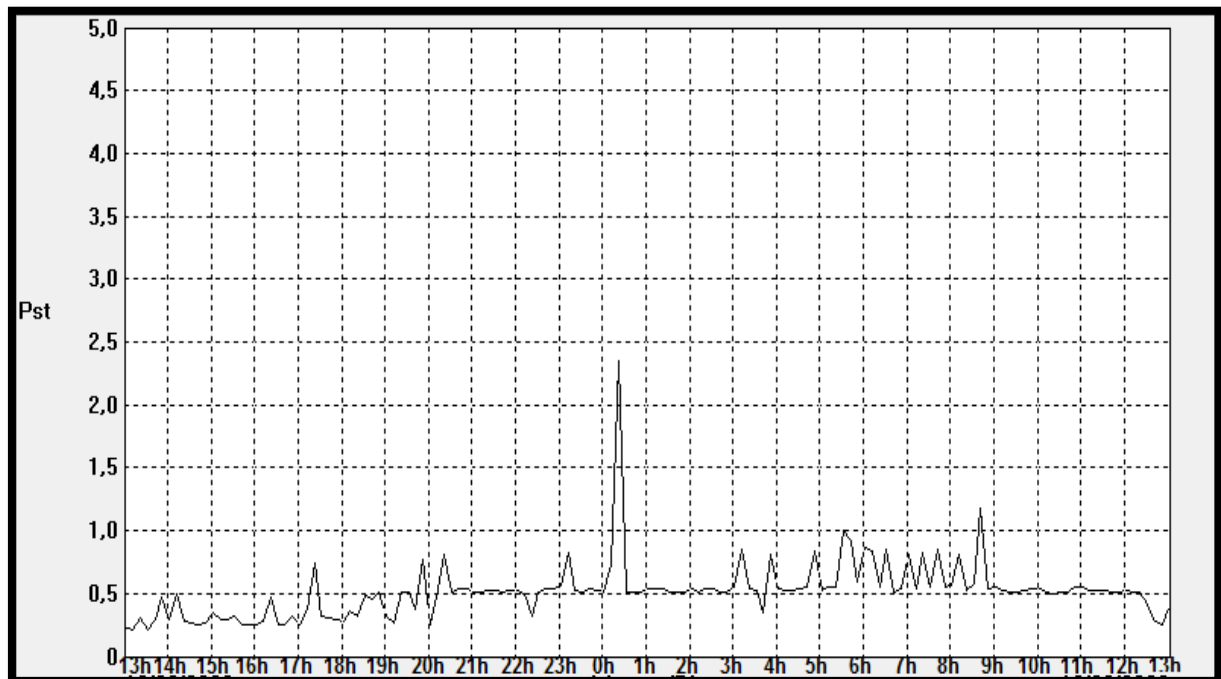


Figura 43 – Indicador de severidade de cintilação de curta duração (Pst) no período de 24 horas

Electrolux Convencional - Fonte: Autoria Própria

Para o ar condicionado convencional, o valor médio do Pst de toda análise foi de 0,53 valor este adequado, segundo as exigências da IEC 61000-3-3, 61000-3-5 e IEC 868. Porém, o valor máximo atingido foi de 2,37, já o valor mínimo foi de 0,22.

Durante esta análise houveram variações bruscas de tensão em dois momentos, pouco depois de 0h e próximo às 9h, e inclusive na figura 41 pode-se observar que a tensão variou bruscamente exatamente nestes mesmos horários mencionados. Conforme visto no tópico 5.3.9 em que o [15] determina que o $(Pst > 2)$, $(1 < Pst < 2)$ é considerado crítico, precário respectivamente. Sendo assim, na maioria da análise o Pst encontrou-se dentro da faixa adequada. $(Pst < 1)$.

5.4.10 QUALIDADE DE ENERGIA – REATIVOS

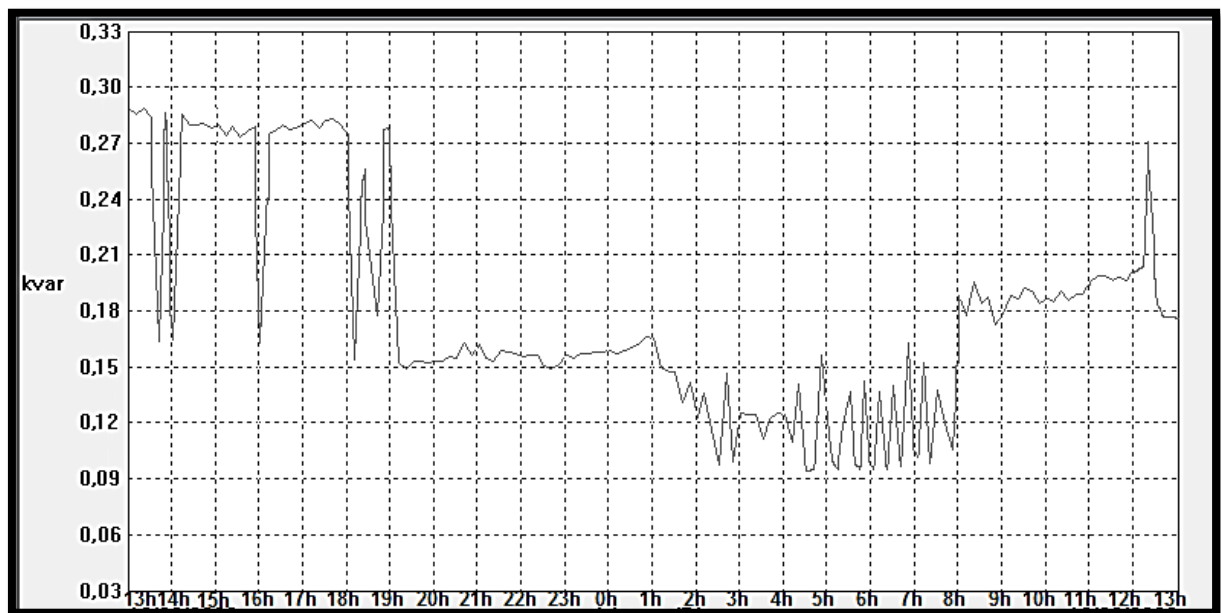


Figura 44 – Potência Reativa no período de 24 horas – Electrolux Convencional. Fonte: Autoria Própria

No início da medição, às 13 horas, o consumo de energia reativa atingiu o máximo chegando em 285,75 Var. A partir das 19 horas a demanda de energia reativa foi cada vez menor até atingir um mínimo de 97,91 VAr próximo às 6 horas. A média da potência reativa de todo o processo foi de 186,1VAr.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS

Diante dos resultados obtidos nos ensaios em cada equipamento, pode-se fazer algumas considerações e comparações, afim de avaliar o equipamento mais eficiente.

6.1 CONSUMO

A tabela 12 mostra a comparação dos valores de potência nominal do equipamento de acordo com o fabricante, com os valores médios obtidos durante o ensaio.

Modelo Ar condicionado	Potência Nominal (Fabricante)	Potência Média (Medição)	$\frac{P_{med.}}{P_{nom.}}$
LG Smart Inverter	815 W	571 W	0,7
Electrolux Split Convencional	822 W	668,1W	0,81

Tabela 12 - Comparação Potência Medida. Fonte: Autoria Própria

Desse modo, pode-se comparar o consumo dos equipamentos através da razão entre a potência média medida durante a análise e a potência dada pelo fabricante.

Como esperado, o condicionador de ar LG Smart Inverter obteve os melhores resultados, pois devido à tecnologia inverter, segundo visto no gráfico da figura 21, fez com que o equipamento consumisse 30% menos da potência nominal durante boa parte da análise.

Entretanto, o condicionador de ar Split Electrolux obteve resultado um pouco acima por se tratar de um modelo convencional, porém, não houve diferenças de grandes proporções.

6.2 CORRENTE NOMINAL E CORRENTE DE PARTIDA

Modelo Ar condicionado	Corrente Nominal (Fabricante)	Corrente de Partida (Medição)
LG Smart Inverter	3,7 A	6,15 A
Electrolux Split Convencional	3,7 A	23,9 A

Tabela 13 - Comparação Corrente Nominal e Corrente de Partida. Fonte: Autoria Própria

Os condicionadores de ar modelo convencionais são ligados através de partida direta, o que resulta em um pico de corrente na partida podendo chegar até 10 vezes a corrente nominal, enquanto o modelo inverter, a partida é feita em rampa, pois quando o compressor é acionado, tem-se então uma partida suave e sem picos de corrente.

Sendo assim, através das figuras 22 e 37 é possível perceber a diferença dos respectivos comportamentos das correntes para cada modelo analisado, onde a tecnologia inverter apresenta uma certa vantagem em relação ao modelo convencional.

6.3 FATOR DE POTÊNCIA

Modelo Ar condicionado	FP Mínimo	FP Máximo	FP Médio
LG Smart Inverter	0,800	0,835	0,812
Electrolux Split Convencional	0,829	0,966	0,936

Tabela 14 - Comparação Fator de Potência. Fonte: Autoria Própria

O modelo de ar condicionado convencional apresentou melhor fator de potência, pois esteve mais próximos da atual legislação brasileira (resolução 404 da ANEEL, capítulo VIII). Entretanto, o modelo inverter ficou abaixo do limite de 0,92, havendo então necessidade de

correção. A solução mais prática é a inserção de uma unidade capacitiva monofásica instalado diretamente na carga (correção individual) que é o mais eficaz, porém de acordo com o tipo de instalação torna-se economicamente inviável.

6.4 DISTORÇÃO HARMÔNICA

Modelo Ar condicionado	THDv médio	THDi Médio
LG Smart Inverter	1,9 %	58,9 %
Electrolux Split Convencional	1,86%	10,57%

Tabela 15 - Comparação Distorção Harmônica Total. Fonte: Autoria Própria

No quesito de distorção harmônica total de tensão, os dois condicionadores de ar mantiveram-se dentro do que é exigido pela ANEEL, isto é, nível menor que 8%.

Os resultados de distorção harmônica total de corrente apresentaram grande diferença de uma tecnologia para outra, porém são os mesmos resultados em instalações habituais e como visto na tabela 8, pode-se ressaltar o nível percentual de THDi para ar condicionado em geral é um valor bem acima dos obtidos nestes ensaios. Assim, o valor do THDi do modelo inverter foi maior do que o convencional em quase 5 vezes. Nesse mesmo conceito, filtros de componentes harmônicas podem ser colocados para reduzir e limitar os valores da distorção harmônica, o que evitaria as componentes circulando pelo barramento elétrico prejudicando outros equipamentos sensíveis ligados à mesma linha de alimentação.

Embora não haja nenhuma norma nacional que restrinja o nível de corrente individual por equipamento condicionador de ar, pode-se usar como referência a norma internacional IEC 61000-3-2, assim, não foi levado em consideração as distorções individuais harmônica de corrente. Portanto, os resultados medidos foram baseados em distorções harmônicas totais, tanto para a corrente quanto para a tensão.

6.5 COEFICIENTE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

Em relação ao CEE, foram obtidos a potência máxima durante os ensaios de cada equipamento e foi assumido a capacidade de refrigeração fornecida pelo fabricante.

Modelo Ar condicionado	CEE (fabricante)	CEE (medição)
LG Smart Inverter	3,23	3,07
Electrolux Split Convencional	3,20	2,85

Tabela 16 - Comparação Coeficiente de Eficiência Energética. Fonte: Autoria Própria

O aparelho de ar condicionado com a tecnologia inverter obteve melhor coeficiente de eficiência energética quando comparado com o de modelo convencional, cujo o valor ficou mais próximo do disponibilizado pelo fabricante.

6.6 CUSTO DE ENERGIA

Modelo Ar condicionado	KW mês	Custo em reais
LG Smart Inverter	137,04 KW	R\$ 119,22
Electrolux Split Convencional	160,32 KW	R\$ 139,47

Tabela 17 - Comparação Custo. Fonte: Autoria Própria

Como esperado, o consumo do equipamento convencional foi superior ao de tecnologia inverter, entretanto, o custo foi simulado para termos uma melhor avaliação do valor em moeda real, considerando-se 8 horas de funcionamento por dia e com um preço de kWh no valor de 0,87 centavos, valor este que varia de uma concessionária para outra.

Portanto, pode-se dizer que a economia do LG Smart inverter em relação ao modelo convencional Split Electrolux, com as condições que foram adotadas, pode gerar uma redução de aproximadamente R\$ 20,00 na fatura de energia.

6.7 REATIVOS

Modelo Ar condicionado	Potência Reativa Mínima	Potência Reativa Máxima	Potência Reativa Média
LG Smart Inverter	133,7	629,1	412,5
Electrolux Split Convencional	97,91	285,75	186,1

Tabela 18 - Comparação Potência Reativa. Fonte: Autoria Própria

No quesito potência reativa, o ar condicionado modelo inverter operou com FP abaixo de 0,92, consumindo mais reativos do que o modelo convencional, o qual este último, obteve FP melhor e mais próximo da legislação vigente, além de consumir menos energia reativa indutiva.

Logo, devido à natureza eletrônica do ar condicionado com tecnologia inverter, compreende-se que o mesmo pode influenciar de forma direta na medição dos valores da energia elétrica reativa, o que contribui para a alteração do fator de potência registrado a cada hora.

6.8 FREQUÊNCIA, TENSÃO E PST

Modelo Ar condicionado	Frequência Média	Tensão Média	Pst Médio (Flicker Curto)
LG Smart Inverter	60 Hz	216 V	0,276
Electrolux Split Convencional	60 Hz	216,6 V	0,53

Tabela 19 - Comparação Frequência, Tensão e Pst. Fonte: Autoria Própria

Com relação a frequência e a tensão, ambos os aparelhos mantiveram médias dentro da legislação recomendada, 60 Hz e 220 V, valores estes adequados para o funcionamento normal dos equipamentos analisados.

Outro quesito de qualidade de energia, o flicker de tensão, pode-se observar que ambos os modelos obtiveram níveis menores que 1, e segundo o que recomenda o capítulo 6 do módulo 8 do PRODIST, valores de referência de flutuação de tensão (Pst) até “0,999” são considerados adequados.

Sendo assim, avaliando estes quesitos de qualidade de energia, o modelo inverter foi mais eficiente do que o modelo convencional quanto ao piscar das luzes gerados pelas flutuações de tensões.

CAPÍTULO 7

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme os equipamentos se modernizam e se adaptam a diferentes tecnologias, o uso de componentes não-lineares aumenta devido ao avanço da eletrônica de potência nos aparelhos. Assim, surge a necessidade de equipamentos mais modernos utilizarem filtros com o objetivo de se adequarem aos níveis de distorção exigidos pelas normas, permitindo assim a sua comercialização.

Como há uma tendência crescente do uso do ar condicionado nos setores residenciais e comerciais, o consumo mais expressivo por esses setores é o do condicionador de ar, surgindo assim a possibilidade de conservação de energia por parte destes equipamentos, promovendo então uma melhor eficiência energética.

Hoje, a medida implantada é a adoção de um índice mínimo de eficiência energética para aparelhos de condicionamento de ar, que vem evoluindo com o tempo, porém, os índices praticados no Brasil ainda estão muito inferiores se comparados ao Japão e Estados Unidos, onde este último adota um índice mínimo de 3,8W/W. No entanto, seria necessário adotar um índice mínimo de eficiência mais exigente para os aparelhos de ar condicionado, pois os fabricantes acabam comercializando equipamentos com menos eficiência energética para o Brasil.

Através das medições feitas neste trabalho pode-se observar que houveram divergências em relação ao índice fornecido pelo fabricante, por razões de vários fatores físicos e internos em determinados momentos da análise. Vale ressaltar que isso acontece quando há picos de potências superiores aos fornecidos pelos fabricantes. Por isso, é fundamental a manutenção do equipamento tais como, a limpeza dos filtros periodicamente e a manutenção completa a cada 6 meses, para se garantir os índices mínimos de eficiência do aparelho.

Foi possível observar a diferença do funcionamento do aparelho convencional com a tecnologia inverter, o qual este último permite a variação da velocidade de rotação do compressor, resultando em um menor consumo. Porém, esta tecnologia apresenta grande característica não-linear, pertinente ao inversor de frequência utilizado no acionamento do motor do compressor. A não linearidade, provocou uma elevada distorção de correntes harmônicas se comparado com o modelo convencional, podendo alterar o valor eficaz das correntes.

Apesar do ar condicionado inverter consumir menos potência ativa, o mesmo consome mais reativos, o que favorece para a alteração do fator de potência da unidade consumidora. Sendo assim, de modo geral, o condicionador de ar com a tecnologia inverter é mais eficiente no âmbito da energia ativa, porém o mesmo pode oferecer mais prejuízos ao sistema elétrico do que o modelo split convencional. Já para o consumidor, o modelo inverter se sobressai quanto ao melhor desempenho, menor ruído, menor contribuição para a geração de flicker, menor consumo de energia, utiliza-se de um gás não poluente, o qual contribui para um melhor rendimento.

Contudo, é necessário a realização de estudos mais aprofundados sobre filtros e métodos para diminuir as influências causadas de forma negativa durante o uso do ar condicionado inverter. Também há necessidade de se verificar os métodos empregados pelos medidores de energia elétrica que realizam os cálculos de fator de potência e potências reativas estão adequados para o novo cenário elétrico que vem aumentando devido à presença de cargas não lineares.

Portanto, devido as crescentes características não-lineares encontradas nos equipamentos e por consequência disso, podem ocasionar um sobrecarregamento no sistema elétrico de potência, havendo então a necessidade de uma revisão nas normas as quais pertencem os critérios de qualidade de energia. De forma geral, o importante é estar consciente de que a minimização da distorção harmônica pode e deve ser de responsabilidade de todos os envolvidos no setor elétrico, sejam os consumidores ou as concessionárias, através de medidas de mitigação, os fabricantes com a melhoria da qualidade de seus produtos e o órgão regulador com elaboração de normas que visem melhor nível de qualidade.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O ideal para trabalhos futuros, seria realizar medições com aparelhos de ar condicionado de outros fabricantes e que estejam novos, ou seja, com pouco tempo de uso, para que sejam expostos às melhores condições do equipamento.

Encontrar soluções aplicáveis nas instalações, com o remanejamento de fontes e cargas, além de inserir filtros ativos junto ao quadro de distribuição evitando assim desperdícios de energia, podendo assim, reduzir a circulação de correntes harmônicas nas instalações, compensar o fator de potência, gerar correntes harmônicas para cancelarem as harmônicas geradas pelo ar-condicionado com característica não-linear.

Outra sugestão além, seria medir aparelhos de ar condicionado de tecnologia inverter e dual inverter, com intuito de obter comparações de consumo, desempenho, eficiência e poder verificar se tiveram melhorias quanto à qualidade de energia.

REFERÊNCIAS

- [1] EPE - **Empresa de Pesquisa Energética**, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br>> Acesso em 27 de Dezembro de 2019.
- [2] Portal da Refrigeração, **Brasil: Um dos maiores mercados do mundo para refrigeração e ar condicionado**, 2013. Disponível em: <http://www.refrigeracao.net/Assuntos_atuais/brasil_grande_mercado.htm> Acessado em 27 de Dezembro de 2019.
- [3] Empresa de Pesquisa Energética – EPE. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026, Demanda de Energia**. Disponível em <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/topico-66/Cap2_Texto.pdf> Acessado em 28 de Dezembro de 2019.
- [4] PROCEL. **Avaliação do Mercado de Eficiência Energética do Brasil**. Rio de Janeiro, 2006.
- [5] VIANNA, L. G. V.; RAMOS, M. O. S.; PEREIRA, O. S. **Programa de Conservação de Energia Elétrica, seus Desdobramentos e Necessidades para Consolidação**. In: Energia 2030: Desafios para uma nova Matriz Energética Brasil. São Paulo, 2010 - Artigo Científico.
- [6] LIMA, L. F. **Estudos de Eficiência Energética em Aparelhos Condicionadores de Ar e Técnicas para Redução da Carga Térmica nas Edificações**. UEL - Londrina, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso.
- [7] MORAES, C. **Análise de Medidas para Eficientização e Uso Racional da Energia Elétrica em Condicionadores de Ar**. 180 p.— Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2013. Dissertação de Mestrado.
- [8] RESENDE, F.R; NAVES, A.C. **Harmônicos em Sistemas Elétricos de Potência**. IESA INEPAR 2008. Artigo Científico.

- [9] Pós-Elétrica UFU. XVII Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia - MG. **Distorção Harmônica em Rede Elétrica** – CEEUFU, 2019.
- [10] Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência – **Classificação dos Equipamentos Quanto à Norma IEC 61000 -2-3**. Universidade Federal de Viçosa - MG (Gesep-UFV).
- [11] Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência – **Limites de Harmônicas de Corrente**. Universidade Federal de Viçosa - MG (Gesep-UFV).
- [12] IEEE-519 – **Limites de Distorção de Tensão**
Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power System, 2014.
- [13] IEEE-519 - **Limites de Distorção da Corrente para Sistemas de Distribuição**
IEEE-519, 2014.
- [14] Companhia Paranaense de Energia. **Fator de Potência: Em Busca da Eficiência Energética nas Instalações Elétricas**. COPEL Distribuição – Paraná, 2019
- [15] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**, PRODIST Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica, 2018.
- [16] ENEGEP - XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. **Comparativo Econômico entre Condicionadores de Ar com Tecnologias Convencional e Inverter**. Fortaleza, 2015. Artigo Científico.
- [17] ELETROBRÁS/PROCEL EDUCAÇÃO. **Conservação de Energia, Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações**. FUPAI. Itajubá, 2006.
- [18] Lifes Good, **LG Smart Inverter**. Disponível em :<<https://www.lg.com/br/ar-condicionado-residencial/lg-US-Q092WSG3>>, acessado em 10 de Janeiro de 2020.

- [19] LEONARDO-ENERGY – Procobre, 2018 - **Relação entre Harmônicos de Corrente e o Fator de Potência** – Medição de Harmônicas - Capítulo 2. Disponível em <www.leonardo-energy.org.br> Acessado em 25 de Fevereiro 2019.
- [20] GAMA, P. H. R. P. e OLIVEIRA, A., **Conservação de Energia e sua Relação com a Qualidade de Energia Elétrica**, XV SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (1999), Brasil. Artigo Científico.
- [21] Pires, I.A. **Caracterização de Harmônicos Causados por Equipamentos Eletroeletrônicos Residenciais e Comerciais no Sistema de Distribuição de Energia Elétrica**. – PPGEE-UFMG. Março, 2006. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica.
- [22] IEI-BRASIL, **Faixas de CEE para Condicionadores de Ar**. Disponível em: <<https://iei-brasil.org/2019/05/30/o-que-e-a-etiqueta-nacional-de-conservacao-de-energia-ence/>>, Acessado em 15 Abril de 2020.
- [23] DUGAN, R.C, et alli, **Electrical Power Systems Quality**, second edition, McGraw-Hill
- [24] Electrolux, **Ar Condicionado Split modelo PE09F** - Disponível em: <http://www.liderarfrio.com.br/modelos_eletrolux_18.html>, Acessado em 20 de Abril de 2020.
- [25] Abcobre, **Instalações Elétricas de Interiores** - Unidade 3. Disponível em: <<http://www.abcobre.org.br/uploads/conteudo/conteudo/2020/01/hSfNx/doc-21-5-mod-4-cap-3-flicker-apostila.pdf>> Acessado em 08 Setembro de 2020.
- [26] Elektro, **Energia reativa em Distribuição de energia**. 2014 – Disponível em: <<https://www.elektro.com.br/seu-negocio/energia-ativa-e-reativa>> acessado em 11 de Setembro de 2020.