



CLÁUDIO DONIZETE DE JESUS

**MONITORAMENTO DE PARÂMETROS
RELACIONADOS À ENERGIA ELÉTRICA EM
AMBIENTE UNIVERSITÁRIO ATÍPICO: UM
ESTUDO DE CASO**

LAVRAS - MG

2011

CLÁUDIO DONIZETE DE JESUS

**MONITORAMENTO DE PARÂMETROS RELACIONADOS À
ENERGIA ELÉTRICA EM AMBIENTE UNIVERSITÁRIO ATÍPICO:
UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Máquinas e Automação Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Giovanni Francisco Rabelo

Coorientador

Dr. Joaquim Paulo da Silva

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Jesus, Cláudio Donizete de.

Monitoramento de parâmetros relacionados à energia elétrica em ambiente universitário atípico : um estudo de caso / Cláudio Donizete de Jesus. – Lavras : UFLA, 2011.

133 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Giovanni Francisco Rabelo.

Bibliografia.

1. Eficiência energética na UFLA. 2. Metodologia de medição e controle. 3. Monitoramento da demanda. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 621.37

CLÁUDIO DONIZETE DE JESUS

**MONITORAMENTO DE PARÂMETROS RELACIONADOS À
ENERGIA ELÉTRICA EM AMBIENTE UNIVERSITÁRIO TÍPICO: UM
ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola com área de concentração em Máquinas e Automação Agrícola, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2011.

Dr. Joaquim Paulo da Silva UFLA

Dr. Lourival Marin Mendes UFLA

Dr. Giovanni Francisco Rabelo
Orientador

LAVRAS - MG

2011

Meu DEUS,
OFEREÇO-VOS agora os frutos do meu trabalho.

“Senhor, não entendo o que acontece em minha vida, mas creio em Vosso
amor e Vos ofereço meus louvores.”

À minha mãe Sebastiana C. de Jesus (In Memoriam).

À minha sogra Maria Marcelino Naves (In Memoriam).

À minha esposa Maria de Fátima N. de Jesus.

Aos meus filhos:

Maria Cláudia N. de Jesus,

Débora C. Naves de Jesus,

Alessandra Edwiges N. de Jesus e

Cláudio H. Naves de Jesus.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo maravilhoso Dom da Vida.

À minha esposa, pelo apoio nas horas mais difíceis. Razão da minha alegria.

À minha mãe, fonte de amor e ensinamento para vida.

À minha querida sogra “Lilia”, minha segunda mãe.

Aos meus filhos, pelo apoio e amor a mim dedicados.

Ao orientador, Prof. Giovanni Francisco Rabelo, pela amizade, pela transmissão de tão preciosos conhecimentos e especialmente pelo crescimento profissional e pessoal que esta convivência me proporcionou, principalmente para a realização deste.

Ao orientador, Prof. Joaquim Paulo da Silva, pela dedicação, atenção, compreensão e orientação, que contribuíram também para a realização deste.

Ao Prof. Tomás de Aquino Ferreira, amigo de longa data, pela amizade, orientação e pelo imenso apoio.

Ao Prof. Fábio Moreira pela amizade, sinceridade e confiança depositada.

Ao Prof. Nilson Salvador pela amizade e convivência nas horas de laser.

Ao Departamento de Engenharia e à Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

À secretária Greice pela eficiência, dedicação e profissionalismo.

Aos funcionários da Elétrica, Rodrigo e Erick pela atenção e presteza.

A todos os colegas de curso, pela convivência e troca de experiências.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram para que este trabalho alcançasse seus objetivos com êxito.

MUITO OBRIGADO!

RESUMO

A energia elétrica nos últimos anos tem sido tratada como “commodities” e essa utilidade tem atingido valores monetários elevados no mercado “spot”, em função do aumento da demanda e da escassez. A indústria, de uma forma geral, controla muito bem sua demanda e consumo, uma vez que contrata equipes de profissionais especializados no assunto e conhecem muito bem todo o processo de produção e de demanda de energia. O mesmo não ocorre com as universidades, pois apresentam uma sazonalidade muito variável, principalmente por experimentar uma ampliação que, na maioria das vezes, não é planejada em longo prazo. Recentemente, as universidades, devido a uma política do Ministério da Educação do Governo Luiz Inácio da Silva, receberam recursos para sua expansão, o Programa REUNI. Isso, de certa forma, forçou as instituições a promoverem uma expansão em sua infraestrutura e aumentou a demanda por energia elétrica e por outros bens. Em consequência, houve uma penalização nas contas de energia elétrica por estouro de demanda contratada e também por baixo fator de potência. Neste sentido, a UFLA adotou uma política para controlar melhor e monitorar o consumo em cada instalação, de forma a se obter um diagnóstico mais preciso das condições de sua estrutura. Assim, este trabalho apresentou uma alternativa de monitoramento das instalações elétricas sob o aspecto do carregamento das redes, bem como das características da carga. Foram instalados medidores específicos em 10 locais estratégicos para o desenvolvimento deste trabalho. Destes 10, 5 foram analisados e selecionados para este estudo. Os resultados demonstram que não há equilíbrio de cargas nas fases, bem como um baixo fator de potência e um fator de carga muito instável devido à variação sistemática na demanda. Entretanto, não foram identificadas variações de tensão significativas nas redes de distribuição.

Palavras-chave: Eficiência energética na UFLA. Metodologia de medição e Controle. Monitoramento da demanda.

ABSTRACT

The electricity in recent years has been treated as commodities and that utility has reached high monetary values in spot market, due to increased demand and scarcity. The industry, in general, controls very well the demand and consumption, as it hires teams of specialized professionals and they know very well the whole process of production and energy demand. Not so with the universities, because they present a seasonally very variable, mainly by a broadening experience, which in most cases, is not planned in the long term. Recently, universities, due to a policy of the Ministry of Education Government of Luiz Inacio da Silva, received funding for its expansion program REUNI. That, somehow forced the institutions to encourage an expansion in its infrastructure and increased demand for electricity and other goods. Consequently, there was a penalty on the electric bills for overflow contracted demand and also for low power factor. In this sense, UFLA adopted a policy to better control and monitor consumption at each facility in order to obtain a more accurate diagnosis of the conditions of its structure. Thus, this work presents an alternative monitoring of electrical installations under the aspect of charging systems, and the characteristics of the load. Meters were installed at 10 strategic locations specific to the development of this work. Of these 10, five were selected and analyzed for this study. The results show that there is no load balancing phases and a low power factor load factor and a very unstable due to systematic variation in demand. However, there were no significant changes in voltage in distribution networks.

Keyword: Energy efficiency in UFLA. Methodology of measurement and control. Demand monitoring.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	Ponto de vista do consumidor.....	24
Gráfico 2	Representação de um transitório em uma senoide.....	27
Gráfico 3	Corrente transitória impulsiva causada por uma descarga atmosférica.....	27
Gráfico 4	Transitório oscilatório.....	28
Gráfico 5	Sobretensão decorrente da eliminação de uma falta.....	29
Gráfico 6	Sequência de manobras de proteção.....	31
Gráfico 7	Representação de interrupção momentânea.....	32
Gráfico 8	Representação da elevação de tensão devido a uma falta fase-terra.....	33
Gráfico 9	Tolerâncias típicas de microcomputadores às variações de tensão (curva CBEMA).....	35
Gráfico 10	Resposta do motor à alimentação desequilibrada.....	37
Gráfico 11	Representação de ruído originado provavelmente por equipamentos de radiofrequência.....	41
Gráfico 12	Exemplos de distorção pela 5ª harmonia.....	42
Gráfico 13	Deformação de um sinal senoidal fundamental pela presença de várias senoides de ordem superior.....	43
Gráfico 14	Comparativo da tensão na fase “A” - RU (12/11/10).....	59
Gráfico 15	Comparativo das correntes na fase “A” - RU (12/11/10)....	60
Gráfico 16	Comparativo das correntes na fase “B” - RU (12/11/10)....	61
Gráfico 17	Comparativo das correntes na fase “C” - RU (12/11/10)	61
Gráfico 18	Comparativo da tensão na fase “A” - CIN-UFLA (12/11/10).....	62
Gráfico 19	Comparativo das correntes na fase “A” - CIN-UFLA (12/11/10).....	63
Gráfico 20	Comparativo das correntes na fase “B” - CIN-UFLA (12/11/10).....	63
Gráfico 21	Comparativo das correntes na fase “C” - CIN-UFLA (12/11/10).....	64
Gráfico 22	P [kW]; Q _L [kVAr]; Q _C [kVAr] - dia letivo (06/07/10).....	65
Gráfico 23	P [kW]; Q _L [kVAr] - dia letivo (12/08/10).....	66
Gráfico 24	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (06/07/10).....	67
Gráfico 25	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (12/08/10).....	68
Gráfico 26	FP – DCC - dia letivo (06/07/10).....	69
Gráfico 27	Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10).....	70
Gráfico 28	P [kW]; Q _L [kVAr]; Q _C [kVAr] - dia letivo (06/07/10).....	71

Gráfico 29	P [kW]; Q _L [kVAr] - dia letivo (08/07/10).....	72
Gráfico 30	P [kW]; Q _L [kVAr] - dia letivo (10/08/10).....	74
Gráfico 31	P [kW]; Q _L [kVAr] - dia letivo (12/08/10).....	75
Gráfico 32	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (06/07/10).....	76
Gráfico 33	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (08/07/10).....	77
Gráfico 34	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (10/08/10).....	77
Gráfico 35	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (12/08/10).....	78
Gráfico 36	FP – RU - dia letivo (06/07/10).....	79
Gráfico 37	Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10).....	80
Gráfico 38	P [Kw]; Q _L [kVAr] - dia letivo (06/07/10).....	81
Gráfico 39	P [kW]; Q _L [kVAr] - dia letivo (12/08/10).....	82
Gráfico 40	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (06/07/10).....	83
Gráfico 41	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (12/08/10).....	83
Gráfico 42	FP – CIN-UFLA - dia letivo (06/07/10).....	84
Gráfico 43	Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10).....	85
Gráfico 44	P [Kw]; Q _L [kVAr] - dia letivo (06/07/10).....	86
Gráfico 45	P [Kw]; Q _L [kVAr] - dia letivo (12/08/10).....	88
Gráfico 46	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (06/07/10).....	89
Gráfico 47	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (12/08/10).....	90
Gráfico 48	FP – CANTINA CENTRAL - dia letivo (06/07/10).....	91
Gráfico 49	Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10).....	92
Gráfico 50	P [kW]; Q _L [kVAr]; Q _C [kVAr] - dia letivo (06/07/10).....	93
Gráfico 51	P [kW]; Q _L [kVAr]; Q _C [kVAr] - dia letivo (12/08/10).....	94
Gráfico 52	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (06/07/10).....	95
Gráfico 53	Curva de desequilíbrio da I _{RMS} - dia letivo (12/08/10).....	96
Gráfico 54	FP – DEX - dia letivo (06/07/10).....	97
Gráfico 55	Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10).....	98
Gráfico 56	Distorção harmônica no neutro (05/12/10).....	99
Gráfico 57	Distorção harmônica na fase “A” (05/12/10).....	100
Gráfico 58	Distorção harmônica na fase “B” (05/12/10).....	101
Gráfico 59	Distorção harmônica na fase “C” (05/12/10).....	102

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distorções típicas na tensão da rede elétrica.....	26
Figura 2	Representação gráfica do fenômeno Flicker.....	39
Figura 3	Notching – microcortes.....	40
Figura 4	Filtro ativo paralelo.....	103
Figura 5	Filtro ativo serie.....	103
Figura 6	Filtro ativo serie/paralelo.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Resumo: causas, efeitos e soluções	46
Tabela 2 Valores eficazes de cada harmônico de tensão	49

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REVISÃO BIBLIOGRAFICA	21
2.1	Normas e organizações relacionadas com qualidade de energia	22
2.2	Terminologias e definições dos itens de qualidade	23
2.2.1	Problemas de qualidade de energia elétrica	23
2.2.2	Transitórios	26
2.2.3	Interrupções e sags	29
2.2.4	Sobretensões	32
2.2.5	Desequilíbrios de tensão	35
2.2.6	Distorções na forma de onda	38
2.2.7	Distorções harmônicas	41
2.3	Normalização	48
2.3.1	Norma NE/EN 50160	48
2.3.2	Norma CEI/IEC 61000	49
2.3.3	Norma ANSI/IEEE 519	51
2.4	Monitoramento da qualidade da energia elétrica	52
2.5	Soluções para os problemas de qualidade de energia elétrica	53
3	MATERIAL E MÉTODOS	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1	Metodologia para validação dos medidores de energia elétrica	58
4.1.1	Valores comparados no Restaurante Universitário	59
4.1.2	Valores comparados no Centro de Informática da UFLA	62
4.2	Análise dos resultados	65
4.2.1	Departamento de Ciência da Computação no pavimento térreo	65
4.2.1.1	Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva no Departamento de Ciência da Computação no pavimento térreo	65
4.2.1.2	Análise da intensidade das correntes no Departamento de Ciência da Computação no pavimento térreo	67
4.2.1.3	Análise do fator de potência no Departamento de Ciência da Computação no pavimento térreo	69
4.2.1.4	Análise da tensão no Departamento de Ciência da Computação pavimento térreo	70
4.2.2	Restaurante Universitário	71

4.2.2.1	Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva no Restaurante Universitário.....	71
4.2.2.2	Análise da intensidade das correntes no Restaurante Universitário.....	76
4.2.2.3	Análise do fator de potência no Restaurante Universitário.....	79
4.2.2.4	Análise de tensão no Restaurante Universitário.....	80
4.2.3	Centro de Informática da Universidade Federal de Lavras.....	80
4.2.3.1	Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva no Centro de Informática da UFLA.....	80
4.2.3.2	Análise da intensidade das correntes no Centro de Informática da UFLA.....	83
4.2.3.3	Análise do fator de potência no Centro de Informática da UFLA.....	84
4.2.3.4	Análise da tensão no Centro de Informática da UFLA.....	85
4.2.4	Cantina Central.....	85
4.2.4.1	Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva na Cantina Central.....	85
4.2.4.2	Análise da intensidade das correntes na Cantina Central.....	89
4.2.4.3	Análise do fator de potência na Cantina Central.....	91
4.2.4.4	Análise da tensão na Cantina Central.....	92
4.2.5	Departamento de Ciências Exatas.....	92
4.2.5.1	Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva no Departamento de Ciências Exatas.....	92
4.2.5.2	Análise da intensidade das correntes no Departamento de Ciências Exatas.....	95
4.2.5.3	Análise do fator de potência no Departamento de Ciências Exatas.....	97
4.2.5.4	Análise da tensão no Departamento de Ciências Exatas.....	98
4.3	Análise da qualidade da energia elétrica.....	98
4.3.1	Distorção harmônica no neutro – Centro de Informática da UFLA.....	99

4.3.2	Distorção harmônica na fase “A” – Centro de Informática da UFLA.....	100
4.3.3	Distorção harmônica na fase “B” – Centro de Informática da UFLA.....	101
4.3.4	Distorção harmônica na fase “C” – Centro de Informática da UFLA.....	102
5	CONCLUSÕES.....	105
	REFERÊNCIAS.....	107
	ANEXOS.....	109

1 INTRODUÇÃO

Durante muitas décadas usou-se a energia elétrica sem se preocupar com sua qualidade, nem mesmo com a escassez desse recurso energético. Atualmente, o termo qualidade da energia vem sendo associado à sustentabilidade do planeta, pois em alguns casos o problema causado por uma má qualidade da energia pode acarretar desperdício da mesma energia. Na década de 1990 iniciou-se o estudo de harmônicos, surgidos devido ao uso de cargas elétricas especiais em função do desenvolvimento da eletrônica de potência. A tensão de alimentação não senoidal, bem como a corrente consumida, interferia em outras cargas e provocavam erros de medição. Com o desenvolvimento da eletrônica de potência os equipamentos ligados aos sistemas elétricos evoluíram, melhorando em rendimento, controlabilidade e custo, permitindo ainda a execução de tarefas não possíveis anteriormente. Contudo, esses equipamentos têm a desvantagem de não funcionarem como cargas lineares, consumindo correntes não sinusoidais e dessa forma, “poluindo” a rede elétrica com harmônicos. A presença de harmônicos nos sistemas de potência resulta num aumento das perdas relacionadas com o transporte e distribuição de energia elétrica, em problemas de interferências com sistemas de comunicação e na degradação do funcionamento dos equipamentos ligados à rede, sobretudo daqueles (cada vez em maior número) que são mais sensíveis por incluírem sistemas de controle microeletrônicos que operam com baixos níveis de energia (ARRUDA, 2003).

Os prejuízos econômicos resultantes destes e de outros problemas dos sistemas elétricos são elevados e, por isso, a questão da qualidade da energia elétrica entregue aos consumidores finais é hoje, mais do que nunca, objeto de grande preocupação. Segundo um relatório do EPRI (Electric Power Research Institute), os problemas relacionados com a qualidade da energia e falhas no

fornecimento de energia custam à economia dos Estados Unidos mais de 119 milhões de dólares por ano (MAZURKIEWICZ, 2001). Normas internacionais, relativas ao consumo de energia elétrica tais como IEEE 519 (INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS - IEEE, 1992), IEC 61000 (INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - CEI, 1990a, 1990b) e EN 50160 (EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION - CENELEC, 1994), limitam o nível de distorção harmônica nas tensões com os quais os sistemas elétricos podem operar, e impõem que os novos equipamentos não introduzam na rede harmônica de corrente de amplitude superior a determinados valores. Evidencia-se a importância em resolver os problemas dos harmônicos, quer para os novos equipamentos a serem produzidos quer para os equipamentos já instalados.

A Universidade Federal de Lavras (UFLA) é um consumidor atípico, o campus possui uma área de 600 hectares, sendo 250.000 m² de área construída, 17 departamentos didático-científicos onde estão distribuídos seus 528 professores que atuam em diferentes áreas do conhecimento, preparando mais de 12.000 estudantes, dos quais cerca de 6.000 em 27 cursos de graduação e 1.606 em Programas de Pós-graduação, 20 mestrados, 18 doutorados e duas Especializações em Educação e em Residência Médico-veterinária e mais de 8.800 alunos em cursos de especialização a distância, atendendo profissionais de todos os estados brasileiros e do exterior. Nesta década foram implantados 13 laboratórios multiusuários especializados: Computação Científica; Análise e Prospecção Química; Biologia Molecular; Microscopia Eletrônica e Análise Ultraestrutural; Química Ambiental; Central de Sementes; Qualidade e Segurança Alimentar; Centro de Desenvolvimento de Instrumentação Aplicada à Agropecuária; Pesquisa Animal; Fitoquímicos e Produtos Naturais; Novos Materiais; Biomateriais e Biotério de Animais para Experimentação. Estão em andamento as construções de mais cinco unidades multiusuárias: Biotério de

Insetos; Estação Experimental; Unidade de Tratamento de Resíduos Químicos, Sólidos e Carcaças; Centro de Computação Científica e Aplicada e Unidade para Procedimentos Técnicos e Científicos e Produção e Qualidade de Carnes.

Nessas unidades são desenvolvidas atividades específicas que abrangem as mais diversas especialidades da Biologia, Agronomia, Medicina Veterinária, Fitossanidade, Ciência do Solo, Engenharia, Ciência dos Alimentos e Florestais, onde trabalham mais de 500 pesquisadores que contam com o envolvimento de 1.600 estudantes de pós-graduação, 765 de iniciação científica e outros 230 como bolsistas voluntários e, ainda, 150 bolsistas do Programa Bic-Júnior.

A Pós-graduação tornou-se um componente de extrema importância na estrutura educacional e de pesquisa da UFLA, com destaque para a Pós-graduação *stricto sensu*, totalizando atualmente 20 programas em nível de mestrado e 18 de doutorado. Contabilizam-se, atualmente, em 36 anos de experiência em Pós-graduação, uma expressiva inserção de sua produção científica na esfera nacional e internacional. A Pós-graduação da UFLA possui uma política de gestão estruturada que inclui criação de mecanismos de incentivo à produção científica qualificada por meio do estímulo à construção e à divulgação do conhecimento científico, nacional e internacional.

A UFLA possui atualmente 100 grupos de pesquisa certificados que atuam em 562 linhas, desenvolvendo cerca de 1500 projetos. Possui 144 professores bolsistas de Produtividade em Pesquisa/CNPq, o que representa 27,3% de seu quadro docente e 30,2% de seu quadro de doutores. A produção científica é crescente, sendo que nos últimos cinco anos foram publicados 3,9 artigos/docente/ano e 7,8 publicações/ano, quando consideradas também outras produções bibliográficas. A pesquisa da UFLA se concentra em vários temas, nas áreas de: Biologia Geral; Ciência do Solo; Ciência e Tecnologia de Alimentos; Fitotecnia; Ciências Florestais; Sanidade Vegetal; Engenharia Agrícola; Medicina Veterinária; Biotecnologia Animal, Zootecnia; Química;

Genética e Melhoramento de Plantas e Biologia Molecular; Administração e Economia; Computação, Tecnologia da Informação e Física; Instrumentação aplicada à agropecuária, entre outras.

A Universidade Federal de Lavras é alimentada pela CEMIG, que entrega a energia em média tensão a uma cabine de medição projetada para quatro MVA, operando atualmente com 1,6 MVA no horário de ponta, e com 1,0 MVA no horário fora de ponta. O disjuntor geral foi dimensionado para 400 ampères, e está regulado para atuar com uma intensidade de corrente elétrica de 76 ampères. A rede de distribuição primária é protegida e compacta, com 64 transformadores convencionais, com potência de 30 kVA a 150 kVA, e tensão nominal de 13,8 kV, com uma extensão aproximada de 16 km, sendo 6 km construída com cabo de 150 mm² de seção nominal e 10 km com cabo de 50 mm², totalizando 331 postes de concreto. A rede de distribuição secundária é subterrânea, exceto a destinada à iluminação e ao neutro para interligação dos transformadores. As distâncias entre os setores, em relação à subestação de medição, varia de 30 a 1150 metros, sendo o campus histórico o que possui a maior distância, que é de 2500 metros.

Tudo isto faz da Universidade Federal de Lavras um consumidor bem distinto dos consumidores comerciais e também dos industriais. No comércio e na indústria, o controle de demanda é relativamente fácil de ser implementado. Por outro lado, na universidade o consumo é sazonal, tendo seu pico nos períodos letivos e diurnos.

Não se tem um levantamento das cargas especiais geradoras de harmônicos. A expansão é desordenada, pois muitos equipamentos são comprados por meio de financiamento de projetos e cada pesquisador tem uma grande liberdade para elaborar tais projetos, portanto a universidade deve se adaptar para fornecer energia elétrica. Naturalmente, isso pode acarretar ultrapassagem da demanda contratada, bem como descontrole do fator de

potência e do consumo.

O gerenciamento da conta para desvio do consumo nos horários de ponta é uma tarefa difícil, uma vez que os horários de funcionamento da instituição são rígidos, o que sobrecarrega a rede principalmente nos horários de ponta. Um monitoramento de todo o sistema da rede torna-se imprescindível para se definir estratégias de controle de consumo e demanda de forma eficiente, bem como planejar a expansão do sistema a curto, médio e longo prazos.

Nesse sentido, este trabalho apresenta uma metodologia e um estudo de caso visando a instalação de sistemas de monitoramento do consumo, gerenciamento de demanda e monitoramento da qualidade de energia no Campus da Universidade Federal de Lavras.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O conceito de qualidade de energia está relacionado a um conjunto de alterações que podem ocorrer no sistema elétrico. Dugan et al. (2002) definem qualidade de energia como qualquer problema no sistema elétrico expresso em desvios da tensão, corrente ou frequência que resultem em falha ou má operação de equipamentos dos consumidores. Tais alterações podem ocorrer em várias partes do sistema de energia, seja nas instalações de consumidores ou no sistema supridor da concessionária. Segundo Martinho (2009), qualidade de energia elétrica é de responsabilidade de quem fornece e de quem utiliza.

Este problema vem se agravando rapidamente em todo o mundo por diversas razões, das quais se destacam duas:

- a) Instalação cada vez maior de cargas não lineares. O crescente interesse pela racionalização e conservação da energia elétrica tem aumentado o uso de equipamentos que, em muitos casos, aumentam os níveis de distorções harmônicas e podem levar o sistema a condições de ressonância;
- b) Maior sensibilidade dos equipamentos instalados aos efeitos dos fenômenos (distúrbios) de qualidade de energia.

Em alguns ramos de atividade, como a indústria têxtil, siderúrgica e petroquímica, os impactos econômicos da qualidade da energia são enormes. Nestes setores uma interrupção elétrica de até 1 minuto pode ocasionar prejuízos de até US\$ 500 mil (FRANCO, 2009). O prejuízo com interrupção em uma instalação como a da UFLA é incalculável (experimentos etc.). E diante deste potencial de prejuízos possíveis fica evidente a importância de uma análise e diagnóstico da qualidade da energia elétrica, no intuito de determinar as causas e as consequências dos distúrbios no sistema, além de apresentar medidas técnicas e economicamente viáveis para solucionar os problemas.

2.1 Normas e organizações relacionadas com qualidade de energia

A Europa é a região do planeta mais avançada no quesito normas de qualidade de energia, uma vez que a norma EN50160 foi oficialmente adotada por vários países. Entretanto, o clima de desregulamentação pode significar que contratos com cláusulas de qualidade de energia possam vir a ser comuns no futuro. Segue lista de normas e entidades:

EM 50160: é uma nova norma que cobre flicker, inter-harmônicas, desvios/variações de tensão, e muito mais.

IEC 61000-4-15: é uma norma de medição de flicker que inclui especificações para medidores.

IEC 61000-4-7: descreve uma técnica de medição padrão para harmônicas.

IEEE 519: é uma prática recomendada pela IEEE (descrever o que é), utilizada principalmente por concessionárias de energia nos EUA. Descreve níveis aceitáveis de harmônicas para o ponto de entrega de energia pela concessionária.

IEEE 1159: é uma prática recomendada pela IEEE para monitoração e interpretação apropriada dos fenômenos que causam problemas de qualidade de energia.

CBEMA: Computer and Business Equipment Manufacturers Association. A CBEMA virou ITI em 1994. A curva CBEMA define os níveis de suportabilidade de equipamentos, em função da magnitude da tensão e da duração do distúrbio. Distúrbios que saem da curva podem causar danos aos equipamentos.

ITI: Information Technology Industry Council. Grupo trabalha para defender os interesses da indústria de informática.

2.2 Terminologias e definições dos itens de qualidade

2.2.1 Problemas de qualidade de energia elétrica

Entre os problemas de qualidade de energia a interrupção do fornecimento é, incontestavelmente, o mais grave, uma vez que afeta todos os equipamentos ligados à rede elétrica, salvo exceção àqueles que são alimentados por UPS's (Uninterruptible PowerSupplies – sistemas de alimentação ininterrupta) ou por geradores de emergência. Contudo, outros problemas de qualidade podem danificar equipamentos, tais como:

Distorção harmônica: quando existem cargas não lineares ligadas à rede elétrica, a corrente que circula nas linhas contém harmônicos e as quedas de tensão provocadas pelos harmônicos nas impedâncias das linhas, fazem com que as tensões de alimentação fiquem também distorcidas.

Ruído (interferência eletromagnética): corresponde ao ruído eletromagnético de alta frequência, que pode ser produzido pelas comutações rápidas dos conversores eletrônicos de potência.

Inter-harmônicos: surgem quando há componentes de corrente que não estão relacionadas com a componente fundamental (60 Hz); essas componentes de corrente podem ser produzidas por fornos a arco ou por ciclo conversores (equipamentos que, alimentados a 60 Hz, permitem sintetizar tensões e correntes de saída com uma frequência inferior).

Interrupção momentânea: ocorre, por exemplo, quando o sistema elétrico dispõe de disjuntores com religador, que abrem na ocorrência de um curto-circuito, fechando-se automaticamente após alguns milissegundos (e mantendo-se ligados caso o curto-circuito já se tenha extinguido).

Subtensão momentânea (voltage sag): também conhecido por “cava de tensão”, pode ser provocada, por exemplo, por um curto-circuito momentâneo

num outro alimentador do mesmo sistema elétrico, que é eliminado após alguns milissegundos pela abertura do disjuntor do ramal em curto.

Sobretensão momentânea (voltage swell): pode ser provocada, entre outros casos, por situações de defeito ou operações de comutação de equipamentos ligados à rede elétrica.

Flutuação da tensão (flicker): acontece devido a variações intermitentes de certas cargas, causando flutuações nas tensões de alimentação (que se traduz, por exemplo, em oscilações na intensidade da iluminação elétrica).

Microcortes de tensão (notches): resultam de curto-circuitos momentâneos, que ocorrem durante intervalos de comutação dos semicondutores de potência dos retificadores.

Transitórios: ocorrem como resultado de fenômenos transitórios, tais como a comutação de bancos de condensadores ou descargas atmosféricas.

Na ótica do consumidor, talvez seja mais simples e adequado utilizarmos simplesmente a palavra "distúrbios" para englobar todos os fenômenos que afetam a qualidade da energia elétrica.

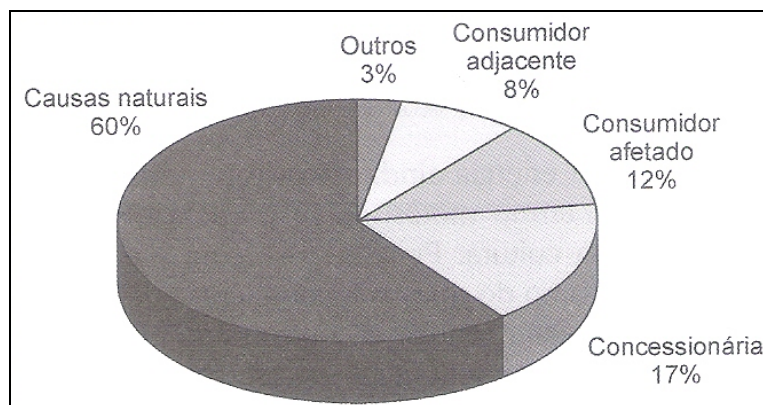


Gráfico 1 Ponto de vista do consumidor
Fonte: Dugan (2002).

O Gráfico 1 mostra o resultado de uma pesquisa realizada com consumidores de energia elétrica e as percepções quanto aos culpados pelos problemas causados na energia elétrica. Observe que uma parte (17%) culpa a concessionária de energia pelos problemas e a maioria adota as causas naturais como fonte dos distúrbios causados. É fato que as causas naturais podem influir na qualidade da energia elétrica, porém acreditamos que esse índice é muito menor dentro do universo dos diversos distúrbios existentes.

No que diz respeito aos problemas encontrados em uma distribuidora de energia elétrica, os principais são descargas atmosféricas, queda de árvores e ação de animais, entre outros.

Os acadêmicos e especialistas, no entanto, classificam os itens de qualidade ("distúrbios") de acordo com:

- a) TRANSITÓRIOS, dos tipos impulsivos ou oscilatórios;
- b) VARIAÇÕES DE TENSÃO DE CURTA DURAÇÃO, que podem ser instantâneas, momentâneas, ou temporárias;
- c) VARIAÇÕES DE TENSÃO DE LONGA DURAÇÃO, que podem ser de três tipos: interrupções, subtensões ou sobretensões sustentadas.
- d) DESEQUILÍBRIOS DE TENSÃO, causados por má distribuição de cargas monofásicas, e que fazem surgir no circuito tensões de sequência negativa;
- e) DISTORÇÕES DA FORMA DE ONDA, que podem ser classificadas em cinco tipos: nível CC, harmônicos, inter-harmônicos, "notching" e ruídos;
- f) OSCILAÇÕES DE TENSÃO, que são variações sistemáticas dos valores eficazes da tensão de suprimento (dentro da faixa compreendida entre 0,95 e 1,05 pu), e que podem ser aleatórias, repetitivas ou esporádicas;

- g) VARIACÕES DA FREQUÊNCIA DO SISTEMA, que são definidas como sendo desvios no valor da frequência fundamental deste sistema (50 ou 60 Hz).

A Figura 1 apresenta as formas de onda típicas dos itens de qualidade mais comuns:

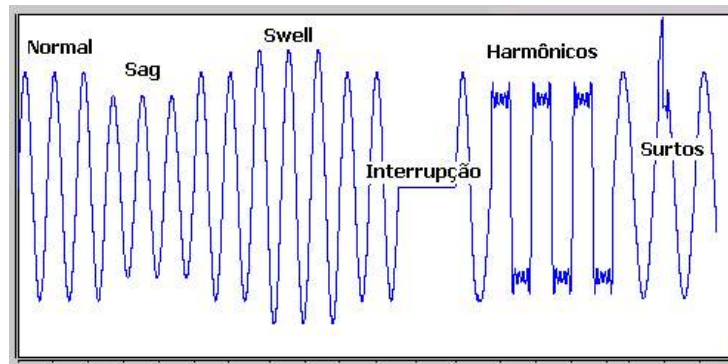


Figura 1 Distorções típicas na tensão da rede elétrica

2.2.2 Transitórios

Os transitórios são fenômenos eletromagnéticos, oriundos de alterações súbitas nas condições operacionais de um sistema de energia elétrica. Geralmente, a duração de um transitório é muito pequena, mas de grande importância, uma vez que submetem equipamentos a grandes solicitações de tensão e/ou corrente. Existem dois tipos de transitórios: os impulsivos, causados por descargas atmosféricas; e os oscilatórios, causados por chaveamentos, conforme apresentado no Gráfico 2, enquanto que o Gráfico 3 apresenta o aspecto de uma corrente transitória impulsiva causada por uma descarga atmosférica.

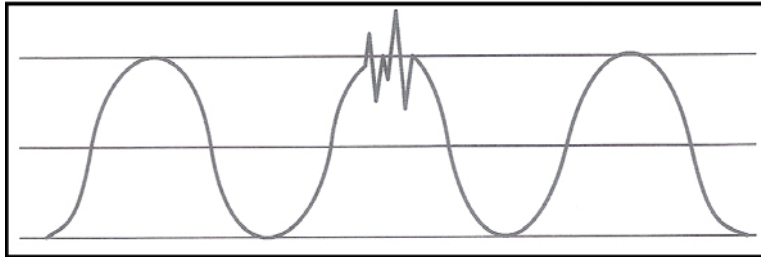


Gráfico 2 Representação de um transítório em uma senoide

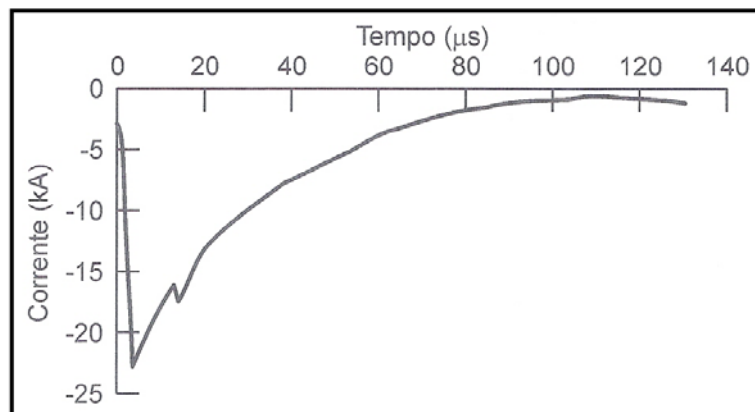


Gráfico 3 Corrente transitória impulsiva causada por uma descarga atmosférica
Fonte: IEEE (1995).

Um transítório impulsivo (normalmente causado por descargas atmosféricas) pode ser definido como uma alteração repentina nas condições de regime permanente da tensão, da corrente ou ambas, caracterizando-se por apresentar impulsos unidirecionais em polaridade (positivo ou negativo) e com frequência bastante diferente daquela da rede elétrica, como apresentado no Gráfico 4.

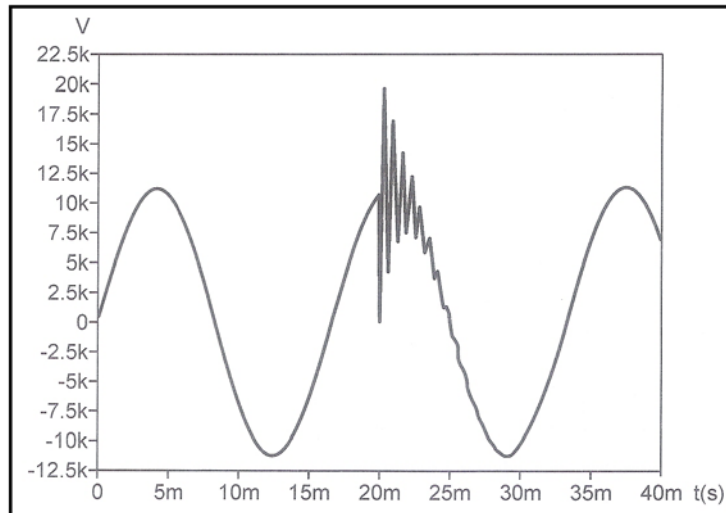


Gráfico 4 Transitório oscilatório
Fonte: IEEE (1995).

Em sistemas de distribuição o caminho mais provável para as descargas atmosféricas é através do condutor fase, no primário ou no secundário, causando sobretensões. Uma descarga diretamente na fase pode gerar também subtensões de curta duração ("sag") e interrupções. As sobretensões transitórias podem também ser geradas por descargas que fluem ao longo do condutor terra, causando os seguintes problemas:

- a) Elevação do potencial de terra local, em relação a outros pontos de aterramento da ordem de kV. Queima de equipamentos eletrônicos conectados entre duas referências de terra;
- b) Indução de altas tensões nos condutores fase, quando as correntes passam pelos cabos a caminho do aterramento.

Importantes também são os transitórios oscilatórios, caracterizados por alteração repentina nas condições de regime permanente da tensão e/ou corrente com polaridade positiva e negativa. Estes transitórios normalmente são

decorrentes de energização de linhas, corte de corrente indutiva, eliminação de faltas, chaveamento de bancos de capacitores e transformadores.

Os transitórios oscilatórios de média frequência podem ser causados por energização de bancos de capacitor (resultando em correntes transitórias de dezenas de kHz), chaveamento de disjuntores para eliminação de faltas e também como resposta do sistema a um transitório impulsivo.

O Gráfico 5 mostra um transitório ocasionado pelo restabelecimento após a eliminação de uma falta.

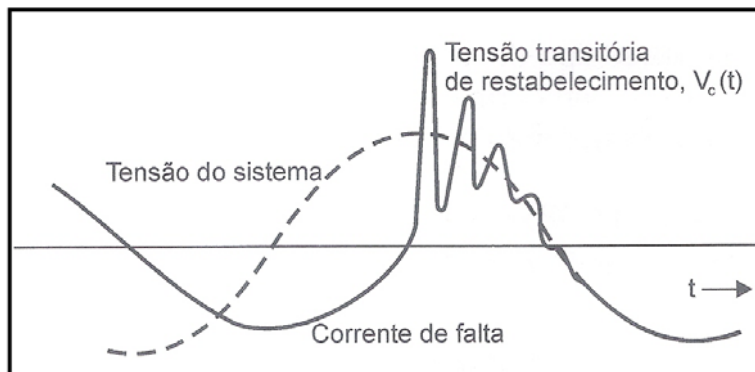


Gráfico 5 Sobretensão decorrente da eliminação de uma falta
Fonte: IEEE (1995).

Observa-se que os picos de tensão podem chegar a valores que aproximam duas vezes o valor nominal, o que pode causar danos em equipamentos sensíveis, com a queima ou perda de dados.

2.2.3 Interrupções e sags

As variações de tensão de curta duração podem ser caracterizadas por alterações instantâneas, momentâneas ou temporárias. Tais variações de tensão são, geralmente, causadas pela energização de grandes cargas que requerem altas

correntes de partida, ou por intermitentes falhas nas conexões dos cabos de sistema. Dependendo do local da falha e das condições do sistema, o resultado pode ser uma queda de tensão temporária ("sag"), uma elevação de tensão ("swell"), ou mesmo uma interrupção completa do sistema elétrico.

Chama-se interrupção de curta duração quando a tensão de suprimento cai para um valor menor que 0,1 pu por um período de tempo não superior a 1 minuto (IEEE, 1995), o que geralmente ocorre por faltas no sistema de energia, falhas de equipamentos e mal funcionamento dos sistemas de controle. Algumas interrupções podem ser precedidas por um "sag" quando estas são devidas a faltas no sistema supridor. O "sag" ocorre no período de tempo entre o início de uma falta e a operação do dispositivo de proteção do sistema.

Analisando, por exemplo, o caso de um curto-circuito no sistema supridor da concessionária, logo que o dispositivo de proteção detecta a corrente de curto-circuito, ele comanda a desenergização da linha com vistas a eliminar a corrente de falta. Somente após um curto intervalo de tempo, o religamento automático do disjuntor ou religador é efetuado. Entretanto, pode ocorrer que, após o religamento, o curto persista e uma sequência de religamentos pode ser efetuada com o intuito de eliminar a falta. O Gráfico 7 ilustra uma sequência de religamentos com valores típicos de ajustes do atraso. Sendo a falta de caráter temporário, o equipamento de proteção não completará a sequência de operações programadas e o fornecimento de energia não é interrompido.

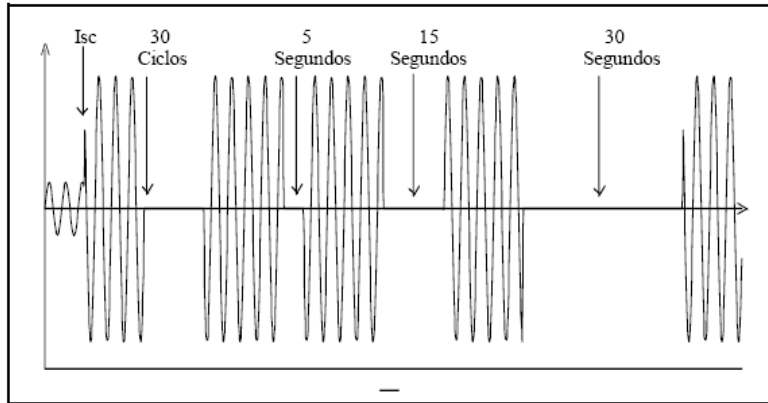


Gráfico 6 Sequência de manobras de proteção
Fonte: IEEE (1995).

Assim, a maior parte dos consumidores (principalmente os residenciais) não sentirá os efeitos da interrupção. Porém, algumas cargas mais sensíveis (ex: computadores e outras cargas eletrônicas) estarão sujeitas a tais efeitos, a menos que a instalação seja dotada de unidades UPS (no-breaks), que evitarão maiores consequências na operação destes equipamentos.

O Gráfico 7 mostra uma interrupção de dois segundos causada por um curto-circuito fase terra e na sequência o religador (sistema automático de religamento) atuou.

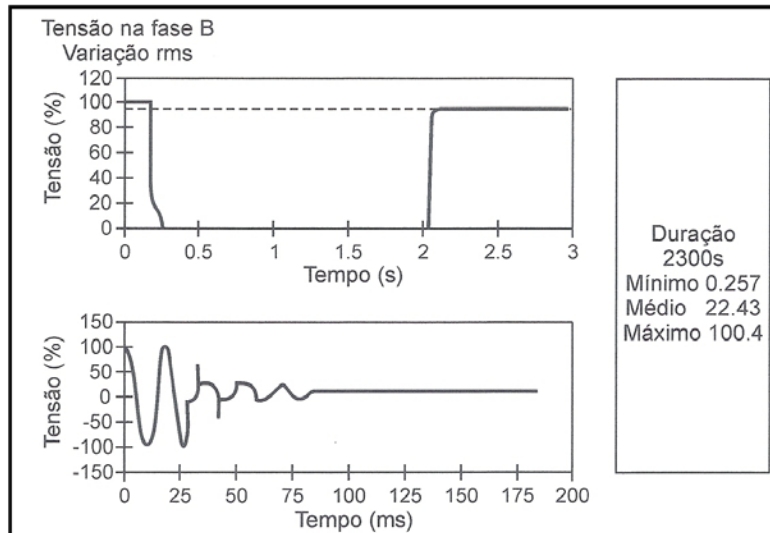


Gráfico 7 Representação de interrupção momentânea

Alguns dados estatísticos revelam que 75% das faltas em redes aéreas são de natureza temporária (OLESKOVICZ, 2005). No passado, este percentual não era considerado preocupante. Entretanto, com o crescente emprego de cargas eletrônicas, como inversores, computadores, etc., este número passou a ser relevante nos estudos de otimização do sistema, pois, é agora tido como responsável pela saída de operação de diversos equipamentos, interrompendo o processo produtivo, causando prejuízos significativos para as indústrias.

2.2.4 Sobretensões

A sobretensão de curta duração ou "swell" é definida como um aumento entre 1,1 e 1,8 pu na tensão eficaz, na frequência da rede, com duração entre 0,5 ciclo a 1 minuto. Os "swells" estão geralmente associados com condições de falta no sistema.

O Gráfico 8 mostra as elevações de tensão que podem ocorrer por falta nos sistemas de distribuição, mas também ocorrem quando cargas de potência elevada são desligadas bruscamente, ou mesmo banco de capacitores que são desenergizados e se tornam uma fonte de energia momentânea para a rede. Descargas atmosféricas induzidas também podem gerar uma elevação de tensão.

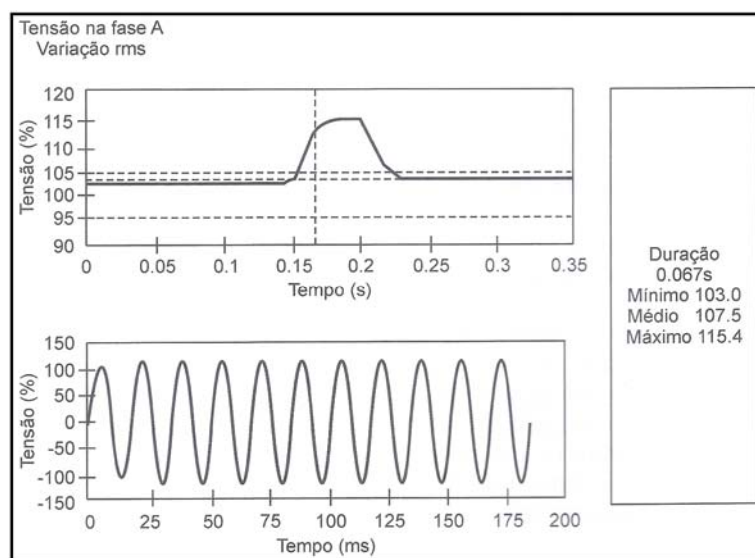


Gráfico 8 Representação da elevação de tensão devido a uma falta fase-terra
Fonte: Martinho (2009).

Esse fenômeno pode também estar associado à saída de grandes blocos de cargas ou à energização de grandes bancos de capacitores, porém, com uma incidência pequena se comparada com as sobretensões provenientes de faltas fase-terra nas redes de transmissão e distribuição.

As sobretensões de curta duração são caracterizadas pelas suas magnitudes (valores eficazes) e suas durações. A severidade de um "swell" durante uma condição de falta é função do local da falta, da impedância do

sistema e do aterramento. Sua duração está intimamente ligada aos ajustes dos dispositivos de proteção, à natureza da falta (permanente ou temporária) e à sua localização na rede elétrica.

Como consequência das sobretensões de curta duração em equipamentos podem-se citar falhas dos componentes, dependendo da frequência de ocorrência do distúrbio. Dispositivos eletrônicos incluindo ASD's (Adjustable Speed Driver), computadores e controladores eletrônicos podem apresentar falhas imediatas durante estas condições. Transformadores, cabos, barramentos, dispositivos de chaveamento, TPs, TCs e máquinas rotativas podem ter a vida útil reduzida. Um aumento de curta duração na tensão em alguns relés pode resultar em má operação, enquanto outros podem não ser afetados. Um "swell" em um banco de capacitores pode, frequentemente, causar danos no equipamento.

Dentro do exposto, a preocupação principal recai sobre os equipamentos eletrônicos, principalmente nos que são fabricados com microprocessadores e microcontroladores. A Associação de Fabricantes de Computadores (CBEMA – Computer and Business Equipment Manufacturers' Association) desenvolveu um estudo e definiu as tolerâncias mínimas de variação de tensão que computadores devem suportar sem o risco de perda de dados e mal funcionamento, conforme o Gráfico 9.

Observa-se que a curva CBEMA, como é conhecido este gráfico, define valores de variação de tensão para mais ou para menos em função do tempo em que ocorre. É fato que quanto menor o tempo da variação, maior a chance de os equipamentos não serem afetados.

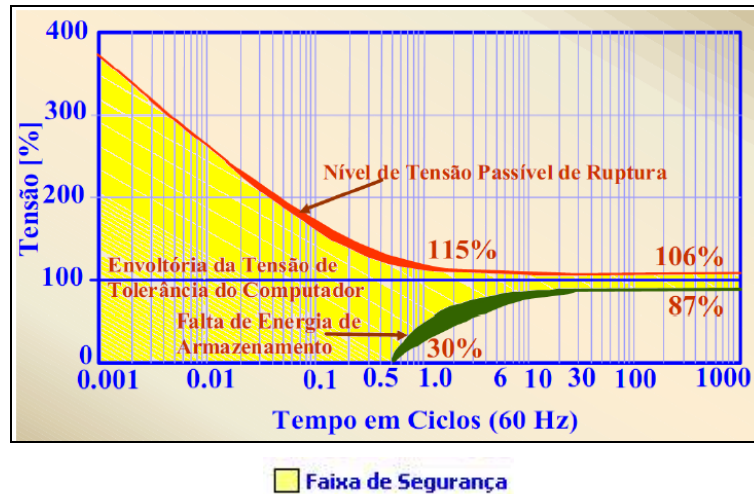


Gráfico 9 Tolerâncias típicas de microcomputadores às variações de tensão (curva CBEMA)
 Fonte: Martinho (2009).

Diante de tais problemas causados por sobretensões de curta duração, este item de qualidade sugere que seja mantida uma atenção por parte de consumidores, fabricantes e concessionárias, no intuito de eliminar ou reduzir as consequências oriundas deste fenômeno.

2.2.5 Desequilíbrios de tensão e corrente

Os desequilíbrios podem ser definidos como o desvio máximo da média das correntes ou tensões trifásicas, dividido pela média das correntes ou tensões trifásicas, expressado em percentual.

$$deseq(\%) = \frac{\text{máximo desvio da média de } \{V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}\}}{\text{média de } \{V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}\}} \times 100\% \quad (1)$$

As origens desses desequilíbrios estão geralmente nos sistemas de distribuição, pela utilização de cargas monofásicas distribuídas inadequadamente, fazendo surgir no circuito tensões de sequência negativa. Esse problema se agrava quando consumidores alimentados de forma trifásica possuem uma má distribuição de carga em seus circuitos internos, impondo correntes desequilibradas no circuito da concessionária.

Tais fatores afetam a qualidade de energia e alguns consumidores sofrem com desequilíbrios na energia fornecida pela concessionária, a qual se manifesta sob três formas distintas:

- a) Amplitudes diferentes;
- b) Assimetria nas fases;
- c) Assimetria conjunta de amplitudes e fases.

De acordo com Oleskovicz (2005), apenas a primeira é frequentemente evidenciada no sistema elétrico. Esses desequilíbrios de tensão podem apresentar problemas indesejáveis na operação de equipamentos, dentre os quais se destacam:

Motores de Indução: Para as análises dos efeitos de tensões desequilibradas aplicadas a um motor de indução, consideram-se somente os efeitos produzidos pelas tensões de sequência negativa, que somados aos resultados da tensão de sequência positiva resultam num conjugado pulsante no eixo da máquina, conforme apresentado no Gráfico 11, e no sobreaquecimento da máquina. Como consequência direta desta elevação de temperatura tem-se a redução da expectativa de vida útil dos motores, visto que o material isolante sofre uma deterioração mais acentuada na presença de elevadas temperaturas nos enrolamentos.

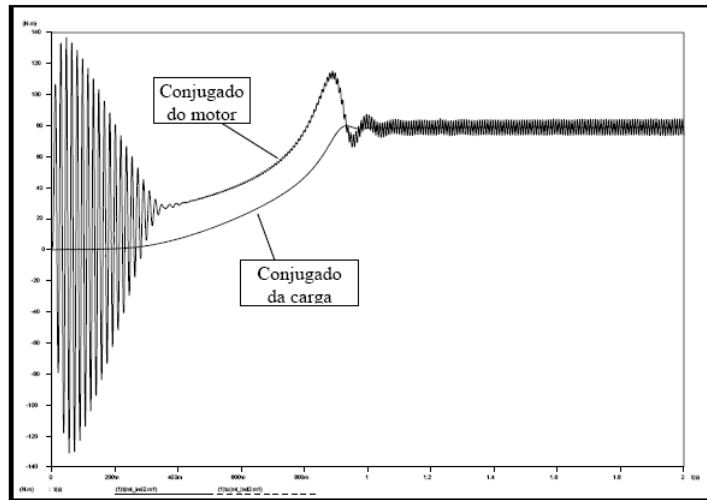


Gráfico 10 Resposta do motor à alimentação desequilibrada

Máquinas síncronas: Como no caso anterior, a corrente de sequência negativa fluindo através do estator de uma máquina síncrona cria um campo magnético girante com velocidade igual a do rotor, porém, no sentido contrário ao de rotação definido pela sequência positiva. Consequentemente, as tensões e correntes induzidas nos enrolamentos de campo, de amortecimento e na superfície do ferro do rotor terão uma frequência igual a duas vezes a da rede, aumentando significativamente as perdas no rotor.

Retificadores: Uma ponte retificadora CA/CC, controlada ou não, injeta na rede CA, quando esta opera sob condições nominais, correntes harmônicas características (de ordem 5, 7, 11, 13, etc.). Entretanto, quando o sistema supridor encontra-se desequilibrado, os retificadores passam a gerar, além das correntes harmônicas características, o terceiro harmônico e seus múltiplos. A presença do terceiro harmônico e seus múltiplos no sistema elétrico é extremamente indesejável, pois possibilita a manifestação de ressonâncias não previstas, causando danos a uma série de equipamentos.

2.2.6 Distorções na forma de onda

A distorção da forma de onda é definida como um desvio, em regime permanente, da forma de onda puramente senoidal, na frequência fundamental, e é caracterizada principalmente pelo seu conteúdo espectral (DUGAN et al., 2003). Existem cinco tipos principais de distorções da forma de onda:

Harmônicos: tensões ou correntes senoidais de frequências múltiplas inteiras da frequência fundamental (50 ou 60 Hz) na qual opera o sistema de energia elétrica. Estes harmônicos distorcem as formas de onda da tensão e corrente e são oriundos de equipamentos e cargas com características não lineares instalados no sistema de energia (IEEE, 1995).

Inter-harmônicos: componentes de frequência, em tensão ou corrente, que não são múltiplos inteiros da frequência fundamental do sistema supridor (50 ou 60Hz). Elas podem aparecer como frequências discretas ou como uma larga faixa espectral. Os inter-harmônicos podem ser encontrados em redes de diferentes classes de tensão. As suas principais fontes são conversores estáticos de potência, ciclo conversores, motores de indução e equipamentos a arco. Sinais "carrier" em linhas de potência também podem ser considerados como inter-harmônicos. Os efeitos deste fenômeno não são bem conhecidos, mas admite-se que os mesmos podem afetar a transmissão de sinais "carrier" e induzir "flicker" visual no display de equipamentos como tubos de raios catódicos. O efeito "flicker" está representado na Figura 2, e pode ser notado pela sensação visual de que a luminosidade das lâmpadas varia no tempo. Esse efeito é também conhecido como cintilação.

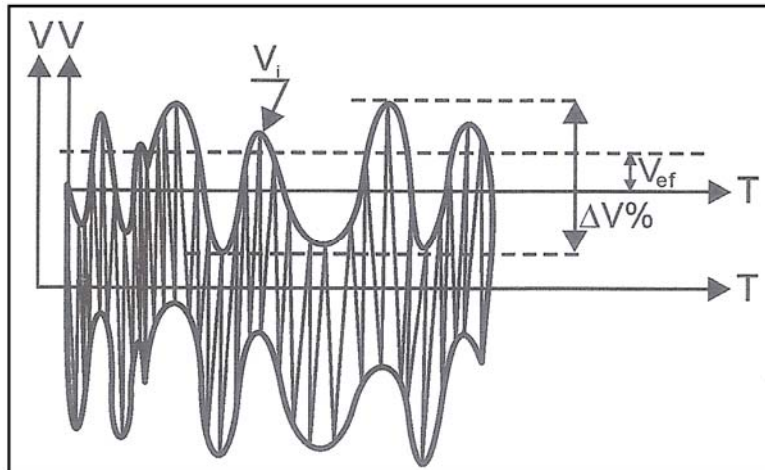


Figura 2 Representação gráfica do fenômeno Flicker
 Fonte: Martinho (2009).

Nível CC: a presença de tensão ou corrente CC em um sistema elétrico CA é denominado "DC offset". Este fenômeno pode ocorrer como o resultado da operação ideal de retificadores de meia-onda. O nível CC em redes de corrente alternada pode levar à saturação de transformadores, resultando em perdas adicionais e redução da vida útil.

"Notching": distúrbio de tensão causado pela operação normal de equipamentos de eletrônica de potência quando a corrente é comutada de uma fase para outra. Este fenômeno pode ser detectado através do conteúdo harmônico da tensão afetada. As componentes de frequência associadas com os "notchings" são de alto valor e, desta forma, não podem ser medidas pelos equipamentos normalmente utilizados para análise harmônica. O efeito "notching" pode ser também definido como microvariações que ocorrem durante uma senoide, como podemos ver na Figura 3.

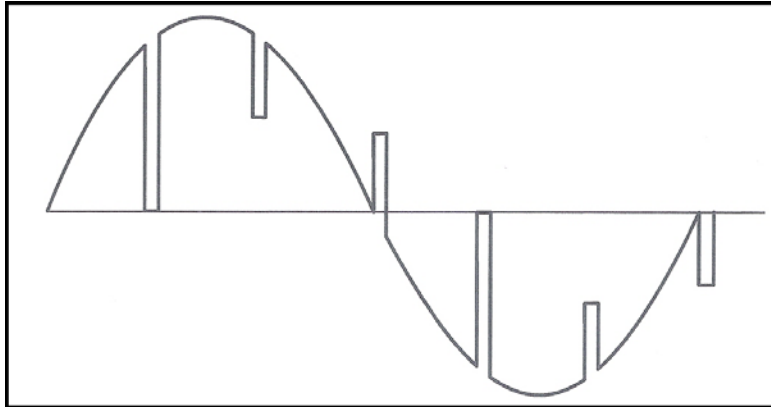


Figura 3 Notching – microcortes
Fonte: Martinho (2009).

Ruídos: é definido como um sinal elétrico indesejado, contendo uma larga faixa espectral com frequências menores que 200 kHz, as quais são superpostas às tensões ou correntes de fase, ou encontradas em condutores de neutro. Os ruídos em sistemas de potência podem ser causados por equipamentos eletrônicos de potência, circuitos de controle, equipamentos a arco, retificadores em estado sólido e fontes chaveadas e, normalmente, estão relacionados com aterramentos impróprios. O Gráfico 12 apresenta uma forma de onda com ruídos originados provavelmente por equipamentos de radiofrequência.

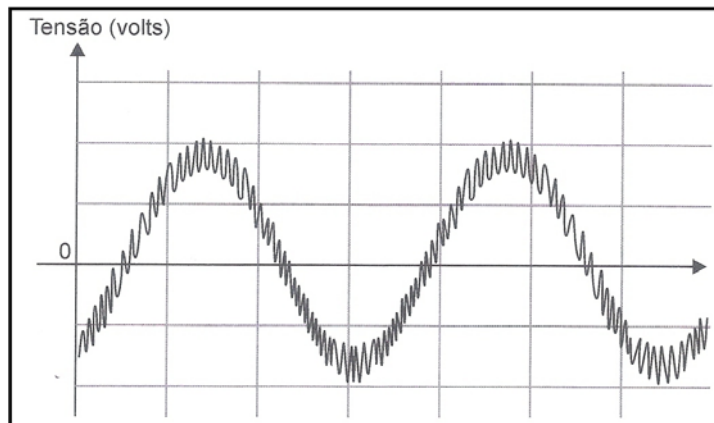


Gráfico 11 Representação de ruído originado provavelmente por equipamentos de radiofrequência

[G1] Comentário: Figura 4 e não gráfico

2.2.7 Distorções harmônicas

Tecnicamente, uma harmônica é a componente de uma onda periódica cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental (no caso da energia elétrica, de 60 Hz).

Quase todos os equipamentos eletrônicos com alimentação monofásica ou trifásica incorporam um circuito retificador à sua entrada, seguido de um conversor comutado do tipo **cc-cc** ou **cc-ca**. Um dos tipos de retificadores mais utilizados em equipamentos de baixa potência é o retificador monofásico de onda completa com filtro capacitivo, que possui uma corrente de entrada altamente distorcida. O elevado conteúdo harmônico da corrente distorce a tensão de alimentação devido à queda de tensão na impedância das linhas.

[G2] Comentário: CC-CC ou CC-CA maiúsculo

As distorções harmônicas vêm contra os objetivos da qualidade do suprimento promovido por uma concessionária de energia elétrica, a qual deve fornecer aos seus consumidores uma tensão puramente senoidal, com amplitude e frequência constantes. Entretanto, o fornecimento de energia a determinados

consumidores que causam deformações no sistema supridor, prejudica não apenas o consumidor responsável pelo distúrbio, mas também outros conectados à mesma rede elétrica.

No passado não havia maiores preocupações com harmônicos. Cargas com características não lineares eram pouco utilizadas e os equipamentos eram mais resistentes aos efeitos provocados por harmônicas. Entretanto, nos últimos anos, com o rápido desenvolvimento da eletrônica de potência, e a utilização de métodos que buscam o uso mais racional da energia elétrica, o conteúdo harmônico presente nos sistemas tem-se elevado, causando uma série de efeitos indesejáveis em diversos equipamentos, comprometendo a qualidade e o próprio uso racional da energia elétrica (OLESKOVICZ, 2005). A representação no Gráfico 12 mostra a distorção causada pela presença da 5ª harmônica.

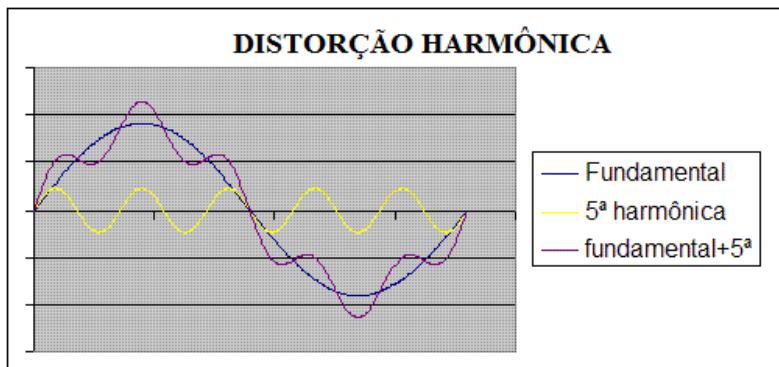


Gráfico 12 Exemplos de distorção pela 5ª harmônia

O somatório dos sinais de 60Hz com vários sinais senoidal de ordem superior é mostrado no Gráfico 13.

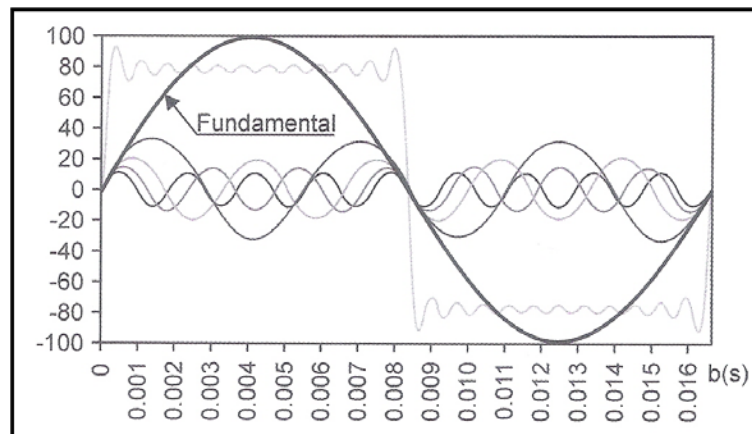


Gráfico 13 Deformação de um sinal senoidal fundamental pela presença de várias senoides de ordem superior

Os controladores de fase, muito utilizados para controlar a potência em sistemas de aquecimento e ajustar a intensidade luminosa de lâmpadas (dimmers), também produzem formas de onda com conteúdo harmônico substancial e interferência eletromagnética de alta frequência. Mesmo as lâmpadas fluorescentes normais contribuem significativamente para os harmônicos na rede, devido ao comportamento não linear das descargas em meio gasoso e ao circuito magnético do balastro, que pode operar na região de saturação.

As cargas elétricas com características não lineares que têm sido implantadas em grande quantidade no sistema elétrico brasileiro e que são geradoras de harmônicos são:

- a) circuitos de iluminação com lâmpadas de descarga;
- b) fornos a arco;

- c) compensadores estáticos tipo reator saturado, etc.
- d) motores de corrente contínua controlados por retificadores;
- e) motores de indução controlados por inversores com comutação forçada;
- f) processos de eletrólise através de retificadores não-controlados;
- g) motores síncronos controlados por cicloconversores;
- h) fornos de indução de alta frequência, etc.
- i) fornos de indução controlados por reatores saturados;
- j) cargas de aquecimento controladas por tiristores;
- k) velocidade dos motores CA controlados por tensão de estator;
- l) reguladores de tensão a núcleo saturado;
- m) fontes chaveadas de computadores;
- n) eletrodomésticos com fontes chaveadas, etc.

De acordo com Oleskovicz (2005), os prejuízos de maior importância são a perda de produtividade e de vendas, devido a paradas de produção causadas por falhas inesperadas em motores, acionamentos, fontes ou simplesmente o "repicar" de disjuntores, e especificamente:

- a) Capacitores: queima de fusíveis e redução da vida útil.
- b) Motores: redução da vida útil e impossibilidade de atingir potência máxima.
- c) Fusíveis e disjuntores: operação indevida e componentes danificados.
- d) Transformadores: aumento de perdas, causando redução de capacidade e diminuição da vida útil.
- e) Medidores: possibilidade de medições errôneas e de maiores contas.
- f) Telefones: interferências.
- g) Máquinas síncronas: sobreaquecimento das sapatas polares, causado

pela circulação de correntes harmônicas nos enrolamentos amortecedores.

- h) Acionamentos/fontes: operações errôneas devido a múltiplas passagens por zero e falha na comutação de circuitos.
- i) Carregamento exagerado do circuito de neutro, principalmente em instalações que agregam muitos aparelhos eletrônicos e possuem malhas de terra mal projetadas.

Entretanto, os principais problemas causados por harmônicos, ocorrem nos bancos de capacitores, que podem originar condições de ressonância, caracterizando uma sobretensão nos terminais das unidades capacitivas. Em decorrência desta sobretensão tem-se uma degradação do isolamento das unidades capacitivas e, em casos extremos, uma completa danificação dos capacitores. Além disso, consumidores conectados no mesmo ponto ficam submetidos a tensões perigosas, mesmo não sendo portadores de cargas poluidoras em sua instalação. Mesmo sem uma condição de ressonância, um capacitor é sempre um caminho de baixa impedância para as correntes harmônicas, e sempre estará sujeito a sobrecarga e sobreaquecimento excessivo.

Segundo Franco (2009), a tabela 1 mostra um resumo dos distúrbios, causas, efeitos e soluções que afetam a qualidade da energia elétrica.

Tabela 1 Resumo: causas, efeitos e soluções

DISTÚRBIO	DESCRIÇÃO	CAUSAS	EFEITOS
Interrupções	Interrupção total da alimentação elétrica	Curto-circuitos, descargas atmosféricas, e outros acidentes que exijam manobras precisas de fusíveis, disjuntores, etc.	Queda do sistema Danificação de componentes Perda de produção
Transientes	Distúrbio na curva senoidal, resultando em rápido e agudo aumento de tensão.	Descargas atmosféricas Manobras da concessionária Manobras de grandes cargas e bancos de capacitores	Travamento, perda de memória e erros de processamento. Queima de placas eletrônicas, danificação de materiais de isolamento e de equipamentos.
Sag / Swell	Subtensões (sags) ou sobretensões (swells) curtas (meio ciclo até 3 segundos) Sags respondem por cerca de 87% de todos os distúrbios elétricos	Queda/Partida de grandes equipamentos Curto-circuitos Falha em equipamentos ou manobras da concessionária	Perda de dados e erros de processamento Desligamento de equipamentos Oscilações em motores com redução de vida útil
Ruídos	Sinal indesejado de alta frequência que altera o padrão normal de tensão (onda senoidal)	Interferência de estações de rádio e TV Operação de equipamentos eletrônicos	Travamentos, perda de dados e erros de processamento. Recepções distorcidas (áudio e vídeo)

“ Tabela 1, conclusão”

Harmônicos	Alteração do padrão normal de tensão (onda senoidal), causada por frequências múltiplas da fundamental (50-60Hz).	UPS, Reatores eletrônicos, inversores de frequência, retificadores e outras cargas não-lineares.	Sobreaquecimento de cabos e equipamentos Diminuição da performance de motores Operação errônea de disjuntores, relés e fusíveis.
Variações de Tensão de Longa Duração	Variações de tensão com duração acima de 1 minuto	Equipamentos e fiação sobrecarregados Utilização imprópria de transformadores Fiação subdimensionada ou conexões mal feitas	Desligamento de equipamentos Sobreaquecimento de motores e lâmpadas Redução de vida útil ou de eficiência dos equipamentos

2.3 Normalização

Estima-se que em países industrializados cerca de 50 a 60% (AFONSO; SILVA; MARTINS, 2001) de toda a potência elétrica flui através de qualquer equipamento de eletrônica de potência, originando por isso eventuais problemas de qualidade de energia elétrica. Esta percentagem está em constante crescimento. Na Suíça, por exemplo, o conteúdo harmônico nos sistemas de distribuição em baixa tensão subiu de 3,6% no ano de 1971 (AFONSO; SILVA; MARTINS, 2001) para 4,7% em 1991. Para reduzir os efeitos indesejáveis da poluição eletromagnética, organizações como a CEI – Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC – International Electrotechnical Commission) e o IEEE – Instituto dos Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrônicos - têm elaborado normas visando limitar o conteúdo harmônico nos sistemas elétricos. Ao mesmo tempo, fabricantes e utilizadores de equipamentos de eletrônica de potência têm procurado desenvolver soluções para os problemas existentes.

No âmbito da Comunidade Europeia, no sentido da harmonização da legislação sem a qual ficaria afetada a livre troca de bens e serviços, várias diretivas foram publicadas tendentes a eliminar as diferenças na legislação dos diferentes estados. Uma dessas é a Diretiva de Conselho n.º 85/374 sobre responsabilidade por produtos defeituosos. O seu Art. 2º define a eletricidade como um produto (“commodities”), e como tal tornou-se necessário definir as suas características, o que originou a Norma Europeia EN 50160.

2.3.1 Norma NE/EN 50160

Características da Tensão Fornecida pelas Redes Públicas de Distribuição – esta norma, publicada pelo CÉNÉLEC (Comité Européen de Normalização Electrotécnica), define, no ponto de fornecimento ao consumidor

(PCC – point of common coupling), as características principais da tensão para as redes públicas de abastecimento de energia em baixa e média tensão, tais como: frequência, amplitude, forma de onda, cavas de tensão, sobretensões, harmônicos e inter-harmônicos de tensão, simetria das tensões trifásicas, transmissão de sinais de informação pelas redes de energia (CENELEC, 1994).

Para as redes de baixa-tensão (BT), relativamente aos harmônicos de tensão, nas conduções normais de exploração, durante o período de uma semana, 95% dos valores eficazes de cada harmônico de tensão (valores médios em cada 10 minutos), não devem ultrapassar os valores indicados na tabela 2.

Tabela 2 Valores eficazes de cada harmônico de tensão

Tensão nominal no PAC (Un)	Distorção harmônica individual (%)	Distorção harmônica total (%)
Un ≤ 69 kV	3,0	5,0
69kV < Un ≤ 161 kV	1,5	2,5
Un > 161 kV	1,0	1,5

Além disso, esta norma especifica que a taxa de distorção harmônica total da tensão fornecida (tendo em conta os primeiros 40 harmônicos) não deverá ultrapassar 8%.

Para as redes de média tensão aplica-se a mesma tabela, observando-se que o valor do terceiro harmônico, dependendo da concepção da rede, pode ser muito mais baixo.

2.3.2 Norma CEI/IEC 61000

A série 61000 de normas CEI (Comissão Eletrotécnica Internacional) - CEI/IEC 61000-2-1 (CEI, 1990a) diz respeito à compatibilidade eletromagnética e compreende as seguintes partes:

Generalidades: considerações gerais, definições, terminologia etc. (61000-1-x);

Ambiente: descrição do ambiente, características do ambiente onde vai ser instalado o equipamento, níveis de compatibilidade (61000-2-x);

Limites: limites de emissão, definindo os níveis de perturbação permitidos pelos equipamentos ligados à rede de energia elétrica, limites de imunidade (61000-3-x);

Ensaio e medidas: técnicas de medida e técnicas de ensaio de modo a assegurar a conformidade com as outras partes da norma (61000-4-x);

Guias de instalação e de atenuação: providencia guias para a aplicação em equipamentos, tais como filtros, equipamentos de compensação, descarregadores de sobretensões etc., para resolver problemas de qualidade da energia (61000-5-x).

Normas gerais e de produto: definem os níveis de imunidade requeridos pelos equipamentos em geral ou para tipos específicos de equipamentos (61000-6-x).

Os níveis de compatibilidade eletromagnética são especificados de acordo com o vocabulário eletrotécnico internacional, CEI 60050(161) VEI.

Define-se:

Nível de emissão: nível máximo permitido para um consumidor de uma rede pública ou para um aparelho.

Nível de compatibilidade: nível máximo especificado de perturbação que se pode esperar em um determinado ambiente.

Nível de imunidade: nível de perturbação suportado por um aparelho ou sistema.

Nível de susceptibilidade: nível a partir do qual um aparelho ou sistema começa a funcionar deficientemente.

Por sua vez a norma CEI 61000-2-4 (CEI, 1994) estabelece os níveis de compatibilidade para redes industriais. Definem-se três classes com exigências de compatibilidade diferentes em função dos ambientes eletromagnéticos possíveis:

Classe 1: aplica-se a redes protegidas e tem níveis de compatibilidade mais baixos do que os das redes públicas. Diz respeito à utilização de aparelhos muito sensíveis às perturbações da rede elétrica como, por exemplo: instrumentação de laboratórios tecnológicos, certos equipamentos de automação e de proteção, certos computadores etc.

Classe 2: esta classe aplica-se aos PAC (Ponto de Acoplamento Comum à rede pública) e aos pontos de ligação interna nos ambientes industriais em geral. Os níveis de compatibilidade desta classe são idênticos aos das redes públicas, aos quais os equipamentos destinados à utilização nestas redes podem ser usados nesta classe de ambiente industrial.

Classe 3: esta classe aplica-se somente aos pontos de ligação interna dos ambientes industriais. Os níveis de compatibilidade são superiores aos da classe 2 para certas perturbações. Esta classe deve ser considerada, por exemplo, quando uma das seguintes condições é satisfeita: a maior parte das cargas é alimentada através de conversores e existem máquinas de soldar; ocorrem arranques (partidas) frequentes de motores de grande potência; as cargas variam rapidamente.

2.3.3 Norma ANSI/IEEE 519 – 1992

De acordo com esta norma, as empresas distribuidoras são responsáveis pela manutenção da qualidade da tensão em todos os seus sistemas (IEEE, 1992). A norma estipula os limites de distorção para os diferentes níveis de tensão, a observar nas redes elétricas, como apresentado na tabela 2.

2.4 Monitoramento da qualidade da energia elétrica

A utilização de monitores de qualidade de energia é a melhor forma de detectar e diagnosticar problemas nos sistemas elétricos de potência. Estes equipamentos permitem, basicamente, medir e registrar ao longo do tempo valores de tensões, correntes e potências em vários canais. Com base na informação que vai sendo recolhida é possível gerar alarmes (eventualmente em tempo real) e produzir relatórios de diversos tipos, selecionando aplicações tais como:

Aplicação “Osciloscópio e Distorção Harmônica”: O equipamento funciona como um osciloscópio de vários canais e permite ainda calcular valores médios, “true rms”, máximos e mínimos, de tensões e correntes. Pode ainda identificar os harmônicos e calcular os valores do conteúdo harmônico total (THD – “Total Harmonic Distortion”).

Aplicação “Forma de Onda”: Permite detectar anomalias nas formas de onda das tensões, armazenando esses eventos juntamente com o instante da ocorrência.

Aplicação “Sobretensões e Subtensões Momentâneas”: Detecta e registra estes fenômenos, juntamente com o instante em que ocorrem e a sua duração.

Aplicação “Grandezas Clássicas”: Permite o cálculo de valores de amplitude e fase de tensões e correntes; impedâncias; potências aparente, ativa e reativa; fator de potência; medidas de energia e valores relativos a desequilíbrios de fases etc.

No mercado existe um leque bastante variado de equipamentos para monitorar a qualidade de energia elétrica. Contudo, estes equipamentos são normalmente muito caros, sobretudo os que apresentam bom desempenho e

múltiplas funções. Por essa razão, atualmente é ainda interessante desenvolver sistemas de monitoração virtuais baseados na utilização de PCs, placas de aquisição de dados standard e ferramentas de desenvolvimento do tipo LabView, uma vez que é possível conseguir soluções com características interessantes e custos baixos significativos.

2.5 Soluções para os problemas de qualidade de energia elétrica

A solução para os problemas tradicionais de qualidade de energia elétrica (excetuando as interrupções de serviço prolongadas) passa pela utilização de alguns dos seguintes condicionadores de rede elétrica:

- a) Os varistores (TVSS – Transient Voltage Surge Suppressors) garantem proteção contra os picos de tensão nas linhas;
- b) Os filtros de interferência eletromagnética ajudam a prevenir o problema dos microcortes de tensão e garantem que o equipamento poluidor não conduz ruído de alta frequência para a rede elétrica;
- c) Os transformadores de isolamento com blindagens eletrostáticas garantem não só isolamento galvânico, como também evitam picos de tensão de modo comum ou entre linhas;
- d) Os transformadores ferro-ressonantes asseguram a regulação de tensão bem como a filtragem de picos de tensão entre linhas;
- e) A regulação de tensão pode também ser garantida por meio de transformadores com várias saídas, associados a um esquema eletrônico de comutação por meio de triacs e tiristores, montados em antiparalelo.

3 METODOLOGIA

A proposta deste trabalho foi monitoramento do consumo, gerenciamento de demanda e avaliação dos parâmetros da qualidade de energia elétrica no campus da Universidade Federal de Lavras.

Os equipamentos utilizados foram o analisador de qualidade de energia elétrica da marca Fluke modelo 435, e o medidor de energia elétrica Spectrum SX de fabricação da NANSEN. Este tipo de equipamento é uma evolução da linha de medidores eletrônicos, concebidos para atender as concessionárias de energia elétrica em leituras de alta performance. São medidores com capacidade de integrar a sistemas automáticos de leitura, local ou remoto, o faturamento de energia ativa e reativa, com opções de tarifação diferenciada. As informações apresentadas em seu display são: Data, Hora, Energia ativa total, Energia ativa ponta (A), Energia ativa fora ponta (B), Energia ativa reservado (C), Energia reativa indutiva total, Energia reativa indutiva ponta (A), Energia reativa indutiva fora ponta (B), Energia reativa indutiva reservado (C), Energia reativa capacitiva total, Energia reativa capacitiva ponta (A), Energia reativa capacitiva fora ponta (B), Energia reativa capacitiva reservado (C), UFER total (quantidade energia correspondente ao reativo excedente), UFER ponta (A), UFER fora ponta (B), UFER reservado (C), além de número de série e do teste do display. E as conectividades possíveis são: Porta ótica padrão ABNT disponível no modelo ART, Porta ótica estendida padrão ABNT disponível no modelo ART, Saída RS 232 protocolo multiponto/monoponto, Saída RS 485, Saída de pulsos: Serial mista ou KY, Memória de massa com até 12 canais e autonomia de até 37 dias (NANSEN, 2008).

Segundo o manual do medidor Spectrum SX, a fórmula que define o “Tempo Total da Memória de Massa” é:

$$Tempo_Total_Memmas = 221.076x \frac{Int_Memmas}{NCanais} \quad (2)$$

em que:

Int_Memmas é o intervalo de memória de massa

Ncanais é o número de canais programados.

Não foi possível trabalhar com intervalo de memória de massa menor que quinze minutos.

A coleta dos dados foi efetuada utilizando-se um notebook e um adaptador ótico, seguindo instruções do suporte técnico do fabricante.

Foram instalados medidores específicos em dez locais estratégicos para o desenvolvimento deste trabalho, sendo:

- 1) Dois no Departamento de Ciência da Computação (DCC);
- 2) Um no Restaurante Universitário (RU);
- 3) Um no Departamento de Administração e Economia (DAE);
- 4) Um no Centro de Informática da UFLA (CINUFLA);
- 5) Um na Cantina Central;
- 6) Um no Departamento de Ciências Exatas (DEX);
- 7) Um no Departamento de Medicina Veterinária (DMV);
- 8) Um na Biblioteca Central;
- 9) Um na EPAMIG – CTSM ECO CENTRO.

Destes dez pontos de medição, cinco foram analisados e selecionados para este estudo, quais sejam:

- a) Departamento de Ciência da Computação – pavimento térreo, (cargas não lineares);
- b) Restaurante Universitário, (instalações novas);

- c) Centro de Informática da UFLA, (harmônicas);
- d) Cantina Central, (setor de alimentação);
- e) Departamento de Ciências Exatas, (salas de aulas e laboratórios).

O intervalo de memória de massa representativo foi padronizado em quinze minutos assim como o intervalo de demanda, que é o padrão adotado nos medidores das concessionárias de energia elétrica.

Por ser a Universidade um consumidor atípico, ficou definido que os dias mais representativos seriam as terças e quintas-feiras, já que nas segundas e sextas-feiras tem alunos chegando e saindo de suas cidades de origem e na quarta-feira após as doze horas é definido no calendário escolar como dia de reuniões.

Os dias de maior atividade acadêmica, e portanto de maior consumo, ficaram definidos como terças e quintas-feiras, o que daria maior representatividade do demanda real a ser estudada, com exceção do Centro de Informática que tem uma atividade diferenciada do mundo acadêmico.

O critério de análise adotado foi o setorial, onde foi analisada em cada ponto de medição a comparação de grandezas ao longo do tempo em diferentes dias, com o objetivo de analisar diferenças, implicações e possíveis soluções que visem contribuir para a melhoria na qualidade de energia elétrica, assim como reduzir as perdas técnicas.

A metodologia adotada para a validação das leituras dos medidores de energia elétrica spectrum SX de fabricação da Nansen S. A. foi a de comparar com as medidas lidas em quatro multímetros, da marca Minipa modelo 3170, o que levou a valores bem próximos e valida as medições feitas até então.

Com o uso do analisador de qualidade de energia elétrica da marca Fluke, modelo 435, foi possível obter as distorções harmônicas no Centro de Informática da Universidade Federal de Lavras.

Diante do exposto, passa-se a apresentar os dados coletados durante este estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados registrados nos medidores de energia elétrica spectrum SX foram descarregados via software DRACO e exportados para o Excel, gerando os gráficos das grandezas monitoradas.

Uma vez que a quantidade de dados é muito grande, demandando um volume exagerado de papel, os resultados serão apresentados de forma compacta, referenciados aos anexos, pois o comportamento é semelhante em todos os locais analisados. Entretanto, para as correntes e potências o mesmo não foi observado, sendo cada local diferenciado, o que nos obriga a apresentar e comentar os resultados de forma individualizada, mas para dois dias representativos.

Foi selecionado um local específico, o Restaurante Universitário para a apresentação integral dos dados, por se tratar de uma instalação recente, em que se espera estar adequada.

4.1 Metodologia para validação dos medidores de energia elétrica

O procedimento adotado para validar os medidores foi realizado com o uso de quatro multímetros da marca Minipa modelo ET-3170, que realiza medidas de tensão e corrente AC True RMS. Foram selecionados três setores da Universidade Federal de Lavras: o Restaurante Universitário, o Centro de Informática e a Cantina Central. Foram coletadas as correntes nas três fases e a tensão na fase “A”, durante o intervalo de memória de massa do medidor de energia Nansen modelo Spectrum SX, e feita a comparação entre os mesmos.

4.1.1 Valores comparados no Restaurante Universitário

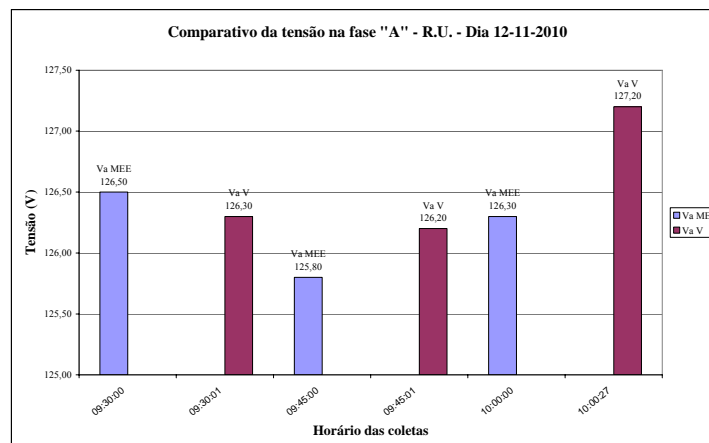


Gráfico 14 Comparativo da tensão na fase “A” - RU (12/11/10)

O medidor de energia spectrum SX produzido pela Nansen S. A. fornece a tensão na fase “A”, denominada no gráfico acima de Va (MEE). As tensões obtidas pelo multímetro da marca Minipa modelo ET-3170 foi denominada de Va V, referente à fase “A”.

O Gráfico 14 mostra que a média das medidas de tensão comparadas entre os dois medidores apresentaram uma discrepância máxima de 0,71% (0,90 volts).

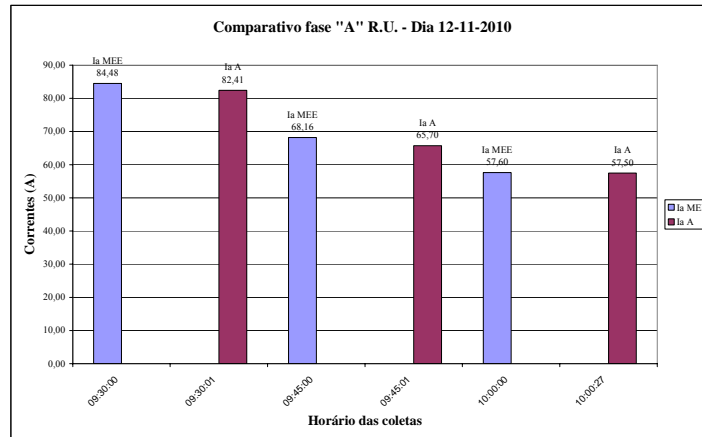


Gráfico 15 Comparativo das correntes na fase “A” - RU (12/11/10)

O medidor de energia spectrum SX produzido pela Nansen S. A. fornece as correntes nas fases “A”, “B” e “C” denominada nos gráficos de Ia (MEE), Ib (MEE) e Ic (MEE). As correntes obtidas pelos multímetros da marca Minipa modelo ET-3170 foram denominadas de Ia A, Ib A e Ic A, referentes respectivamente às fases “A”, “B” e “C”.

Conforme mostra o Gráfico 15, a média das medidas de corrente na fase “A”, comparadas entre os dois medidores apresentaram uma discrepância máxima de 3,61% (2,46 Ampères).

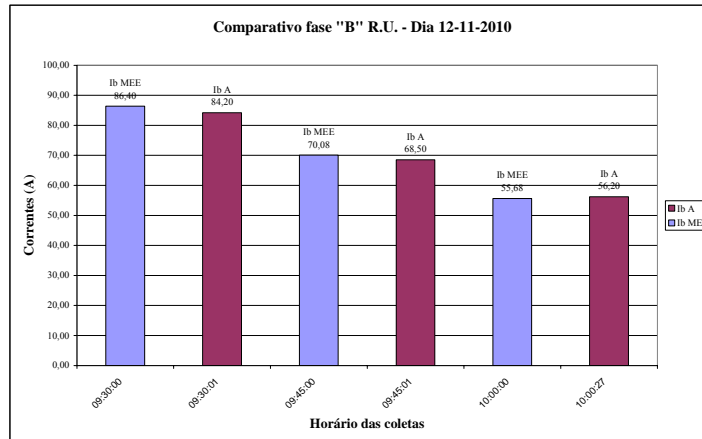


Gráfico 16 Comparativo das correntes na fase “B” - RU (12/11/10)

A média das medidas de corrente na fase “B”, comparadas entre os dois medidores apresentaram uma discrepância máxima de 2,25 % (1,58 Ampères), como mostra o Gráfico 16.

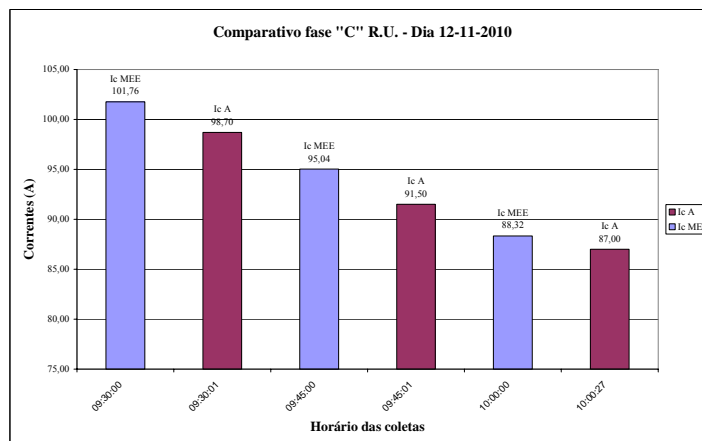


Gráfico 17 Comparativo das correntes na fase “C” - RU (12/11/10)

O Gráfico 17 mostra que a média das medidas de corrente na fase “C”, comparadas entre os dois medidores apresentaram uma discrepância máxima de 3,72 % (3,54 Ampères).

4.1.2 Valores comparados no Centro de Informática da UFLA

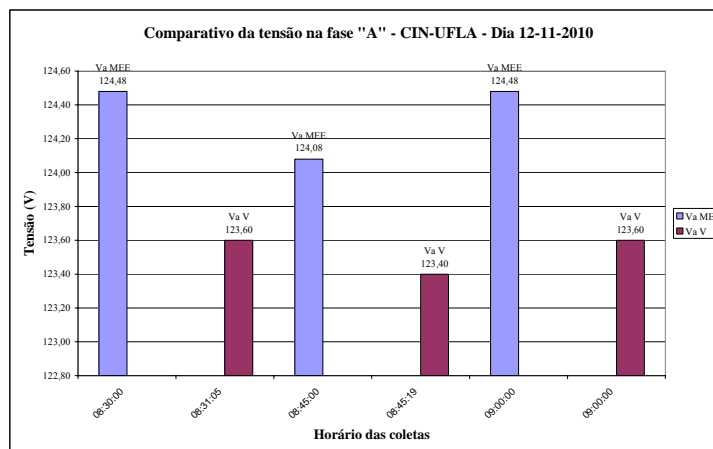


Gráfico 18 Comparativo da tensão na fase “A” - CIN-UFLA (12/11/10)

A média das medidas de tensão comparadas entre os dois medidores apresentaram uma discrepância máxima de 0,70 % (0,89 volts), como se observa no Gráfico 18.

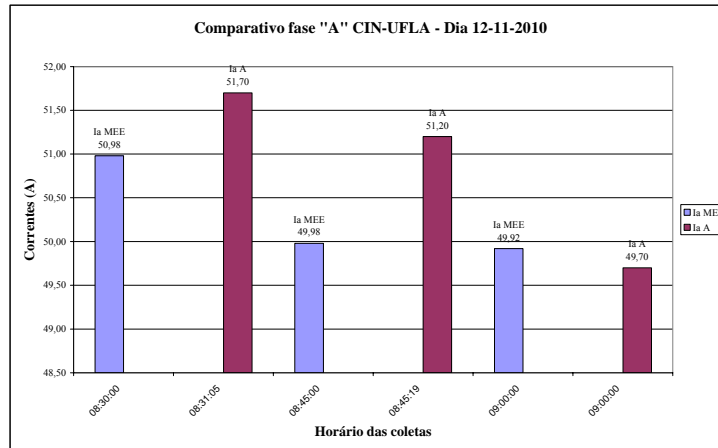


Gráfico 19 Comparativo das correntes na fase “A” - CIN-UFLA (12/11/10)

O Gráfico 19 mostra que a média das medidas de corrente na fase “A”, comparadas entre os dois medidores apresentaram uma discrepância máxima de 2,38 % (1,22 Ampères).

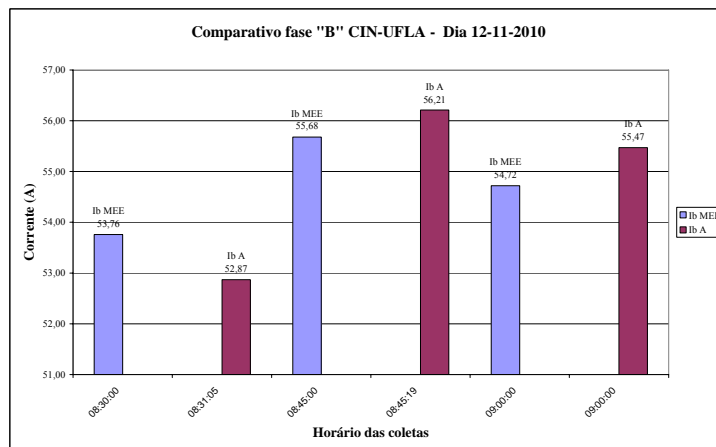


Gráfico 20 Comparativo das correntes na fase “B” - CIN-UFLA (12/11/10)

A média das medidas de corrente na fase “B”, comparadas entre os dois medidores apresentaram uma discrepância máxima de 1,65% (0,89 Ampères), conforme visto no Gráfico 20.

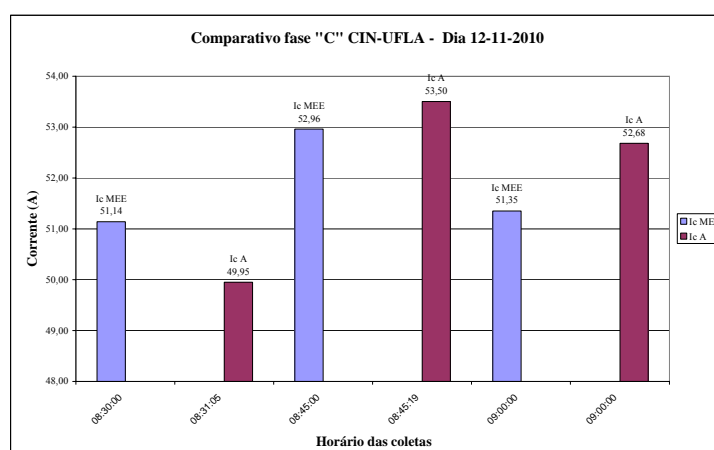


Gráfico 21 Comparativo das correntes na fase “C” - CIN-UFLA (12/11/10)

Observa-se no Gráfico 21 que a média das medidas de corrente na fase “C”, comparadas entre os dois medidores apresentaram uma discrepância máxima de 2,52 % (1,33 Ampères).

As médias dos valores encontrados nos três setores da UFLA, quando comparadas, apresentaram uma discrepância máxima de 0,71 % na tensão e de 3,72 % na corrente. Visto que os transformadores de corrente de medição podem introduzir um erro na medida entre 0,3 a 3,0 (%), e que o medidor fornece o valor médio da tensão na fase “A”, e das correntes nas fases “A”, “B” e “C”, no intervalo de memória de massa, e o multímetro fornece o valor instantâneo. Pode-se afirmar que as indicações do medidor de energia elétrica Nansen modelo Spectrum SX são válidas (vide anexo A).

4.2 Análise dos resultados

A metodologia adotada possibilitou a obtenção dos resultados conforme os Gráficos a seguir:

4.2.1 Departamento de Ciência da Computação no pavimento térreo

4.2.1.1 Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva no Departamento de Ciência da Computação no pavimento térreo

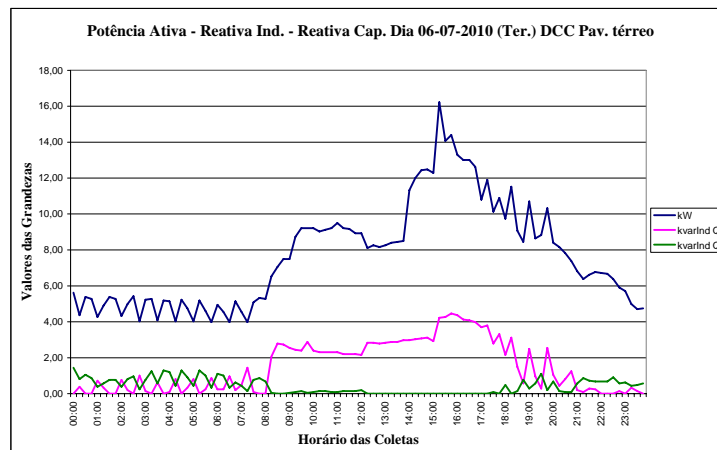


Gráfico 22 P [kW]; Q_L [kVAr]; Q_C [kVAr] - dia letivo (06/07/10)

Observando o Gráfico 22 nota-se que a demanda no período de 23h45min até as 7h15min, oscila entre 5,62 kW e 3,98 kW. A demanda começa a se elevar a partir das 8h15min, atingindo um pico de 9,5 kW às 11h00min. Logo depois começa a decair até atingir 8,1 kW às 12h15min, permanecendo com uma demanda de 8,5 kW até às 13h45min. A partir das 13h45min a demanda começa a aumentar devido aos equipamentos que entram em operação, e atinge um pico de 16,22 kW às 15h15min. Daí em diante a demanda começa a cair até às 23h45min.

A potência reativa indutiva começa a crescer a partir das 8h30min, devido provavelmente à presença de cargas não lineares, tendo o seu pico às 15h45min, com 4,46 kVAR.

A potência reativa capacitiva que se apresenta no circuito às 18h00min e permanece oscilando até as 8h15min, deve-se, provavelmente, à presença de no-breaks (baterias atuando como capacitor) e a retirada de cargas indutivas no departamento.

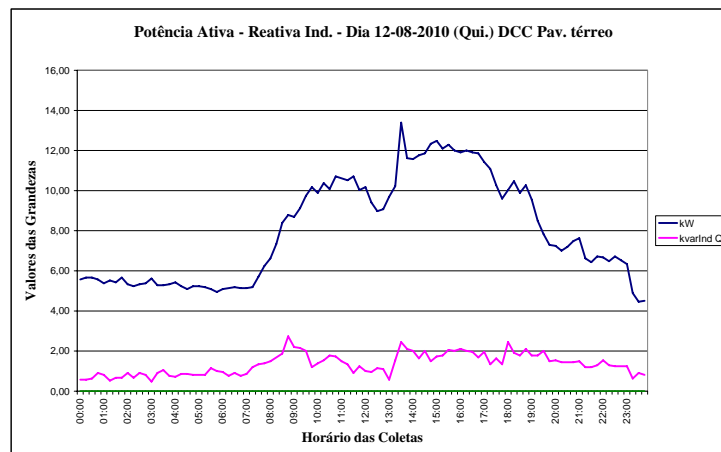


Gráfico 23 P [kW]; Q_L [kVAR] - dia letivo (12/08/10)

Verificando o Gráfico 23 observa-se que a demanda varia da 0h00 às 7h15min, de 5,66 kW à 4,94 kW. A partir das 7h30 há um aumento na demanda de 5,71 kW atingindo um pico de 10,7 kW às 11h30min. Deste instante até às 13h15min há uma queda na demanda devido ao horário do almoço. Às 13h30min, a demanda atinge um pico de 13,39 kW e passa a decrescer até às 23h45min, atingindo 4,51 kW.

A potência reativa indutiva oscila entre 0,58 e 1,49 kVAr da 0h00min às 8h00min e tem seu pico máximo às 8h45min com 2,74 kVAr. Há um decréscimo das 11h00min às 13h15min. Às 13h30min atinge 2,45 kVAr e continua variando em torno de 2 kVAr até às 19h30min. Após as 19h45min começa a decrescer até atingir 0,82 kVAr às 23h45min.

Nota-se, nos Gráficos 22 e 23 e nos anexos 1B e 2B, que a demanda aumenta até próximo das 11h00min, diminui durante o intervalo do almoço e volta a aumentar atingindo o seu pico máximo próximo das 14h30min.

4.2.1.2 Análise da intensidade das correntes no Departamento de Ciência da Computação no pavimento térreo

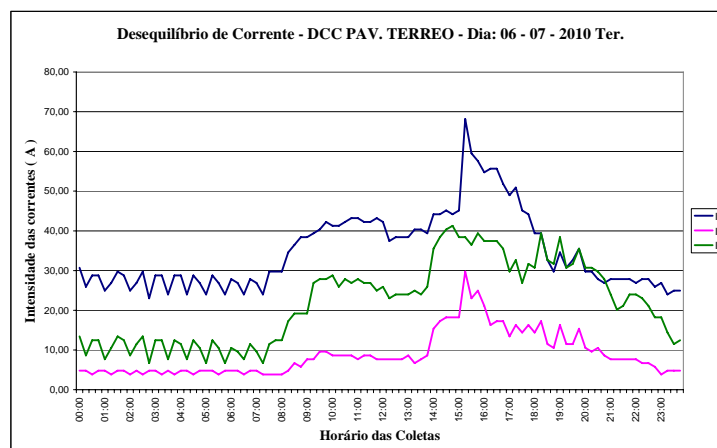


Gráfico 24 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (06/07/10)

Analisando o Gráfico 24 nota-se que as correntes têm comportamentos semelhantes ao longo do dia, porém o Departamento da Ciência da Computação, no pavimento térreo, não foi levado em consideração o equilíbrio das cargas. A fase “A” está sobrecarregada, chegando a valores três vezes maiores que os da fase “C”.

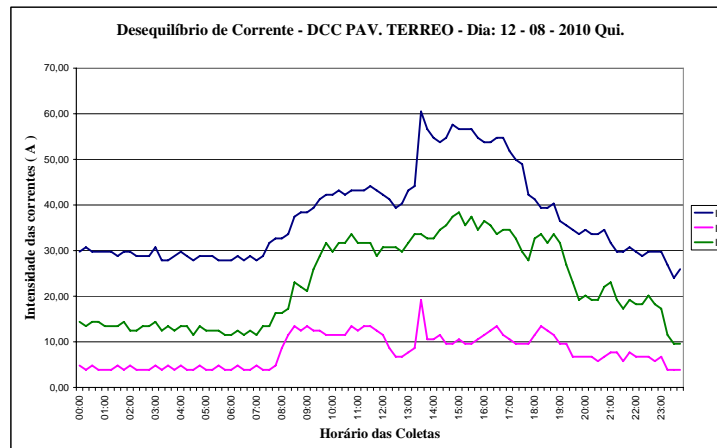


Gráfico 25 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (12/08/10)

Observando o Gráfico 25 nota-se que as correntes têm comportamentos semelhantes ao longo do dia. A fase “A” está sobrecarregada, chegando a valores três vezes maiores que o da fase “C”.

Com base nos Gráficos 24 e 25 e anexos 3B e 4B constata-se que o Departamento da Ciência da Computação (pavimento térreo) está carente de um projeto elétrico que coloque a distribuição das cargas o mais equilibrado possível, objetivando um sistema elétrico mais eficiente e seguro.

4.2.1.3 Análise do fator de potência no Departamento de Ciência da Computação no pavimento térreo

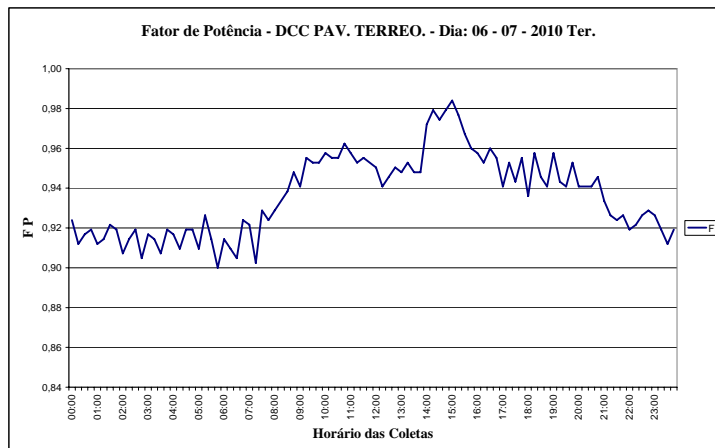


Gráfico 26 FP – DCC - dia letivo (06/07/10)

Observando o Gráfico 26 nota-se que fator de potência se apresenta com valores entre 0,90 e 0,98, como se observa nos anexos 5B à 7B.

Provavelmente, devido à utilização de transformadores, trabalhando a vazio, e reatores da iluminação. Faz-se necessária a instalação de bancos de capacitores para a correção do fator de potência.

4.2.1.4 Análise da tensão no Departamento de Ciência da Computação pavimento térreo

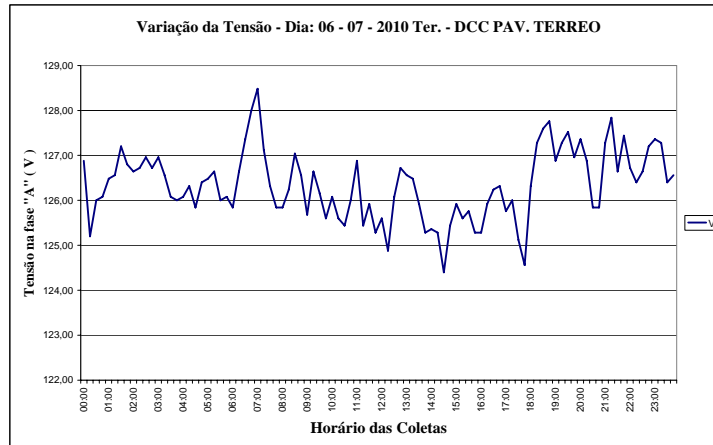


Gráfico 27 Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10)

Analisando o Gráfico 27 nota-se que a tensão teve como valor mínimo 124,4 volts às 14h30min e como valor máximo 128,48 volts às 7h00min, apresentando uma variação de 4,08 volts (3,3%).

De uma forma geral, não foram observadas flutuações significativas da tensão em nenhum dos dias analisados, conforme se observa nos anexos de 8B a 10B.

Pode-se notar que o novo sistema de distribuição de energia elétrica da Universidade Federal de Lavras está bem dimensionado e atendendo com qualidade e eficiência, proporcionando uma variação percentual da tensão menor que 4% durante todo o período estudado.

4.2.2 Restaurante Universitário

4.2.2.1 Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva no Restaurante Universitário

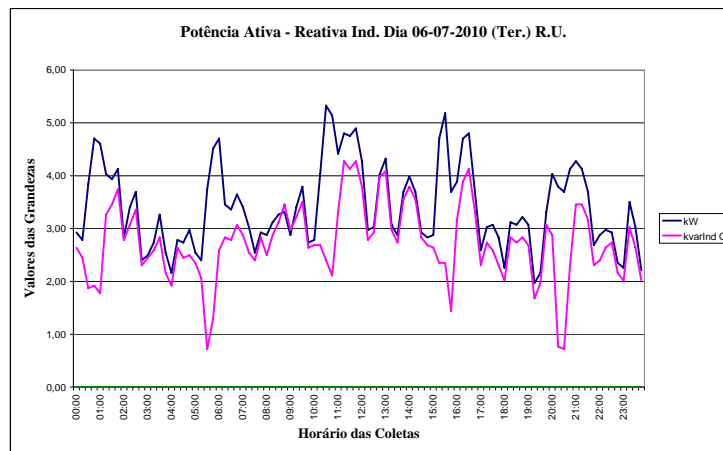


Gráfico 28 P [kW]; Q_L [kVAr]; Q_C [kVAr] - dia letivo (06/07/10)

Analisando o Gráfico 28 nota-se que a demanda no período após a 0h00min cresce, atinge 4,70 kW às 0h45min, decai oscilando até atingir 2,4kW às 5h15min. A partir desse instante, começa a subir e vai a 4,70 kW às 6h00min. Após as 6h00min a demanda começa a diminuir oscilando entre 2,54 e 2,74 kW, e se eleva a partir das 9h45min, atingindo um pico máximo de 5,33kW às 11h30min. Em seguida, começa a decair até atingir 2,83 kW às 14h45min. A partir das 15h00min a demanda começa a aumentar, e atinge 5,18 kW às 15h30min. Daí em diante, a demanda começa a cair até atingir 1,97 kW às 19h15min. A partir de 19h30min a demanda se eleva até atingir 4,27 kW às 21h00min, então começa a cair até atingir 2,21kW às 23h45min.

A potência reativa indutiva 0h00min diminui de 2,29kVAr para 1,78kVAr à 1h00min. Deste momento em diante aumenta para 3,74 kVAr à

1h45min, tendo um comportamento semelhante ao da potência ativa até às 4h15min, possivelmente refrigeradores que entraram em funcionamento neste horário. Às 4h30min a potência reativa indutiva cai para 0,72kVAr às 5h30min, provavelmente refrigeradores que pararam de trabalhar. Após as 5h30min, equipamentos que produzem reativos indutivos (motores) voltam a consumir e atinge 3,07kVAr às 6h45min, passando a ter uma curva semelhante à potência ativa até às 9h45min com 2,64kVAr e vindo a cair ainda mais atingindo 2,11kVAr às 10h45min. Às 11h00min começa a se elevar novamente atingindo 4,27kVAr às 11h15min, passando a partir daí a ter novamente uma curva semelhante à potência ativa até às 14h30min com 2,83kVAr. A potência reativa cai a 1,44 kVAr às 15h45min, e volta a subir até 4,13 kVAr às 16h30min. Após as 16h30min a potencia reativa indutiva assume uma curva de comportamento semelhante à potência ativa até as 19h45min com 3,07kVAr, e decai a 0,72kVAr às 20h30min. Após as 20h30min atinge 3,46kVAr às 21h15min e permanece com uma curva semelhante à potência ativa até as 23h45min.

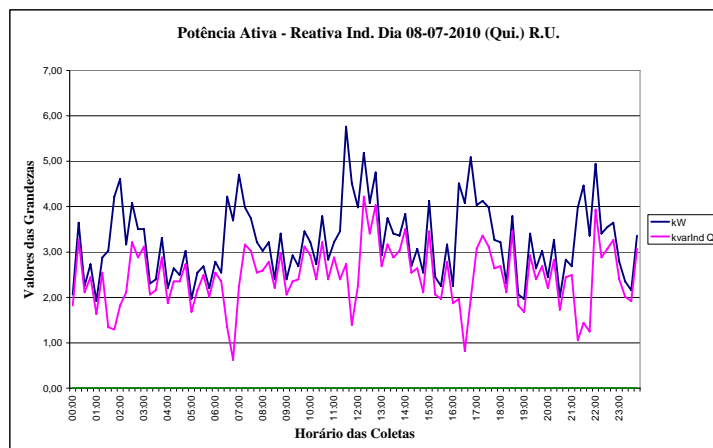


Gráfico 29 P [kW]; Q_L [kVAr] - dia letivo (08/07/10)

Analisando o Gráfico 29 nota-se que da 0h00min até a 1h15min as potências ativa e reativa indutiva oscilam com curvas de comportamentos semelhantes. À 0h15min a demanda é de 3,65 kW e cai a 1,92 kW à 1h00min e se eleva a 4,61 kW às 2h00min. Das 2h00min até as 5h45min cai de 4,61 kW para 2,21 kW, e começa a aumentar a demanda até atingir 4,70 kW às 7h00min. De 7h00min em diante começa a decair até atingir 2,40 kW às 9h00min. Após as 9h00min o crescimento é oscilante até atingir o seu pico máximo do dia às 11h30min, com 5,76 kW. De 11h30min em diante há um decréscimo oscilatório até 2,26 kW às 16h00min. Após as 16h00min a demanda começa a aumentar e atinge 5,07 kW às 16h45min, e logo começa a diminuir oscilando atingindo 1,97 kW às 19h00min. A demanda aumenta às 19h15min para 3,41 kW e começa a cair até atingir 2,02 kW às 20h30min. A partir de 20h30min começam a aumentar novamente até atingir um pico de 4,94 kW às 22h00min, sendo que após este horário começa novamente a cair atingindo 2,16kW às 23h30min. Às 23h45min a demanda já é de 3,36 kW.

A potência reativa indutiva está em 1,82 kVAr à 0h00min, e começa a subir atingindo 3,26 kVAr à 0h15min. A partir daí começa a decair até atingir 1,30 kVAr à 1h15min. A partir deste instante começa a aumentar e vai a 3,22 kVAr às 2h30min, começa a oscilar entre 3,12 e 2,06 kVAr, e vai caindo até atingir 1,68 kVAr às 5h00min. Após 5h00min ela aumenta até 2,5 kVAr, cai a 2,02 kVAr e volta a 2,54 kVAr às 6h00min. Neste instante apresenta o seu menor pico do dia às 6h45min com 0,62 kVAr. A partir de 6h45min a potência reativa indutiva eleva-se a 3,17 kVAr às 7h15min, fica oscilando até cair para 1,39 kVAr às 11h45min. Neste instante começa a aumentar até atingir o seu maior pico do dia, que ocorre às 12h15min com 4,22 kVAr. Daí em diante começa a decair, oscilando até chegar a 0,82 kVAr às 16h30min, e logo começa a aumentar novamente, e alcança 3,12kVAr às 17h15min. Após as 17h45min a potência reativa indutiva começa a oscilar e cair para 1,06 kVAr às 21h15min.

Novamente começa a aumentar e vai a 3,94 kVAr às 22h00min, depois começa a oscilar até às 23h45min. Após as 23h45min a potência reativa se apresenta em 3,07 kVAr.

No Gráfico 29 nota-se característica de sistema de refrigeração que funciona durante um intervalo de tempo e depois para, fazendo com que as potências ativa e reativa indutiva variem. Estes instantes de funcionamento ocorreram nos intervalos de 0h15min à 1h30min, 2h30min às 6h45min, 7h15min às 11h45min, 12h15min às 16h30min, 17h15min às 21h15min e 22h00min às 23h45min.

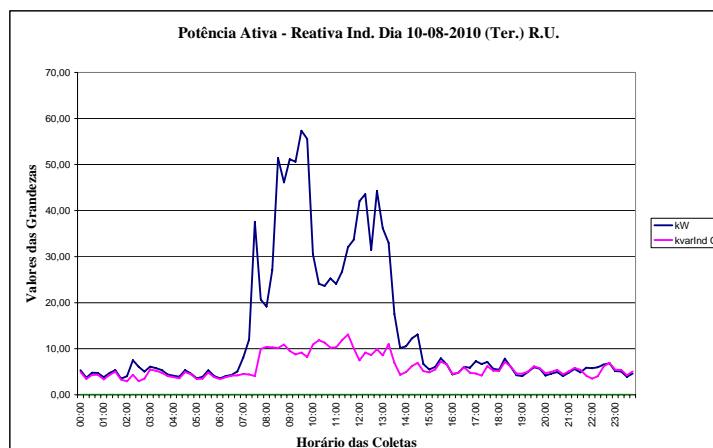


Gráfico 30 P [kW]; Q_L [kVAr] - dia letivo (10/08/10)

Analisando o Gráfico 30 nota-se que a potência ativa e a potência reativa estão com valores muito próximos no período de 0h00min às 6h45min. Das 6h45min em diante a demanda se eleva até atingir o seu pico máximo de 57,36 kW às 9h30min (aquecimento para geração de vapor), voltando a cair para 23,66 kW às 10h30min. Após as 10h30min ela se eleva até atingir 43,58 kW às 12h15min (aquecimento para geração de vapor) e volta a cair para 31,44 kW às 12h30min. A demanda aumenta novamente para 44,26 kW às 12h45min e cai

para 5,52 kW às 15h00min, quando fica novamente com valores muito próximos da potência reativa indutiva, que está em torno de 7,15 kW, e termina o dia com uma demanda igual a 4,66 kW e a potência reativa indutiva com 5,09 kVAr às 23h45min.

Nota-se no Gráfico 30 que da 0h00min até as 6h45min e das 16h00min até as 23h45min a potência reativa indutiva se deve à iluminação com lâmpadas fluorescentes que utilizam reatores com baixo fator de potência. No período de 7h00min até as 15h15min o aumento da potência reativa se deve provavelmente aos motores dos sistemas de refrigeração, porém neste mesmo intervalo de tempo o aumento da demanda é provavelmente devido a cargas resistivas para geração de vapor.

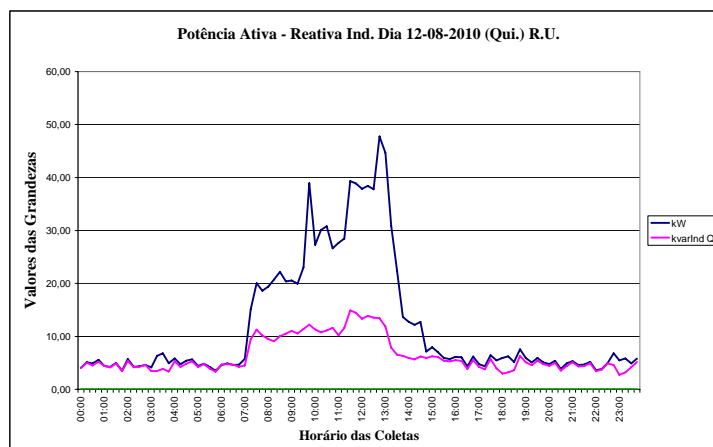


Gráfico 31 P [kW]; Q_L [kVAr] - dia letivo (12/08/10)

Verificando o Gráfico 31 observa-se que o comportamento das potências ativa e reativa indutiva é muito semelhante à do dia 10 de agosto de 2010, tendo como predominância cargas resistivas no período das 7h00min até as 15h30min e neste período fez-se uso de cargas reativas, e que no decorrer deste dia as potências ativas e reativas estão semelhantes devido à iluminação em que se

utiliza reatores com baixo fator de potência.

Observa-se, nos Gráficos 29 a 31, que as flutuações da demanda são semelhantes durante alguns períodos e apresenta com valor máximo no intervalo das 13h30min às 15h30min (geração de vapor).

4.2.2.2 Análise da intensidade das correntes no Restaurante Universitário

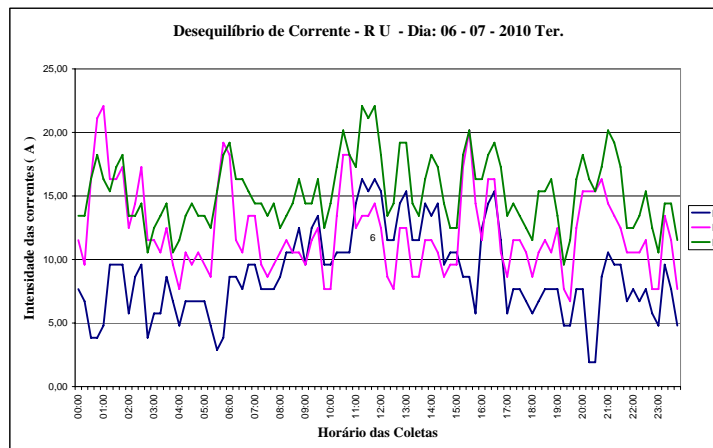


Gráfico 32 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (06/07/10)

Observando o Gráfico 32 observa-se que as correntes das fases “A”, “B” e “C” estão desbalanceadas. Pode se notar que a fase “A” após a 0h00min está com uma intensidade de corrente bem menor do que as fases “B” e “C”, até às 8h30min, instante este em que todas as correntes se elevam. A fase “C” está sobrecarregada o dia todo, gerando uma subtensão aos equipamentos elétricos alimentados por ela. A fase “A” está com a menor intensidade de corrente em relação às fases “B” e “C”, fornecendo uma sobretensão aos equipamentos elétricos alimentados por ela.

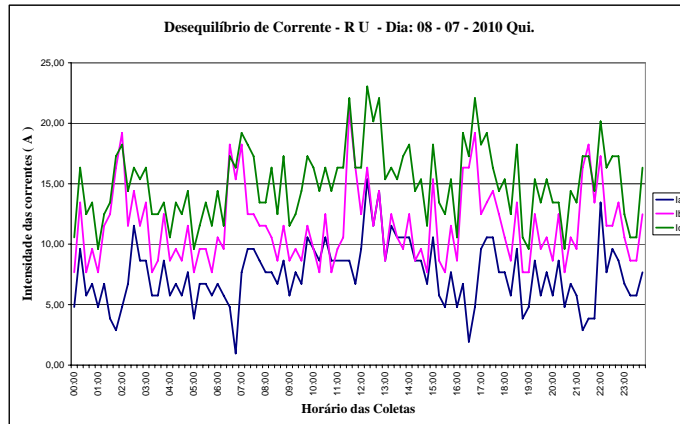


Gráfico 33 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (08/07/10)

Verificando o Gráfico 33 nota-se que a fase “C” está sobrecarregada o dia todo, gerando uma subtensão aos equipamentos elétricos alimentados por ela.

A fase “A” está com a menor intensidade de corrente em relação às fases “B” e “C”, fornecendo uma sobretensão aos equipamentos elétricos alimentados por ela.

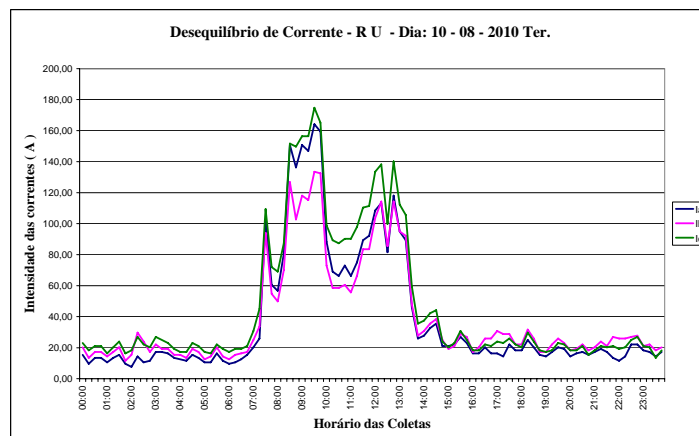


Gráfico 34 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (10/08/10)

Ao se analisar o Gráfico 34 nota-se que as correntes nas fases “A”, “B” e “C” têm comportamentos semelhantes ao longo do dia. A fase “C” está sobrecarregada e a fase “B” está com a menor carga entre as três fases no período das 8h30min às 10h00min. Após as 10h00min até as 13h30min a fase “C” continua sobrecarregada, enquanto a fase “B” permanece novamente com a menor carga. Após as 13h45min o sistema continua desequilibrado, porém com valores de correntes mais próximas uma das outras.

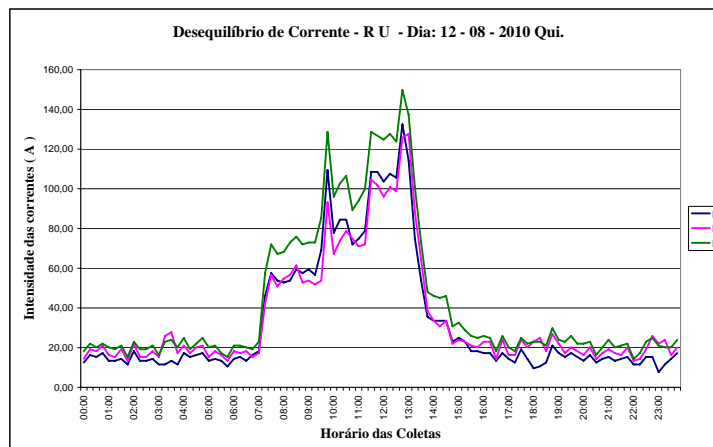


Gráfico 35 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (12/08/10)

Ao se analisar o Gráfico 35 observa-se que as correntes nas fases “A”, “B” e “C” têm comportamentos semelhantes ao longo do dia. A fase “C” está sobrecarregada em relação às fases “B” e “A”. A sobrecarga da fase “C” se acentua mais no intervalo das 7h30min às 13h00min. Após as 13h30min o sistema continua desequilibrado, porém com valores de correntes mais próximas uma das outras.

Observa-se nos Gráficos 33 a 35 que, mesmo sendo o Restaurante Universitário uma construção nova, o projeto elétrico, ou a sua execução, não levou em conta a distribuição das cargas entre as fases para que fosse alcançado

o equilíbrio entre as mesmas.

É necessário um estudo da dinâmica do Restaurante Universitário em relação ao cardápio, conservação dos alimentos e equipamentos elétricos utilizados para produzir as refeições, com o objetivo de melhor distribuir as cargas entre as fases e alcançar um sistema elétrico trifásico balanceado.

4.2.2.3 Análise do fator de potência no Restaurante Universitário

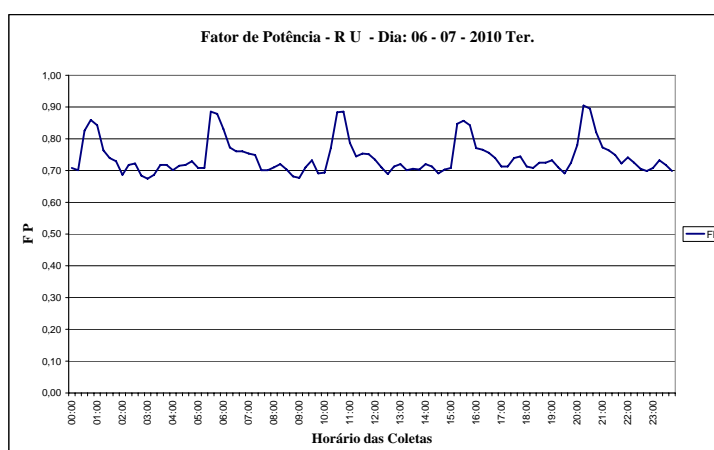


Gráfico 36 FP – RU - dia letivo (06/07/10)

O fator de potência de uma forma geral apresenta-se com valores abaixo de 0,92, como se observa no Gráfico 36 e nos anexos 11B à 13B, fazendo-se necessária a instalação urgente de bancos de capacitores para a correção do fator de potência. A presença de pico em determinados intervalos de tempo se deve provavelmente ao desligamento de motores do sistema de refrigeração.

4.2.2.4 Análise de tensão no Restaurante Universitário

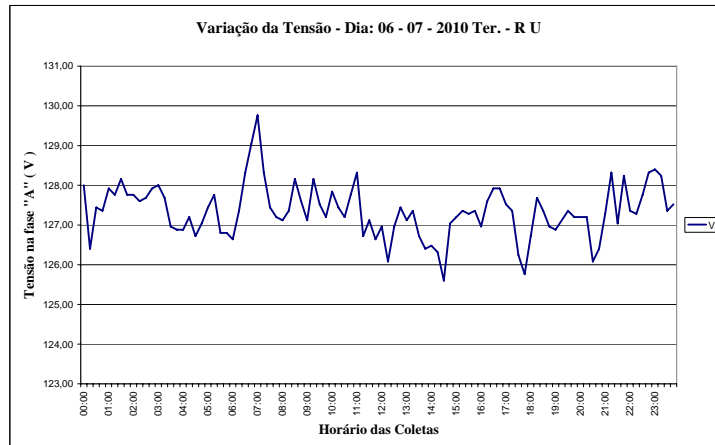


Gráfico 37 Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10)

Analisando o Gráfico 37 nota-se que a tensão teve como valor mínimo 125,60 volts às 14h30min e como valor máximo 129,76 volts às 7h00min, apresentando uma variação de 4,16 volts (3,2%).

De uma forma geral, não foram observadas flutuações significativas da tensão em nenhum dos dias analisados, podendo ser observados no Gráfico 37 e nos anexos de 14B a 16B.

4.2.3 Centro de Informática da Universidade Federal de Lavras

4.2.3.1 Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva no Centro de Informática da UFLA

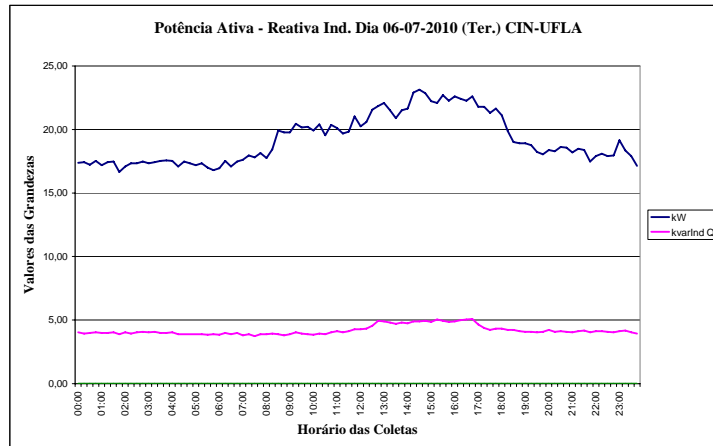


Gráfico 38 P [Kw]; Q_L [kVAr] - dia letivo (06/07/10)

Observando o Gráfico 38 percebe-se que a demanda a 0h00min está em 17,38 kW. Oscila entre 16,66 a 17,47 kW até às 6h45min, quando a demanda começa a subir atingindo 19,92 kW às 8h30min; 20,40 kW às 10h15min; 21,02 kW às 11h45min e 22,08 kW às 13h00min. Às 13h00min diminui para 20,88 kW às 13h30min e aumenta até atingir a demanda máxima do dia às 14h30min com 23,14 kW. Após as 14h30min diminui de 22,08 kW para 17,47 kW às 21h45min. Após as 21h45min a demanda aumenta para 19,15 kW às 23h00min e diminui para 17,14 kW às 23h45min.

A potência reativa indutiva tem o valor de 4,03 kVAr a 0h00min, fica oscilando em torno de 4,0 kVAr até as 11h15min. Após as 11h15min aumenta para 4,90 kVAr e permanece próxima a este valor até às 16h45min, quando atinge seu ponto máximo com 5,09 kVAr. Após as 16h45min começa a diminuir até atingir 4,2 kVAr às 23h15min, e às 23h45min diminui para 3,94 kVAr. O valor da potência reativa indutiva no Centro de Informática da Universidade Federal de Lavras é praticamente constante, variando muito pouco das 13h00min às 17h00min, provavelmente devido ao uso de equipamentos de ar condicionado.

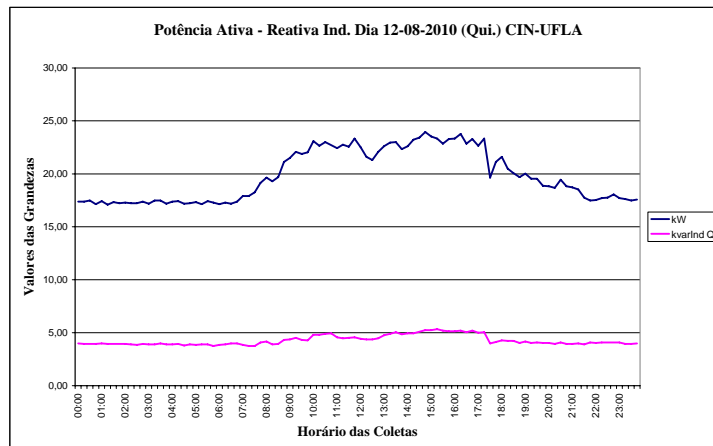


Gráfico 39 P [kW]; Q_L [kVAr] - dia letivo (12/08/10)

Observa-se no Gráfico 39 que a demanda tem curvas semelhantes aos dias analisados anteriormente, e tem como demanda mínima 17,09 kW à 1h15min e como demanda máxima 23,95 kW às 14h45min.

O mesmo ocorre com a potência reativa indutiva, que tem um valor mínimo de 3,74 kVAr às 05h45min e como valor máximo 5,33 kVAr às 15h15min.

Observa-se nos Gráficos 38 e 39, e nos anexos 17B e 18B, que as flutuações da demanda e da potência reativa indutiva são semelhantes durante os períodos analisados. Esta é uma característica deste setor por ter em suas instalações cargas não lineares ligadas vinte e quatro horas, como computadores, no-breaks, conversores AC/DC e ar condicionado.

4.2.3.2 Análise da intensidade das correntes no Centro de Informática da UFLA

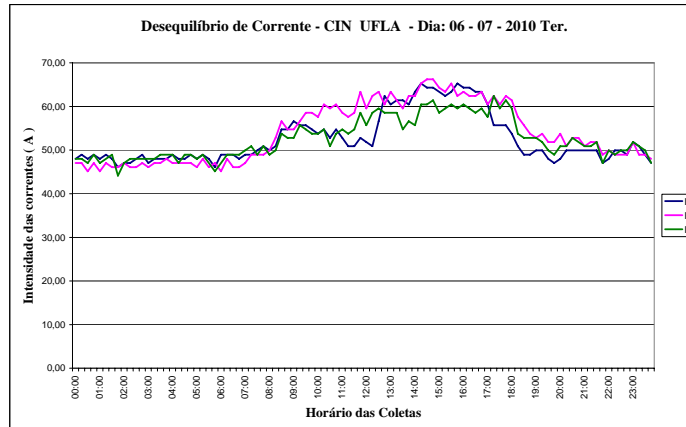


Gráfico 40 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (06/07/10)

Ao se analisar o Gráfico 40 nota-se que as correntes das fases “A”, “B” e “C” estão com uma curva semelhante das 0h00min às 23h45min, significando que as cargas neste circuito estão próximas do equilíbrio.

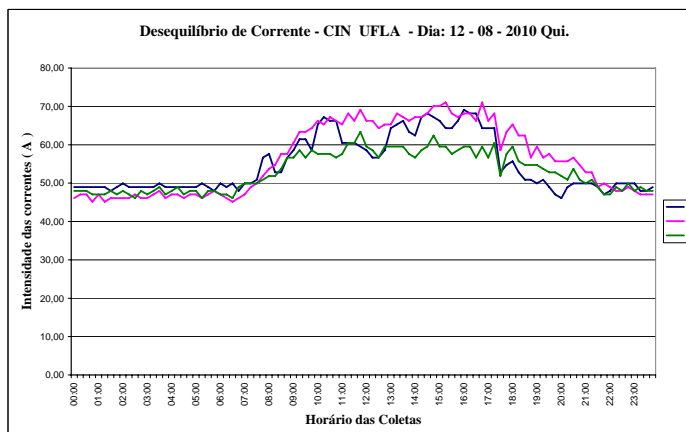


Gráfico 41 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (12/08/10)

Analisando o Gráfico 41 nota-se o desequilíbrio das correntes e a fase “B” com a maior carga após as 8h30min.

Observa-se nos Gráficos 40 e 41, e nos anexos 19B e 20B, que as curvas são semelhantes nos dias analisados, e o Centro de Informática da Universidade Federal de Lavras está precisando de uma análise das cargas que funcionam no período das 9h15min às 21h15min, ou mesmo uma atualização do projeto elétrico para que possa colocar a distribuição das cargas o mais equilibrado possível, visando a segurança e a eficiência do sistema.

4.2.3.3 Análise do fator de potência no Centro de Informática da UFLA

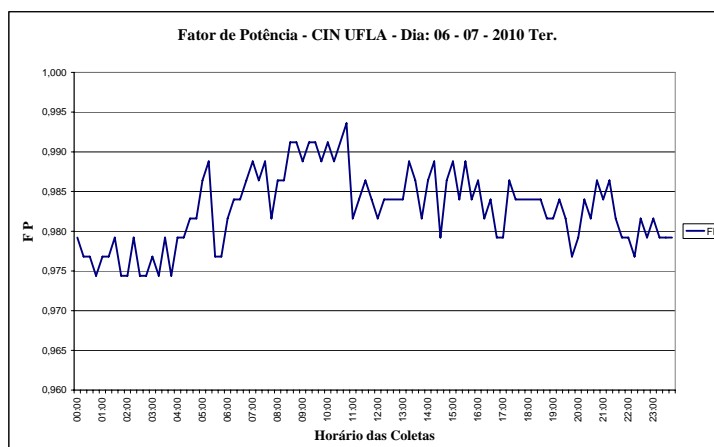


Gráfico 42 FP – CIN-UFLA - dia letivo (06/07/10)

O fator de potência se apresenta com valores acima de 0,92, como se observa no Gráfico 42 e nos anexos de 21B à 23B, que pode aumentar com uma análise das cargas que funcionam no período das 9h15min às 21h15min, e com uma atualização do projeto elétrico, das cargas entre as fases, colocando o sistema próximo do equilíbrio visando uma melhor distribuição.

4.2.3.4 Análise da tensão no Centro de Informática da UFLA

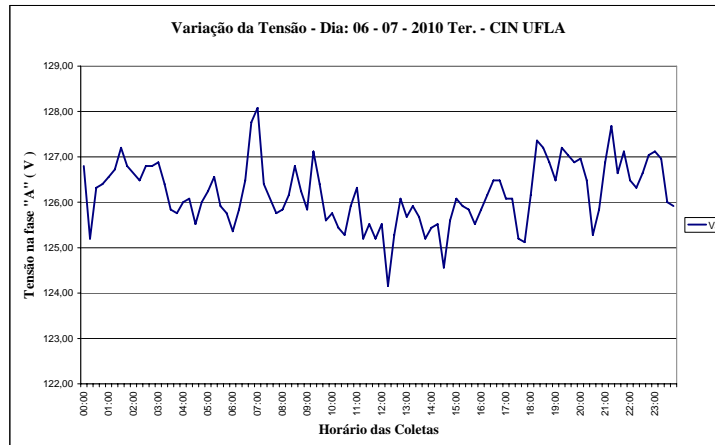


Gráfico 43 Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10)

Observando o Gráfico 43 nota-se que a tensão teve como valor mínimo 124,16 volts às 12h15min e como valor máximo 128,08 volts às 7h00min, portanto uma variação de 3,92 volts (3,06%).

De uma forma geral, não foram observadas flutuações significativas da tensão em nenhum dia analisado, como pode ser certificado nos anexos de 24B a 26B.

4.2.4 Cantina Central

4.2.4.1 Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva na Cantina Central

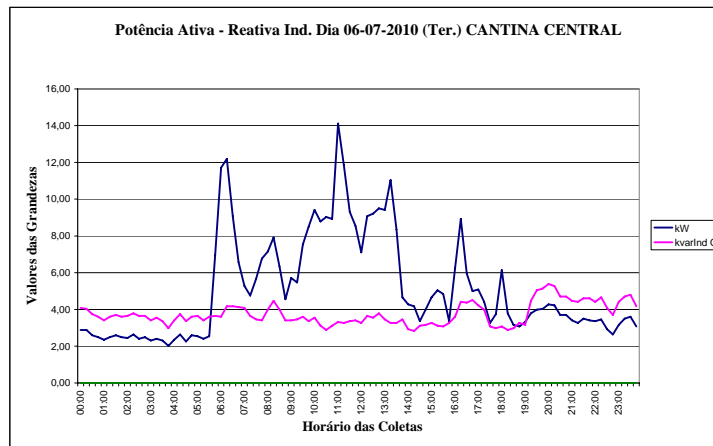


Gráfico 44 P [Kw]; Q_L [kVAr] - dia letivo (06/07/10)

Ao se analisar o Gráfico 44 observa-se que a demanda à 0h00min é de 2,88 kW, diminui oscilando até atingir a demanda mínima do dia às 3h45min, com 2,02 kW. Entre 3h45min e 5h15min a demanda oscila entre 2,64 kW e 2,40 kW, respectivamente. Às 5h30min a demanda está com 2,54 kW e aumenta rapidamente às 6h00min para 11,71 kW. Às 6h15min a demanda é de 12,29 kW (abertura da cantina - ligam-se quase todos os equipamentos, por exemplo: estufas, chapas etc.). Após as 6h15min a demanda é de 4,75 kW e aumenta para 7,92 kW às 8h15min. Às 8h45min a demanda reduz para 4,56 kW. Após as 8h45min a demanda começa a aumentar até atingir 9,4 kW às 10h00min, voltando a cair para 8,78 kW e 8,93 kW às 10h15min e 10h45min, respectivamente. A demanda máxima do dia ocorre às 11h00min com 14,11 kW (horário do almoço). Após as 11h00min a demanda diminui para 9,31 kW às 11h30min e 7,10 kW às 12h00min. Às 12h15min a demanda é de 9,07 kW, às 12h45min de 9,50 kW e às 13h15min de 11,04 kW. Após as 13h15min a demanda diminui para 3,36 às 14h30min (período que os clientes deixam a cantina). Às 15h15min e às 16h15min a demanda é, respectivamente, de 5,04 kW e 8,93 kW (horário do café da tarde). Após as 16h15min a demanda diminui

para 4,99 kW e 3,26 kW às 16h45min e 17h30min, respectivamente. Às 17h45min a demanda é de 3,74 e aumenta para 6,14 kW às 18h00min, voltando a diminuir às 18h45min para 3,07 kW. Das 19h00min às 23h45min a demanda oscila entre 4,27 e 2,64 kW.

A potência reativa indutiva da 0h00min até as 6h15min oscila entre 2,98 kVAr e 4,18 kVAr, respectivamente. Após as 6h15min a potência reativa indutiva diminui para 3,41 kVAr às 7h45min e aumenta para 4,46 kVAr às 8h15min, voltando a diminuir para 3,41 kVAr às 8h45min. Das 8h45min às 10h00min oscila entre 3,36 kVAr e 3,60 kVAr, respectivamente. Após as 10h00min diminui para 2,88 kVAr às 10h30min, e começa a aumentar até atingir 3,79 kVAr às 12h45min. A potência reativa indutiva após as 12h45min reduz para 2,83 kVAr às 14h15min, e aumenta para 3,36 kVAr; 4,42 kVAr e 4,51 kVAr às 15h00min, 16h15min e 16h45min, respectivamente. Após as 16h45min a potência reativa indutiva diminui para 2,98 kVAr às 17h45min e 2,88 kVAr às 18h15min, logo após atinge o seu pico máximo de 5,38 kVAr às 20h00min. A potência reativa indutiva às 20h15min é de 5,28 kVAr, diminui para 4,70 kVAr às 20h30min e 4,42 kVAr às 21h15min, e oscila entre 4,61; 4,42 e 4,66 às 21h30min; 22h00min e 22h15min, respectivamente. Após as 22h15min diminui para 3,70 kVAr às 22h45min, e aumenta para 4,80 kVAr às 23h30min, voltando a diminuir às 23h45min para 4,18 kVAr.

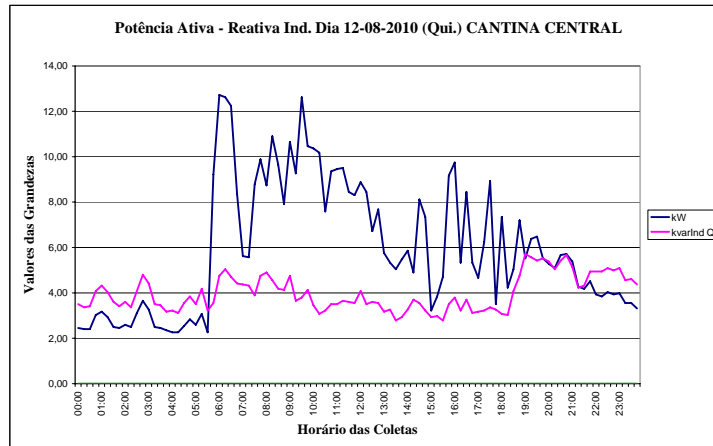


Gráfico 45 P [Kw]; Q_L [kVar] - dia letivo (12/08/10)

Verificando o Gráfico 45 observa-se que a demanda da 0h00min até as 5h45min, oscila em torno de 2,70 kW. Às 6h00min a demanda tem um pico máximo de 12,76 kW e diminui para 5,57 kW às 7h15min. Aumenta até atingir 9,89 kW às 7h45min, diminui até atingir 8,74 kW às 8h00min, sobe para 10,90 kW às 8h15min e desce para 7,92 kW às 8h45min. Após as 8h45min a demanda oscila para 10,06 kW; 9,26 kW e 12,62 kW às 9h00min; 9h15min e 9h30min, respectivamente. A demanda diminui oscilando após as 9h30min até atingir 4,90 kW às 14h15min, aumenta para 9,74 kW às 16h00min e diminui às 16h15min para 5,33 kW. Às 16h30min tem-se uma demanda de 8,45 kW, diminui até 4,66 kW às 17h00min e aumenta até 8,93 kW às 17h30min. Após as 17h30min a demanda diminui para 3,50 kW às 17h45min, aumenta para 7,34 kW às 18h00min, e diminui para 4,22 kW às 18h15min. Às 18h45min a demanda é de 7,20 kW, cai oscilando até atingir 3,31 kW às 23h45min. Tem-se neste dia uma demanda máxima de 12,76 kW às 6h00min e uma demanda mínima de 2,26 kW às 4h00min; 4h15min e 5h30min.

A potência reativa indutiva tem um pico mínimo de 2,78 kVAr às 13h30min e às 15h30min, e pico máximo de 5,71 kVAr às 19h00min.

Observa-se nos Gráficos 44 e 45, e nos anexos 27B e 28B, que a demanda sofre elevadas flutuações durante o período diurno, e a presença da potência reativa indutiva no intervalo da 0h00min até as 5h30min é, provavelmente, devido a motores do sistema de refrigeração e iluminação com lâmpadas de descarga, das 5h30min até as 18h15min, provavelmente devido a motores do sistema de refrigeração, e após as 18h15min até as 23h45min, provavelmente devido à iluminação com lâmpadas de descarga e equipamentos de refrigeração.

4.2.4.2 Análise da intensidade das correntes na Cantina Central

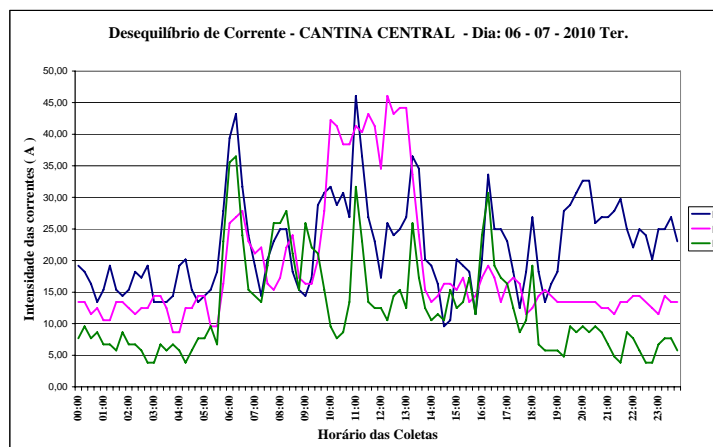


Gráfico 46 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (06/07/10)

Analisando o Gráfico 46 nota-se que as correntes têm comportamentos semelhantes ao longo do dia. A fase “A” está sobrecarregada, chegando a valores três vezes maiores que os da fase “C”.

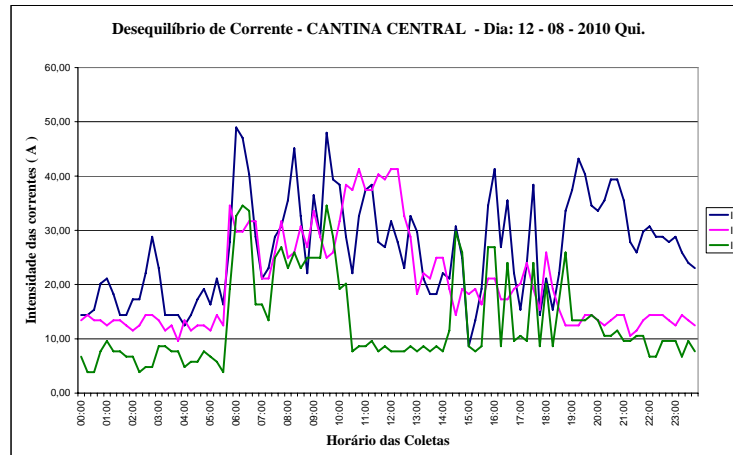


Gráfico 47 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (12/08/10)

Observando-se os Gráficos 46 e 47, e os anexos 29B e 30B, nota-se diferenças significativas entre as intensidades de correntes das fases “A” e “C”. A fase “A” está sobrecarregada, enquanto a fase “C” está subcarregada. A Cantina Central necessita de um projeto elétrico para que se possa fazer a distribuição das cargas e colocar o circuito elétrico em equilíbrio. Esta medida fará com que o sistema elétrico possa ser mais eficiente e seguro.

4.2.4.3 Análise do fator de potência na Cantina Central

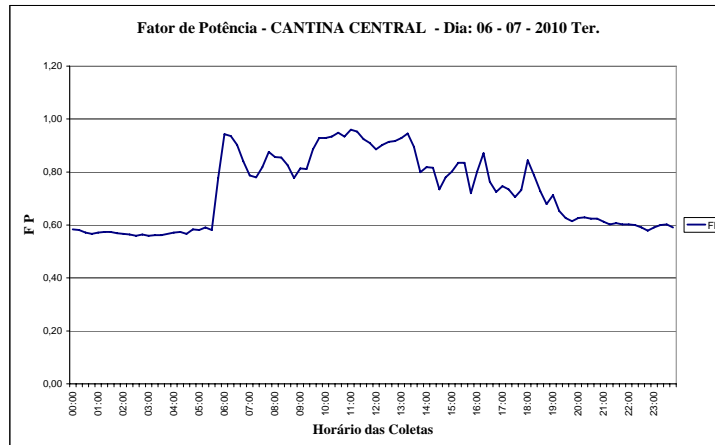


Gráfico 48 FP – CANTINA CENTRAL - dia letivo (06/07/10)

O fator de potência se apresenta predominantemente com valores entre 0,6 e 0,92, mas durante alguns períodos; e eventualmente com valores acima de 0,92, conforme observado no Gráfico 48 e nos anexos 31B à 33B, devido provavelmente a utilização de congeladores e reatores da iluminação, com baixo fator de potência. Faz-se necessária a instalação de bancos de capacitores para a correção do fator de potência.

4.2.4.4 Análise da tensão na Cantina Central

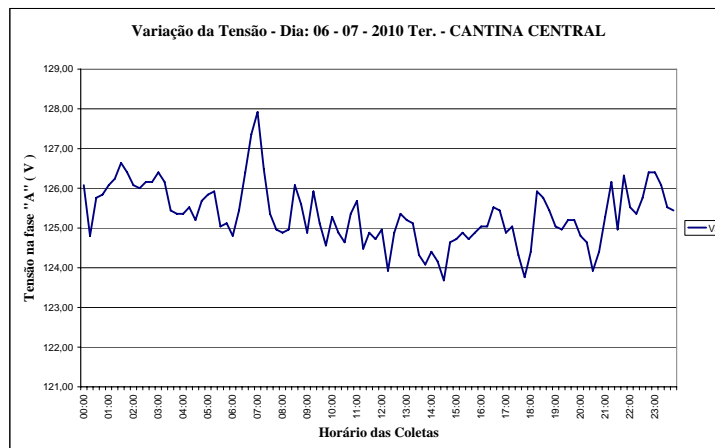


Gráfico 49 Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10)

Nota-se no Gráfico 49 que a tensão tem valor mínimo de 123,68 volts às 14h30min e valor máximo de 127,92 volts às 7h00min, denotando-se uma variação de 4,24 volts (3,31%).

De uma forma geral, não foram observadas flutuações significativas da tensão em nenhum dia analisado, conforme observado nos anexos de 34B a 36B, o que expressa a eficiência do novo sistema de distribuição de energia elétrica da Universidade Federal de Lavras.

4.2.5 Departamento de Ciências Exatas

4.2.5.1 Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva no Departamento de Ciências Exatas

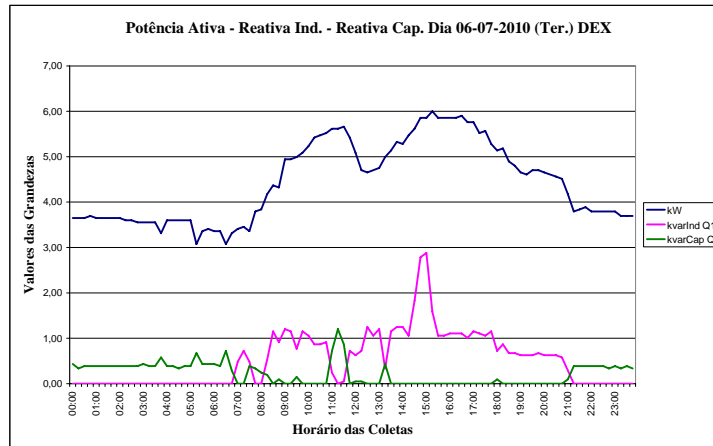


Gráfico 50 P [kW]; Q_L [kVAr]; Q_C [kVAr] - dia letivo (06/07/10)

Observando-se o Gráfico 50 nota-se que a demanda da 0h00min até as 7h30min oscila entre 3,70 kW e 3,07 kW. Após as 7h30min a demanda aumenta até atingir 5,66 kW às 11h30min, cai para 4,66 kW às 12h30min, aumenta até atingir 6,00 kW às 15h15min, diminui para 5,86 kW entre 15h30min e 16h15min, e aumenta novamente para 5,90 kW às 16h30min. Após as 16h30min a demanda diminui oscilando até atingir 3,70 kW às 23h45min. A demanda tem pico máximo de 6,00 kW às 15h15min e às 6h30min.

Nota-se que a potência reativa indutiva só aparece no circuito nos intervalos das 6h45min às 7h45min, das 8h15min às 11h15min e das 11h30min às 21h15min, e tem pico máximo de 2,88 kVAr às 15h00min.

Observa-se também a presença da potência reativa capacitiva nos intervalos de 0h00min às 7h00min, das 7h15min às 9h00min, das 10h45min às 11h45min e das 20h45min às 23h45min. Tem pico máximo de 1,20 kVAr às 11h15min.

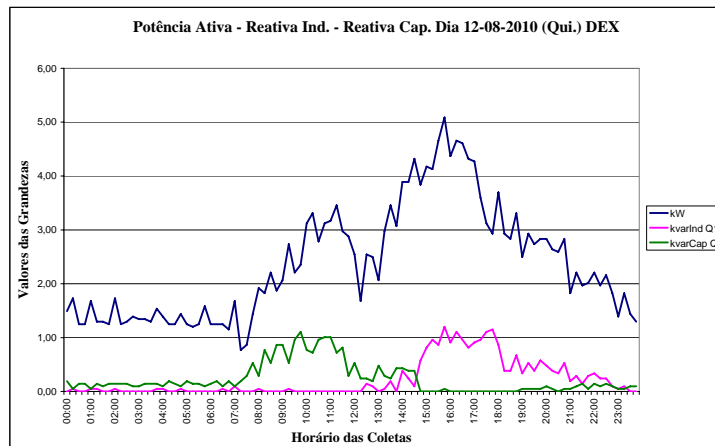


Gráfico 51 P [kW]; Q_L [kVAr]; Q_C [kVAr] - dia letivo (12/08/10)

No Gráfico 51 nota-se que a demanda da 0h00min às 7h15min oscila entre 1,73 kW e 0,77 kW. Após as 7h15min aumenta, oscilando até atingir 3,46 kW às 11h15min, diminui para 1,68 kW às 12h15min, aumenta oscilando até atingir 5,09 kW às 15h45min. Após as 15h45min a demanda diminui até 2,93 kW às 17h45min, aumenta para 3,70 kW às 18h00min e diminui oscilando até 1,30 kW às 23h45min. A demanda tem pico máximo de 5,09 kW às 7h15min e pico mínimo de 0,77 kW às 7h15min.

Observa-se que a potência reativa indutiva aparece no circuito no intervalo da 0h00min às 23h30min e tem pico máximo de 0,96 kVAr às 18h00min. A potência reativa capacitiva está presente nos intervalos da 0h00min às 17h45min e das 18h45min às 23h45min, e tem pico máximo de 1,30 kVAr às 9h45min.

A presença da potência reativa indutiva se deve provavelmente à presença do laboratório de computação científica e demais computadores; a potência reativa capacitiva se deve provavelmente à presença de no-breaks (bateria agindo como capacitor) e a ausência de outras cargas indutivas no departamento, conforme mostram os Gráficos 50 e 51 e os anexos 37B e 38B.

4.2.5.2 Análise da intensidade das correntes no Departamento de Ciências Exatas

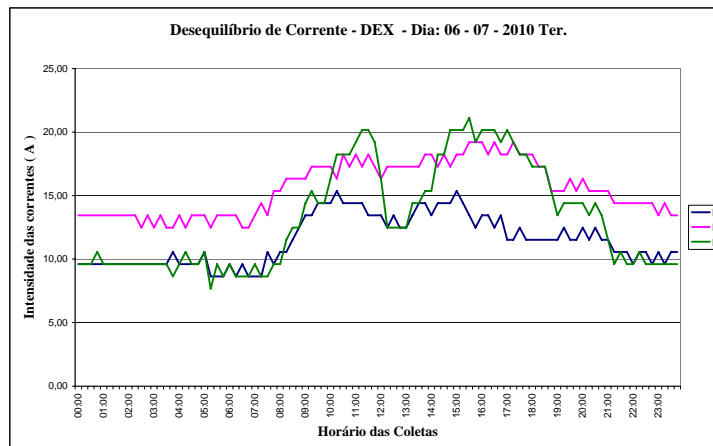


Gráfico 52 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (06/07/10)

Nota-se no Gráfico 52 que a corrente da fase “A” está com maior intensidade de corrente nos intervalos da 0h00min às 10h00min, das 12h00min às 14h15min e das 18h45min às 23h45min. Apresenta pico mínimo de 12,48 Ampères em diversos instantes de 0h00min e às 6h45min, e pico máximo de 19,20 Ampères às 15h30min, 16h00min, 16h30min e às 17h15min. A fase “C” está praticamente em equilíbrio com a fase “A” nos intervalos da 0h00min às 9h45min, e das 21h00min às 23h45min. Apresenta pico mínimo de 7,68 Ampères às 6h15min e pico máximo de 21,12 Ampères às 15h30min. A fase “A” está com a menor intensidade de corrente nos intervalos das 9h30min às 12h15min, e das 13h15min as 21h00min. Apresenta pico mínimo de 8,64 Ampères às 5h15min, às 5h45min, às 6h15min, às 6h45min e às 7h15min, e pico máximo de 15,36 Ampères às 10h15min e às 15h00min.

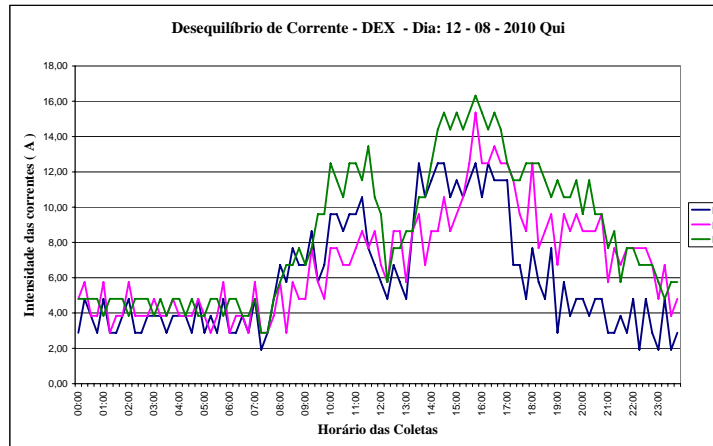


Gráfico 53 Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (12/08/10)

Verificando-se o Gráfico 53 nota-se que a corrente nas fases “A”, “B” e “C” está se alternando de intensidade da 0h00min às 7h45min. A fase “C” está com a maior intensidade de corrente das 9h30min às 12h15min e das 14h00min às 21h30min. Apresenta pico mínimo de 2,88 Ampères às 7h15min e às 7h30min, e pico máximo de 16,32 Ampères às 15h45min. A fase “B” está com a menor intensidade de corrente das 7h45min às 11h30min e das 13h30min às 15h15min. Apresenta pico mínimo de 2,88 Ampères à 1h15min, às 5h15min, às 6h00min, às 6h45min, às 7h30min e às 8h15min, e pico máximo de 15,36 Ampères às 15h45min. A fase “A” está com a menor intensidade de corrente da 0h15min à 1h00min, das 2h15min às 4h00min, das 4h15min às 4h45min, das 7h00min às 7h30min, das 11h30min às 13h15min e das 15h30min às 23h45min. Apresenta pico mínimo de 1,92 Ampères às 7h15min, às 22h15min, às 23h00min e às 23h30min, e pico máximo de 12,48 Ampères às 13h30min, às 14h15min, às 14h30min, às 15h45min e às 16h58min.

Observa-se nos Gráficos 52 e 53, e nos anexos 39B e 40B, que no sistema elétrico não existe o equilíbrio das cargas, sendo necessário o levantamento destas cargas em busca de um sistema elétrico equilibrado.

4.2.5.3 Análise do fator de potência no Departamento de Ciências Exatas

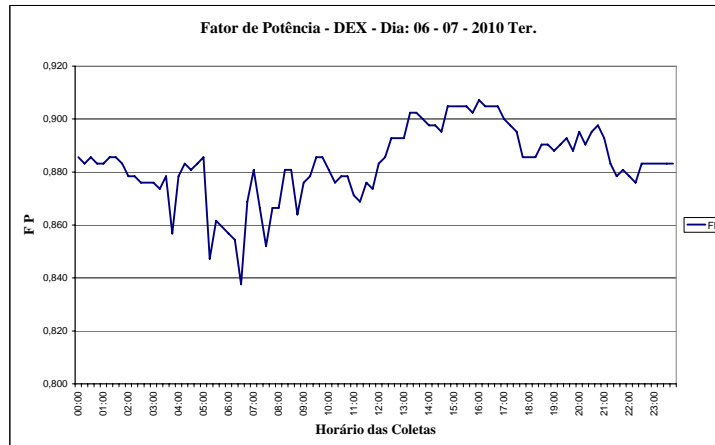


Gráfico 54 FP – DEX - dia letivo (06/07/10)

Observa-se no Gráfico 54 que o fator de potência se apresenta com valores entre 0,75 e 0,92 e, durante alguns períodos, valores acima de 0,92, conforme observado nos anexos de 41B a 43B.

O baixo fator de potência se deve provavelmente à presença do laboratório de computação científica e demais computadores, e também a equipamentos de ar condicionado e reatores da iluminação.

4.2.5.4 Análise da tensão no Departamento de Ciências Exatas

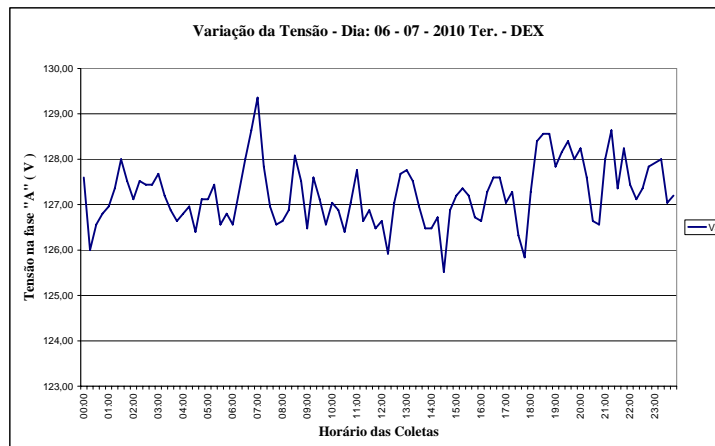


Gráfico 55 Curva de variação da tensão - dia letivo (06/07/10)

Não foram observadas flutuações significativas de tensão em nenhum dos dias analisados, conforme observado no Gráfico 55 e nos anexos de 44B a 46B.

4.3 Análise da qualidade da energia elétrica

Os dados coletados no Centro de Informática da UFLA pelo Power Quality Analyzer Fluke 435 foram descarregados no software Power Log e obtiveram-se os gráficos mostrados a seguir.

4.3.1 Distorção harmônica no neutro – Centro de Informática da UFLA

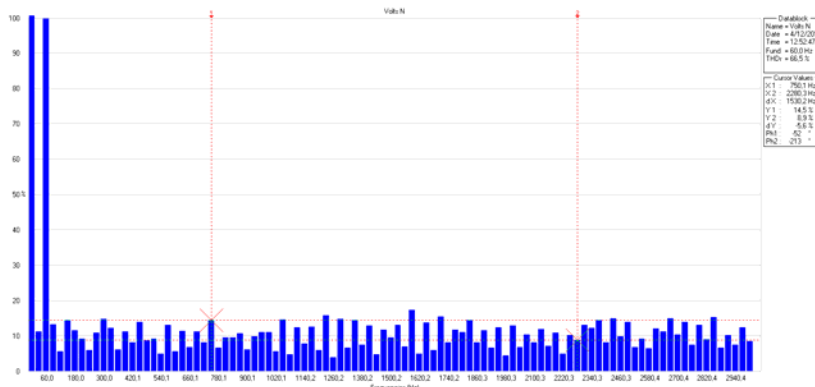


Gráfico 56 Distorção harmônica no neutro (05/12/10)

Analisando o Gráfico 56 observa-se a “poluição” chamada de distorção harmônica presente no neutro. Nota-se que estão presente as harmônicas de ordem ímpar (3^a, 5^a, 7^a, 11^a, até 49^a), as que mais causam danos, sendo que a 13^a (780 Hz) está com uma distorção igual a 15% e os harmônicos de ordem 21^a (1260 Hz), 27^a (1620 Hz), 45^a (2700 Hz) e 47^a (2829 Hz) estão com uma distorção maior que 15%. A distorção harmônica total (THD) é de 66,5%.

São causadas por cargas não lineares como inversores de frequência, retificadores e fontes chaveadas que é a maioria dos equipamentos do Centro de Informática da UFLA, podendo causar danos que vão desde um falso disparo de disjuntor até a parada total de um equipamento. Há a necessidade de reduzi-las a níveis em que o efeito das mesmas nos equipamentos instalados seja quase desprezível, já que a eliminação total dos harmônicos presentes na rede elétrica é praticamente impossível.

4.3.2 Distorção harmônica na fase “A” – Centro de Informática da UFLA

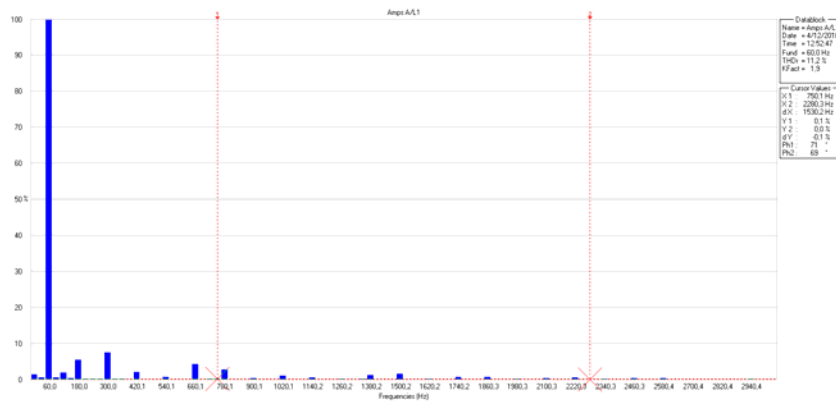


Gráfico 57 Distorção harmônica na fase “A” (05/12/10)

Analisando o Gráfico 57 nota-se a distorção harmônica presente na fase “A”, os de ordem ímpar (3^a, 5^a, 7^a, 11^a, etc.), sendo que 3^a harmônico (180 Hz) está com uma distorção aproximadamente igual a 5% e o harmônico de ordem 5^a (300 Hz) está com uma distorção aproximadamente igual a 8%, e o 7^a (1620 Hz) está com uma distorção de aproximadamente 2%, 11^a (2700 Hz) distorção de aproximadamente 4%, e os restantes estão com uma distorção menor que 2%. A distorção harmônica total (THD) é de 11,2%.

4.3.3 Distorção harmônica na fase “B” – Centro de Informática da UFLA

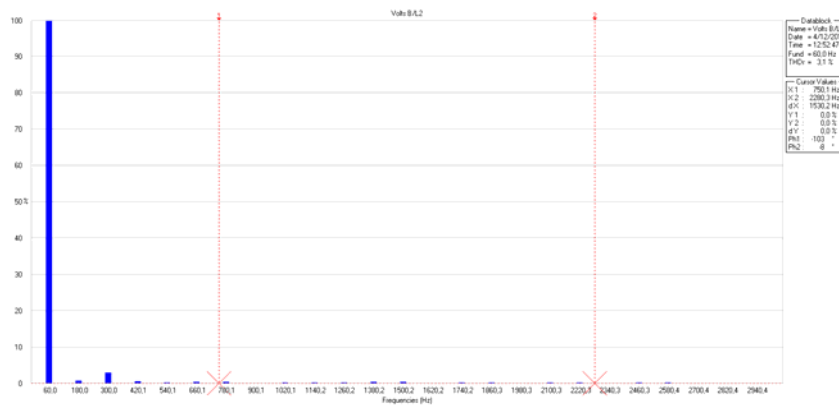


Gráfico 58 Distorção harmônica na fase “B” (05/12/10)

Analisando o Gráfico 58 observa-se a distorção harmônica presente na fase “B”. Os harmônicos de ordem ímpar (3^a, 5^a, 7^a, 11^a, etc.) estão presentes, o 3^a harmônico (180 Hz) está com uma distorção aproximadamente igual a 2% e o harmônico de ordem 5^a (300 Hz) está com uma distorção aproximadamente igual a 4%, e os restantes estão com uma distorção menor que 1%. A distorção harmônica total (THD) é de 3,1%.

4.3.4 Distorção harmônica na fase “C” – Centro de Informática da UFLA

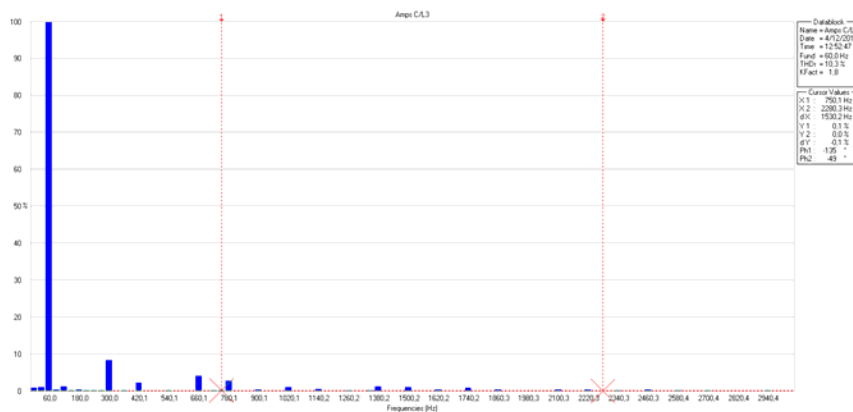


Gráfico 59 Distorção harmônica na fase “C” (05/12/10)

Observou-se no Gráfico 59 a presença da distorção harmônica na fase “C”, composta pelos harmônicos de ordem ímpar (3^a, 5^a, 7^a, 11^a, etc.), estando o 3^a harmônico (180 Hz) com uma distorção menor que 1% e o harmônico de 5^a ordem (300 Hz), com uma distorção aproximadamente igual a 8%, 7^a (420 Hz) aproximadamente igual a 2%, 11^a (660 Hz) aproximadamente igual a 4%, 13^a (780 Hz) aproximadamente igual a 3% e os restantes estão com uma distorção menor ou igual a 1%. A distorção harmônica total (THD) é de 10,3%.

Uma das soluções adotadas para este tipo de problema (a mais tradicional) é a instalação de bancos de capacitores sintonizados nas frequências de interesse, os quais atuam no sentido de corrigir o fator de potência (indutivo) e minimizar as harmônicas. Outra solução mais eficaz para eliminar as harmônicas são os chamados “Filtros Ativos de Harmônicas” como mostra as Figuras 3, 4 e 5. Tratam-se de dispositivos que têm a potência (tensão e corrente) necessária para neutralizar as formas de onda presentes nas frequências diferentes da fundamental, ou seja, ele injeta na rede sinais com as mesmas amplitudes das harmônicas, porém, invertidos (defasados em 180°),

permanecendo assim somente a senoide perfeita na frequência fundamental.

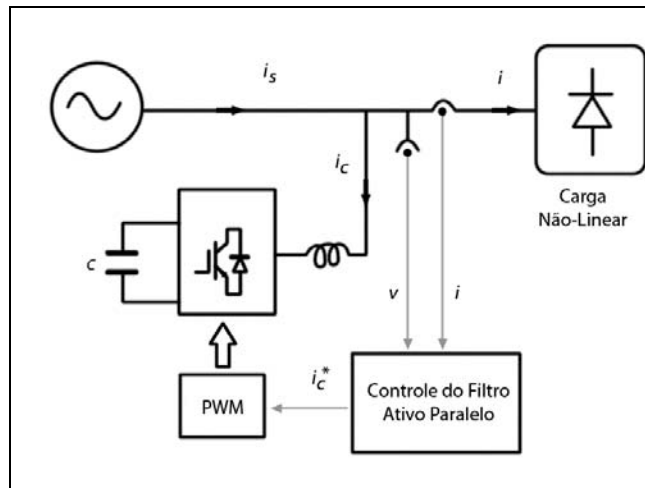


Figura 4 Filtro ativo paralelo

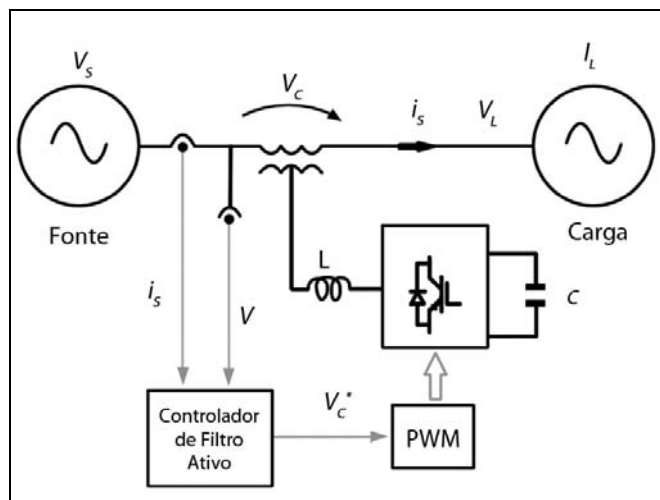


Figura 5 Filtro ativo serie

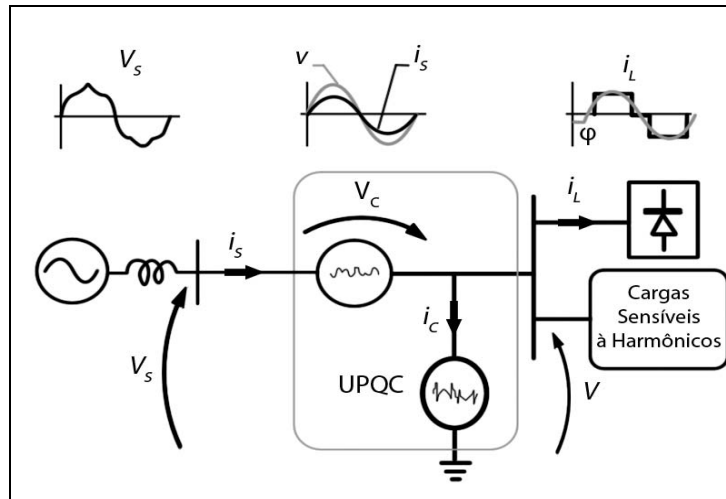


Figura 6 Filtro ativo serie/paralelo

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

O diagnóstico apresentado neste trabalho demonstra que os medidores Spectrum SX de fabricação da Nansen S.A. atendem ao monitoramento do consumo e gerenciamento da demanda. Foi constatado que as instalações da UFLA apresentam sérios problemas de equilíbrio de carga, baixo fator de potência, bem como a presença de harmônicas.

Há necessidade imediata de se realizar uma atualização do projeto de todas os setores estudados, que também deverá ser extrapolada para as demais.

O treinamento de redes neurais artificiais, alimentadas com os dados atuais, poderá ser de grande valia para previsão da demanda futura e, assim, com base nestas previsões contratar uma demanda próxima da energia consumida.

O uso de aquecedores solares, utilizando todo o teto do restaurante universitário e a utilização de caldeira ecológica, alimentada com a queima exclusivamente de biomassa (ex. cavacos de madeira) para a produção de vapor, poderão ser fatores determinantes na redução do consumo de energia elétrica.

Deve-se priorizar o uso da ventilação natural, adequando todos os departamentos e setores da Universidade, a fim de racionalizar o uso de aparelhos de ar condicionado.

A iluminação natural também deverá ser priorizada, verificando as possíveis adaptações nos ambientes já existentes, o uso de novas tecnologias de iluminação (LED) e comando (sensor de presença). Deve-se tornar obrigatório, que as novas edificações sejam concebidas por edifícios energeticamente eficientes, com incorporação de energias renováveis.

O fator de potência deve ser analisado em todas as unidades consumidoras da Universidade, identificando a causa de sua origem. A instalação de reatores de alto fator de potência pode contornar, em parte, este problema. A correção efetuada até o valor de 0,95 ou 95% é considerada

suficiente. A correção do fator de potência, através de capacitores estáticos, constitui a solução mais prática de modo geral. Entretanto, alguns cuidados devem ser tomados para que os capacitores não sejam usados indiscriminadamente. É preciso critério, cada caso deve ser estudado especificamente, para determinar qual o melhor método a ser implantado, e em que ponto deve ser instalado. A automatização de Bancos de Capacitores (ligamento e desligamento automático de capacitores) é uma boa opção, mas requer uma análise econômica, bem como dos aspectos técnicos que justifiquem a sua implantação.

Por essas razões, em cada ponto que for efetuada a correção de fator de potência deve ser considerado como um caso individual, pois não existem soluções pré-fabricadas.

As distorções harmônicas devem ser objeto de grande atenção. Deverão ser monitoradas adotando soluções para eliminá-las, usando os chamados “Filtros Ativos de Harmônicas” que se tratam de dispositivos que têm a potência (tensão e corrente) necessária para neutralizar as formas de ondas presentes nas frequências diferentes da fundamental, ou seja, ele injeta na rede, sinais com as mesmas amplitudes das harmônicas, porém invertidos (defasados em 180°), permanecendo assim somente a senoide perfeita.

Finalmente, o mais importante é uma iniciativa que vise chamar a atenção de toda a comunidade acadêmica, para a conscientização da necessidade de redução do consumo de energia, num país que ainda não é muito receptivo a importância desta questão, impedindo, assim, a utilização de novas tecnologias eficientes economicamente.

REFERÊNCIAS

- AFONSO, J. L.; SILVA, H. R.; MARTINS, J. S. **Active filters for power quality improvement**. Porto: IEEE, 2001. 5 p.
- ARRUDA, E. F. **Análise de distúrbios relacionados com a qualidade da energia elétrica utilizando a transformada Wavelet**. 2003. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2003.
- DUGAN, R. C. et al. **Electrical power systems quality**. Columbus: McGraw-Hill, 2002. 529 p.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR ELECTROTECHNICAL STANDARDIZATION. **NE/EN 50160**: caractéristiques de la tension fournie par les réseaux publics de distribution. Brussels, 1994. 40 p.
- FRANCO, E. **Qualidade de energia**: causas, efeitos e soluções. Disponível em: <http://www.engcomp.com.br/pow_qual.htm>. Acesso em: 10 jul. 2009.
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE standard 519**: IEEE recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems. New York, 1992. 100 p.
- _____. **IEEE standard 1159**: IEEE recommended practice for monitoring electric power quality. New York, 1995. 76 p.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61000-2-1**: description of the environment: electromagnetic environment for low-frequency conducted disturbances and signaling in public power supply systems. Geneva, 1990a. 28 p.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61000-2-2:** compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signaling in public low-voltage power supply systems. Geneva, 1990b. 13 p.

_____. **IEC 61000-2-4:** compatibility levels in industrial plants for low-frequency conducted disturbances. Geneva, 1994. 15 p.

MARTINHO, E. **Distúrbios da energia elétrica**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2009. 140 p.

MAZURKIEWICZ, G. **Task 10:** energy reduction through practical scheduled maintenance: subtask 10.1 literatura review. Alexandria: NCEMBT, 2001. 88 p. Disponível em:
<http://www.achrnews.com/CDA/ArticleInformation/features/BNP_Features_Item/0,1338,62014,00.html>. Acesso em: 10 dez. 2010.

NANSEN. **Manual spectrum série S**. Contagem, 2008. 78 p. Disponível em:
<<http://nansen.com.br/dvme/eletronicos.asp?VarId=6>>. Acesso em: 2 maio 2009.

OLESKOVICZ, M. Qualidade da energia elétrica: conceitos e definições direcionadas a sistemas industriais. In: **WORKSHOP DE PROTEÇÃO: ESTUDOS AVANÇADOS DE PROTEÇÃO DE MOTORES EM MÉDIA TENSÃO** SCHWEITZ ENGINEERING LABORATORIES, 2., 2005, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC/USP, 2005. 1 CD-ROM.

ANEXOS

ANEXO A Validação dos medidores
Valores comparados na Cantina Central

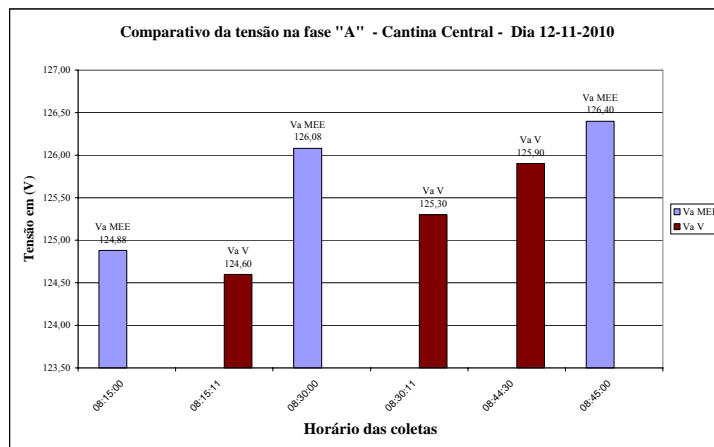


Gráfico 1A Comparativo da tensão na fase “A” - CANTINA CENTRAL (12/11/10)

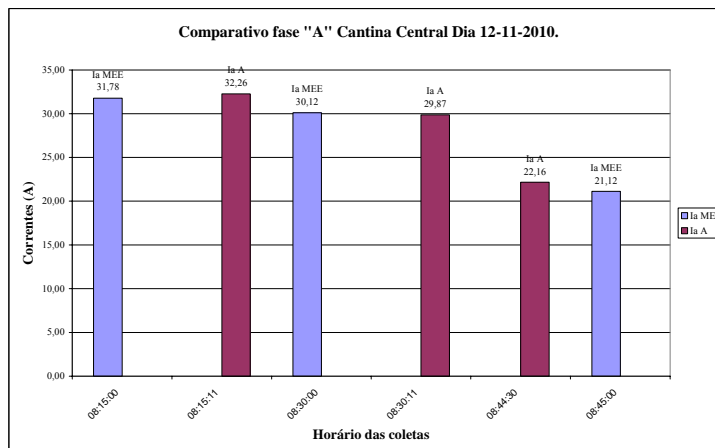


Gráfico 2A Comparativo das correntes na fase “A” - CANTINA CENTRAL (12/11/10)

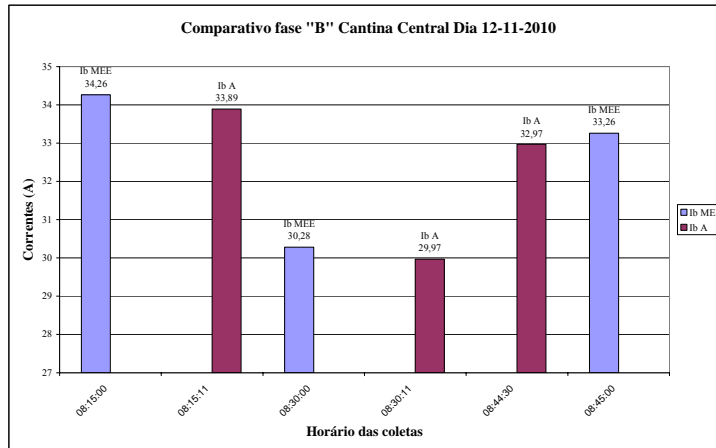


Gráfico 3A Comparativo das correntes na fase “B” - CANTINA CENTRAL (12/11/10)

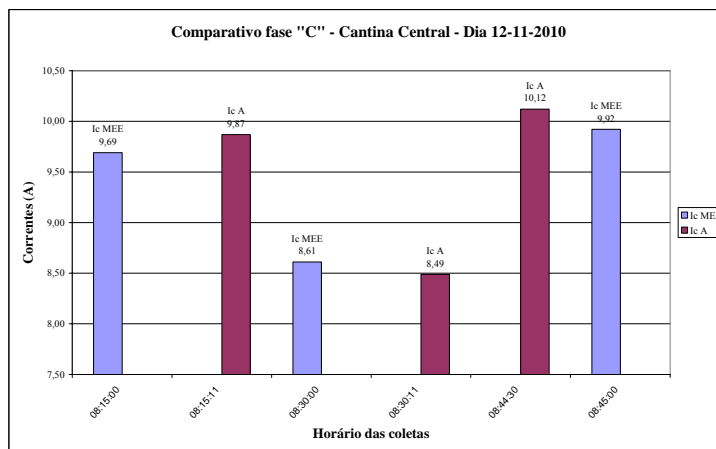
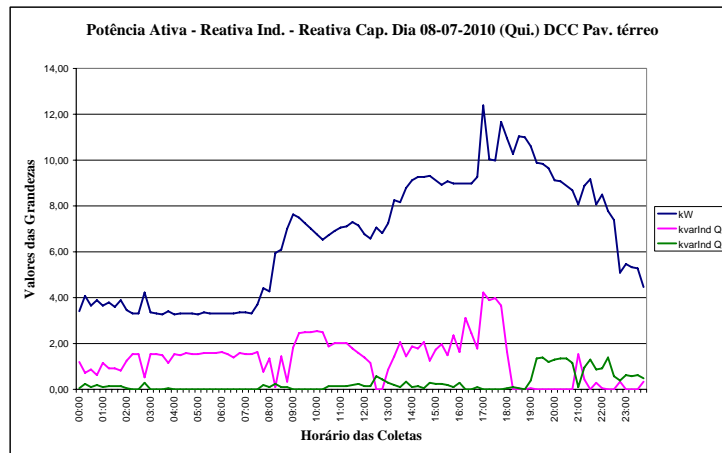
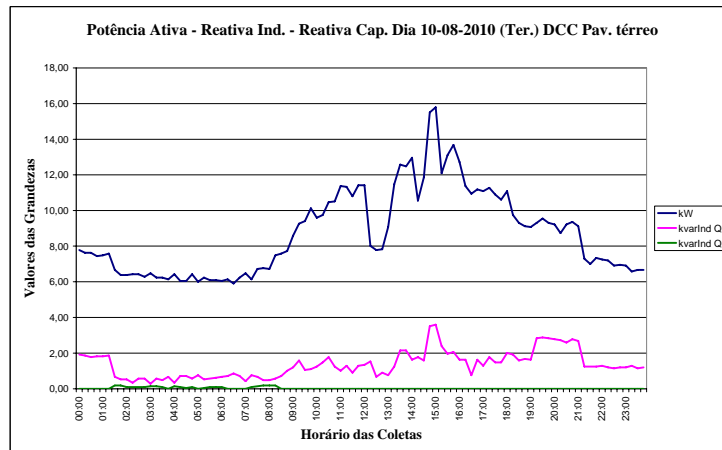


Gráfico 4A Comparativo das correntes na fase “C” - CANTINA CENTRAL (12/11/10)

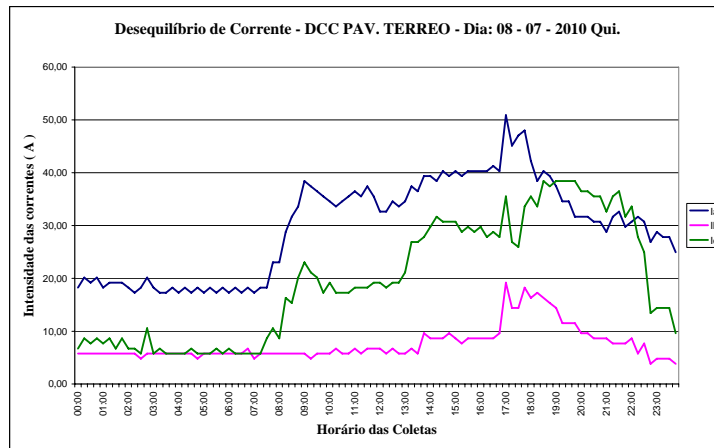
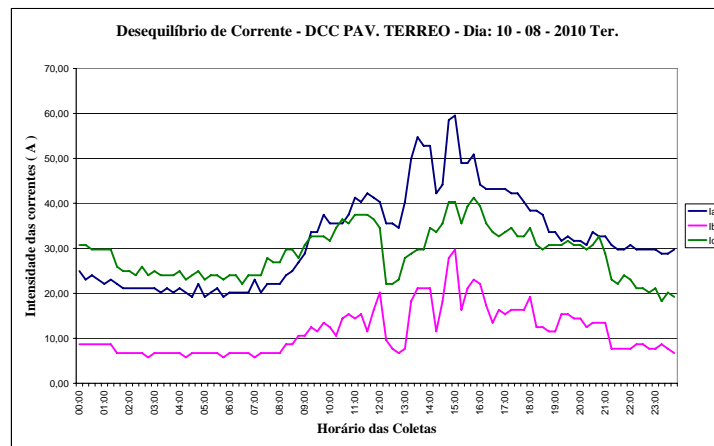
ANEXO B Análise dos resultados

Departamento de Ciência da Computação no pavimento térreo

Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva

Gráfico 1B P [kW]; Q_L [kVAr]; Q_C [kVAr] - dia letivo (08/07/10)Gráfico 2B P [kW]; Q_L [kVAr]; Q_C [kVAr] - dia letivo (10/08/10)

Análise da intensidade das correntes

Gráfico 3B Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (08/07/10)Gráfico 4B Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (10/08/10)

Análise do fator de potência

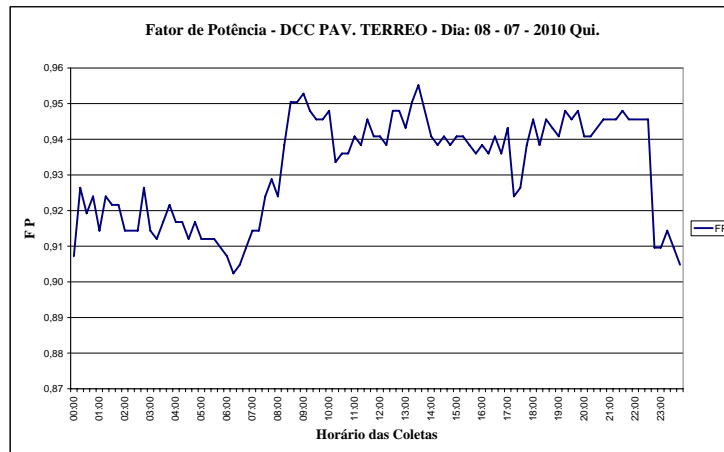


Gráfico 5B FP – DCC - dia letivo (08/07/10)

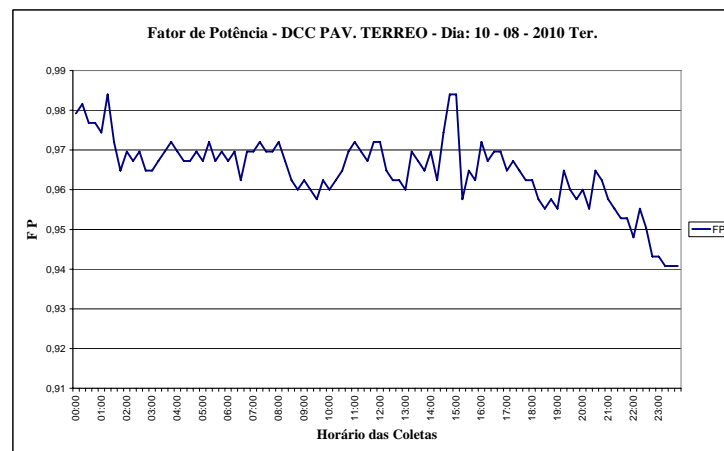


Gráfico 6B FP – DCC - dia letivo (10/08/10)

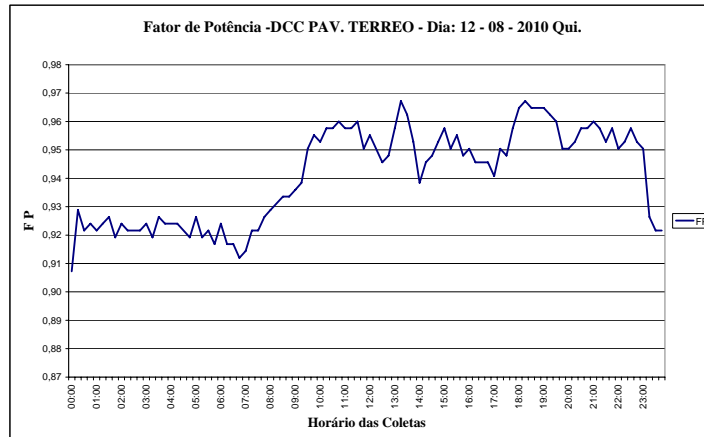


Gráfico 7B FP – DCC - dia letivo (12/08/10)

Análise da tensão

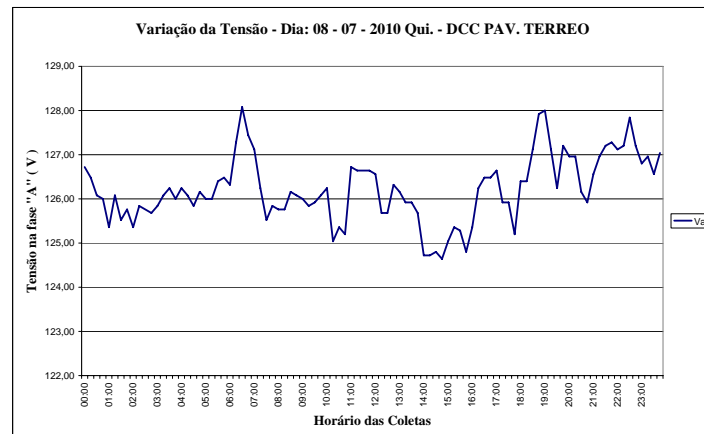


Gráfico 8B Curva de variação da tensão - dia letivo (08/07/10)

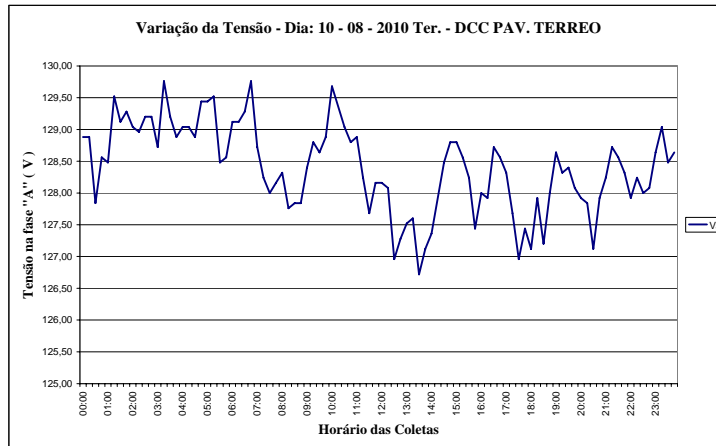


Gráfico 9B Curva de variação da tensão - dia letivo (10/08/10)

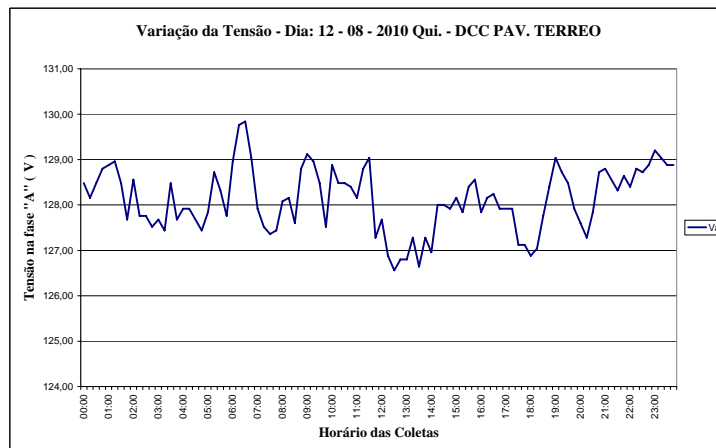


Gráfico 10B Curva de variação da tensão - dia letivo (12/08/10)

Restaurante Universitário
 Análise do fator de potência

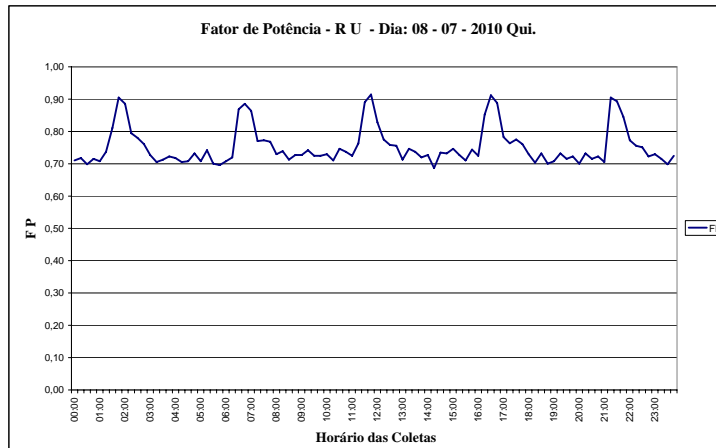


Gráfico 11B FP - RU - dia letivo (08/07/10)

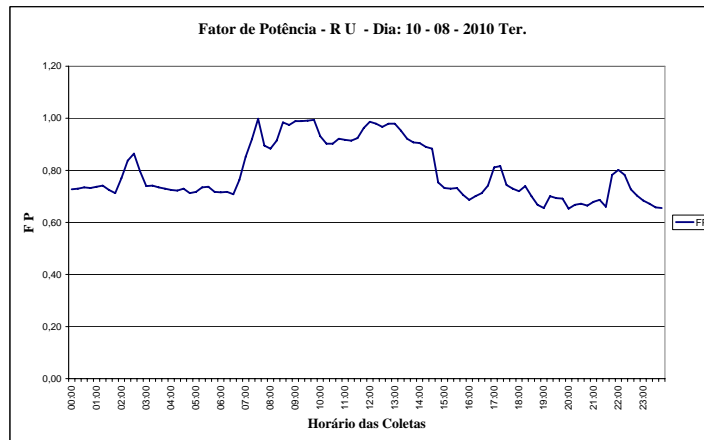


Gráfico 12B FP - RU - dia letivo (10/08/10)

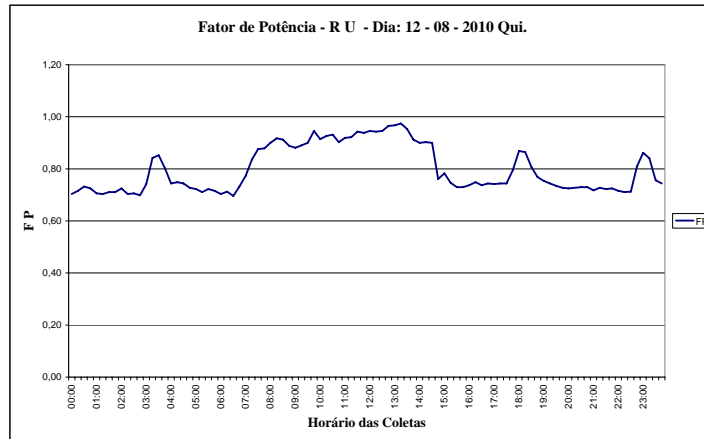


Gráfico 13B FP - RU - dia letivo (12/08/10)

Análise de tensão

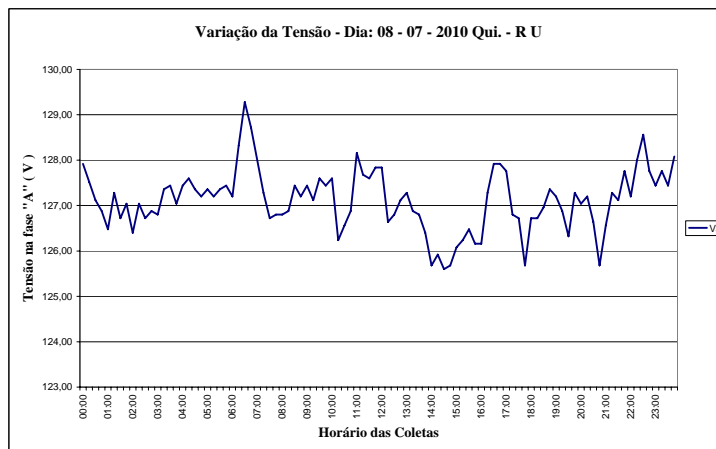


Gráfico 14B Curva de variação da tensão - dia letivo (08/07/10)

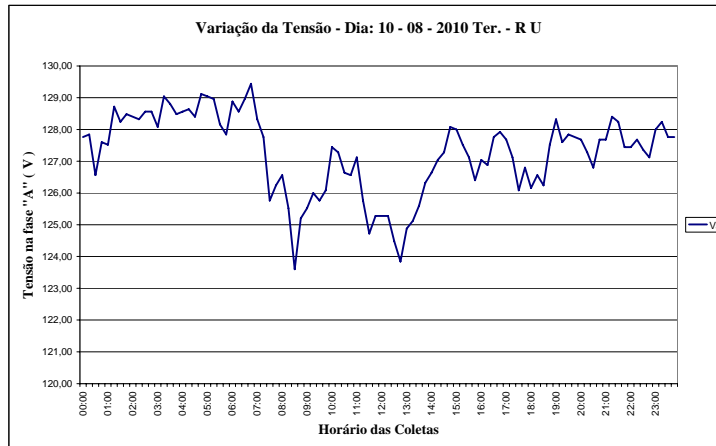


Gráfico 15B Curva de variação da tensão - dia letivo (10/08/10)

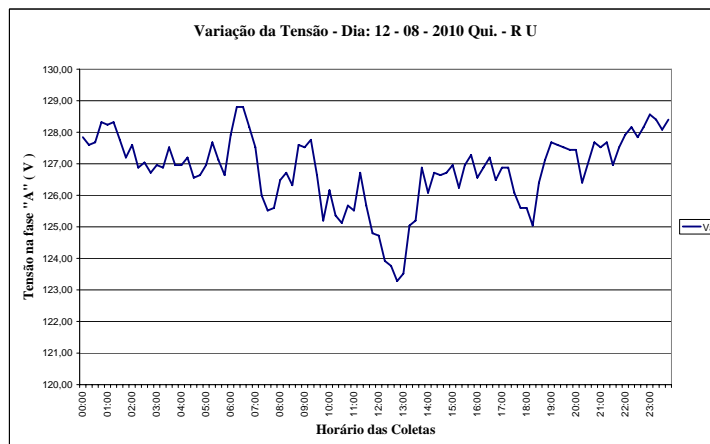


Gráfico 16B Curva de variação da tensão - dia letivo (12/08/10)

Centro de Informática da Universidade Federal de Lavras
 Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva

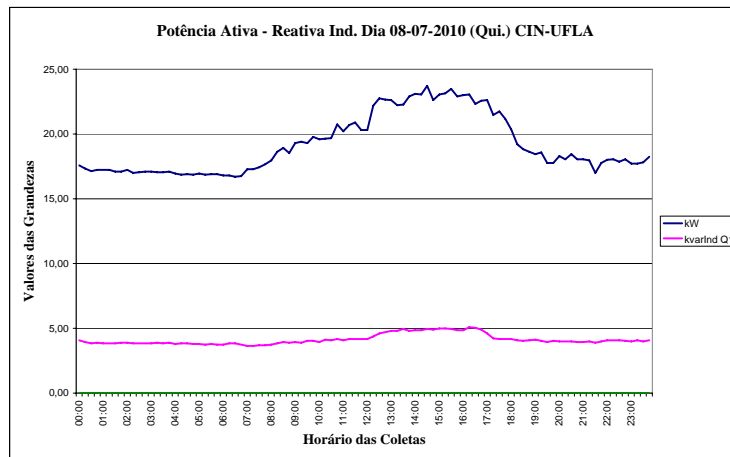


Gráfico 17B P [kW]; Q_L [kVAr] - dia letivo (08/07/10)

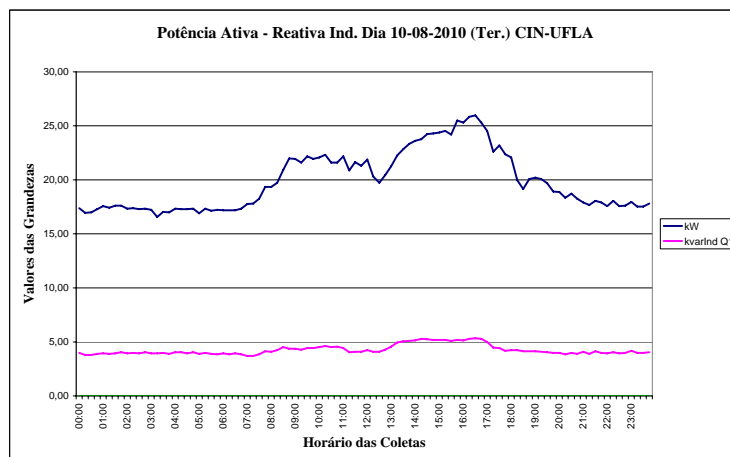
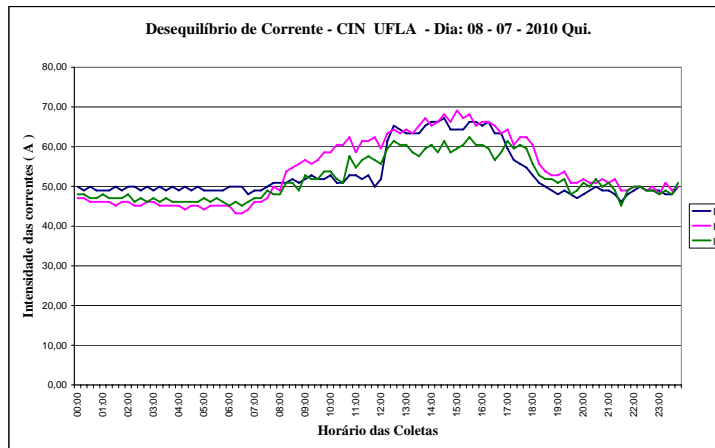
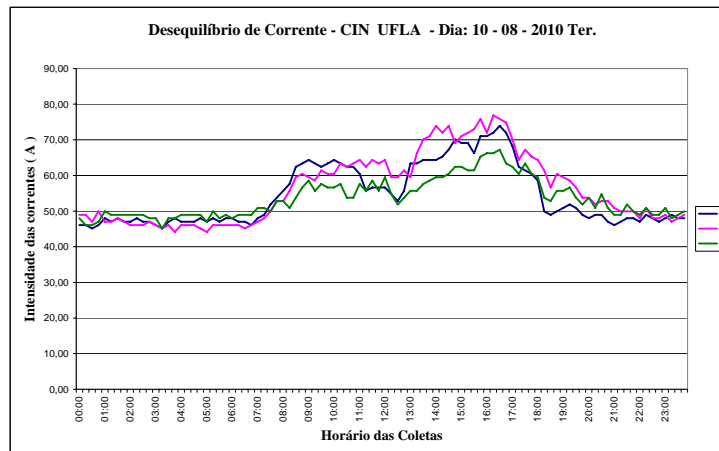


Gráfico 18B P [kW]; Q_L [kVAr] - dia letivo (10/08/10)

Análise da intensidade das correntes

Gráfico 19B Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (08/07/10)Gráfico 20B Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (10/08/10)

Análise do fator de potência

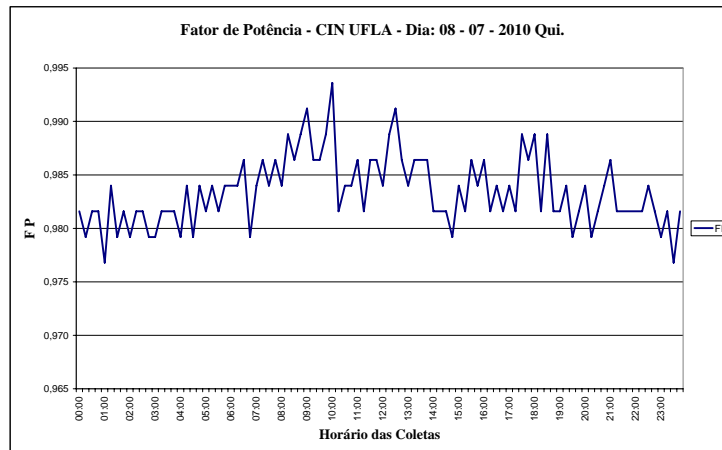


Gráfico 21B FP – CIN-UFLA - dia letivo (08/07/10)

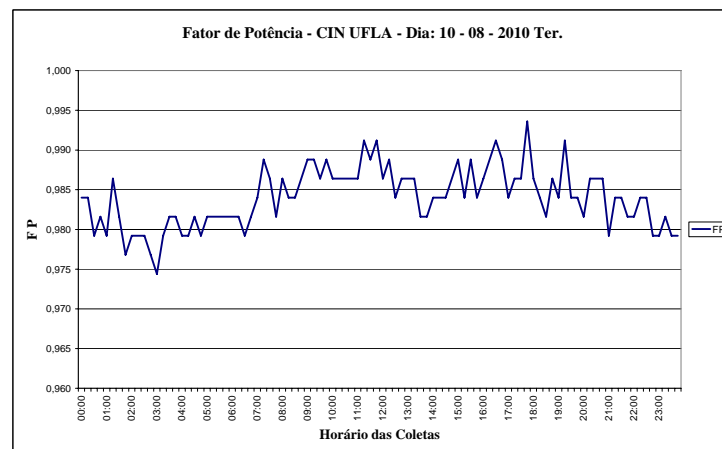


Gráfico 22B FP – CIN-UFLA - dia letivo (10/08/10)

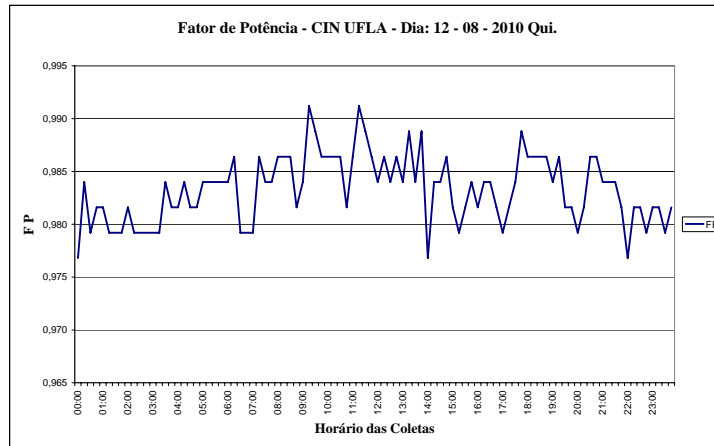


Gráfico 23B FP – CIN-UFLA - dia letivo (12/08/10)

Análise da tensão

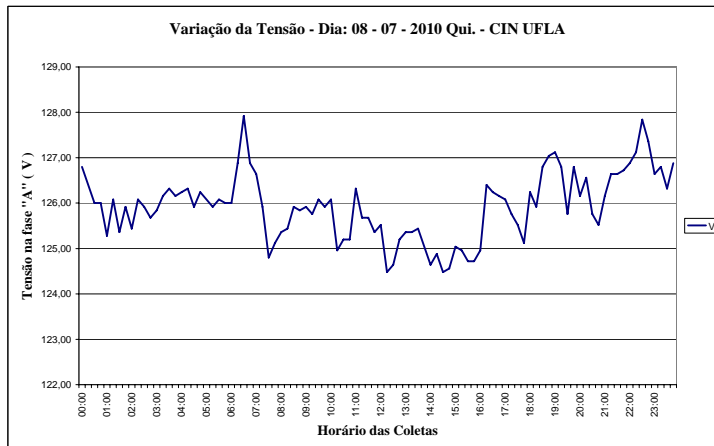


Gráfico 24B Curva de variação da tensão - dia letivo (08/07/10)

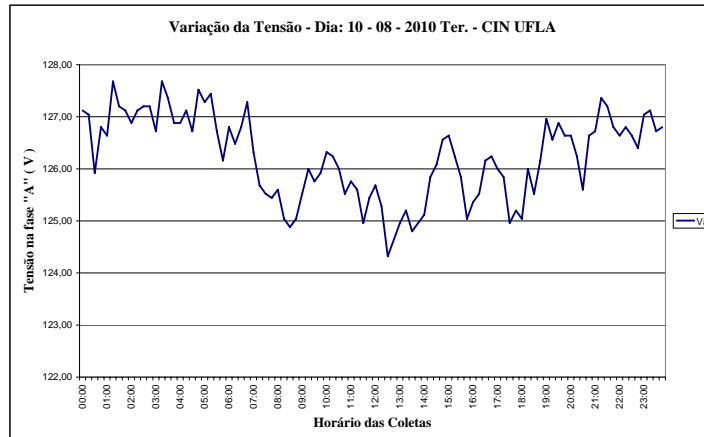


Gráfico 25B Curva de variação da tensão - dia letivo (10/08/10)

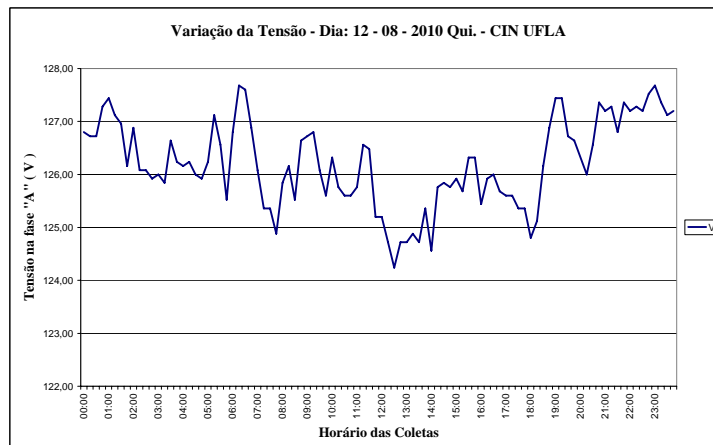
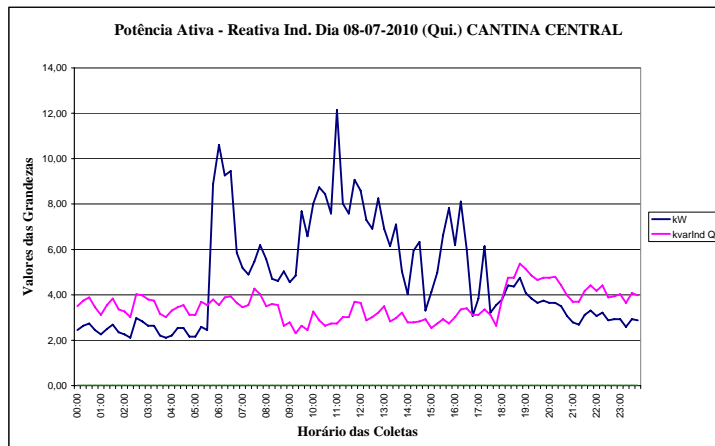
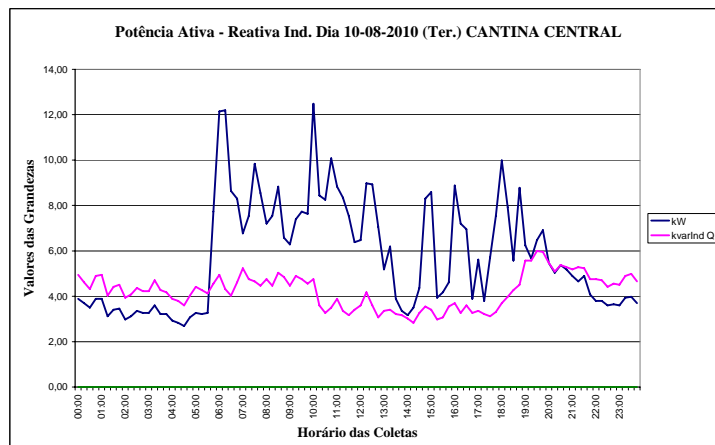


Gráfico 26B Curva de variação da tensão - dia letivo (12/08/10)

Cantina Central

Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva

Gráfico 27B P [kW]; Q_L [kVAR] - dia letivo (08/07/10)Gráfico 28B P [kW]; Q_L [kVAR] - dia letivo (10/08/10)

Análise da intensidade das correntes na Cantina Central

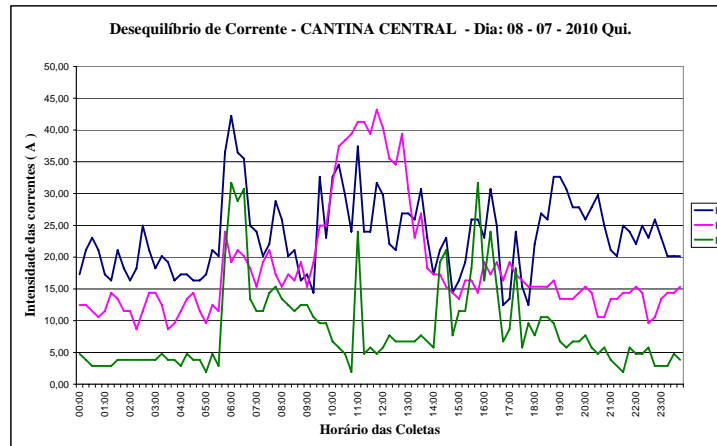


Gráfico 29B Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (08/07/10)

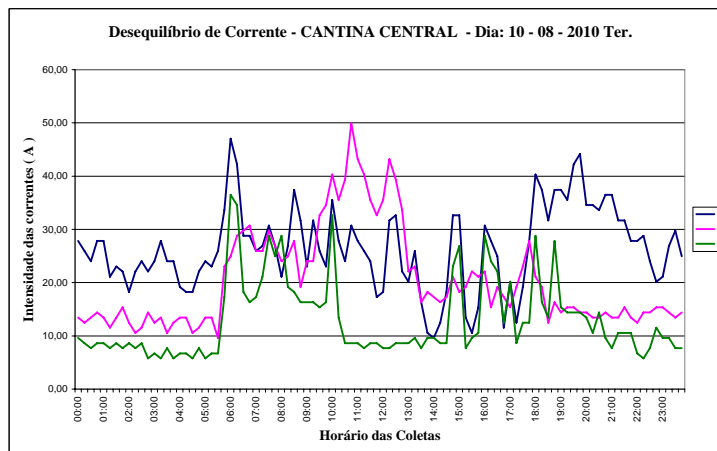


Gráfico 30B Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (10/08/10)

Análise do fator de potência na Cantina Central

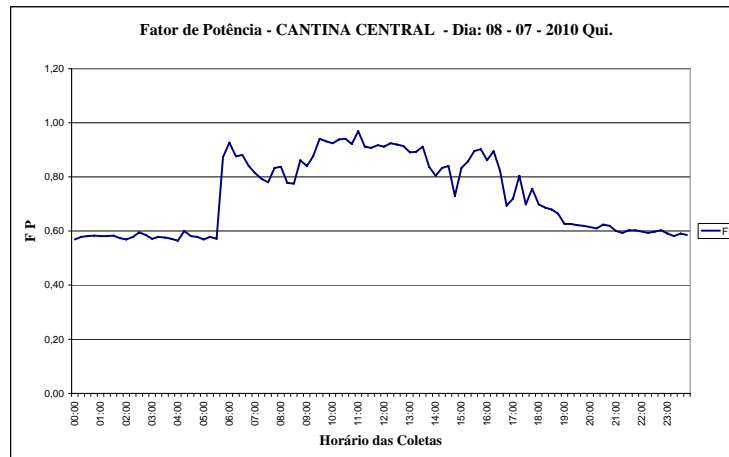


Gráfico 31B FP - CANTINA CENTRAL - dia letivo (08/07/10)

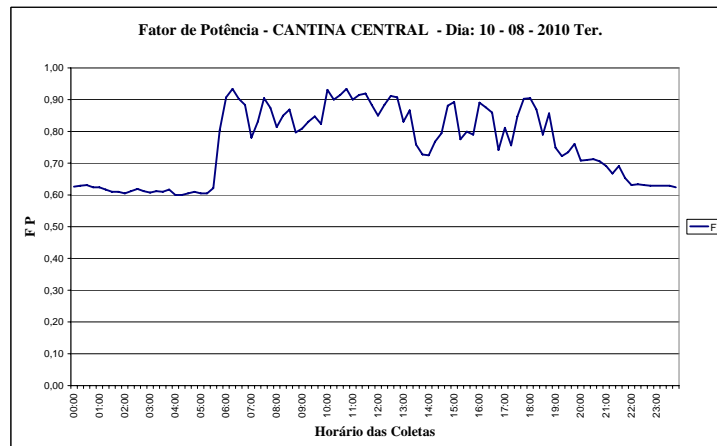


Gráfico 32B FP - CANTINA CENTRAL - dia letivo (10/08/10)

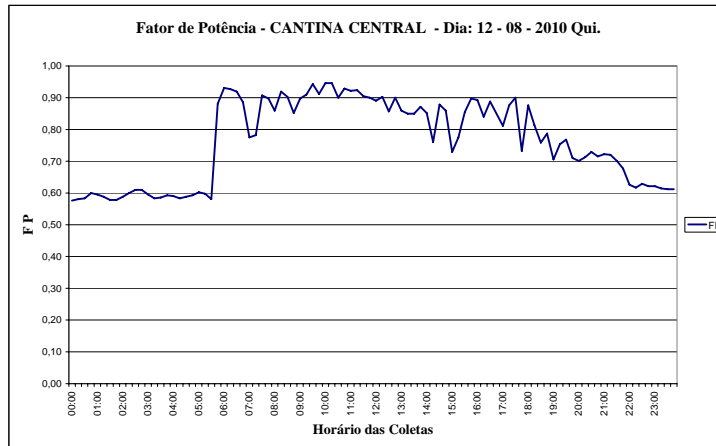


Gráfico 33B FP - CANTINA CENTRAL - dia letivo (12/08/10)

Análise da tensão na Cantina Central

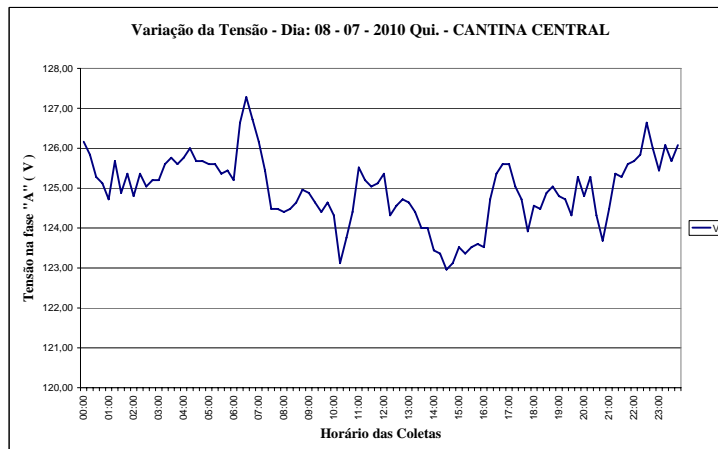


Gráfico 34B Curva de variação da tensão - dia letivo (08/07/10)

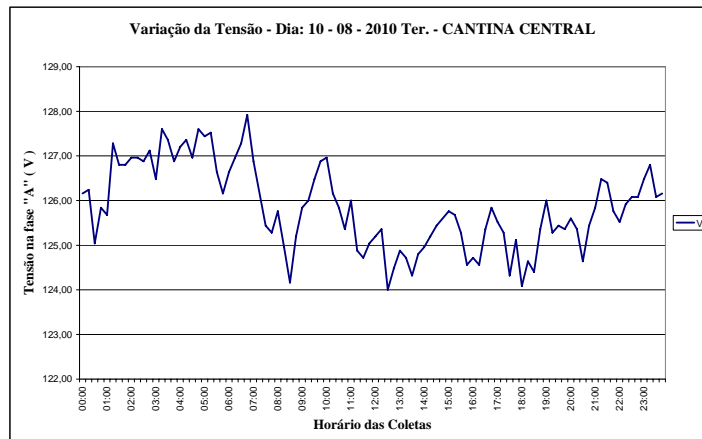


Gráfico 35B Curva de variação da tensão - dia letivo (10/08/10)

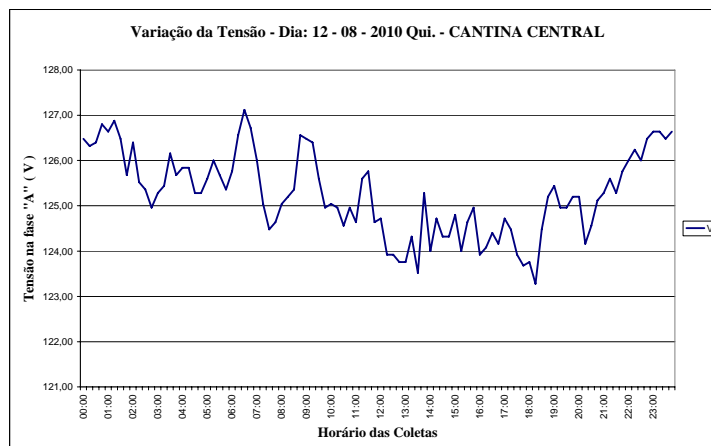


Gráfico 36B Curva de variação da tensão - dia letivo (12/08/10)

Departamento de Ciências Exatas

Análise das potências: ativa, reativa indutiva e reativa capacitiva no

Departamento de Ciências Exatas

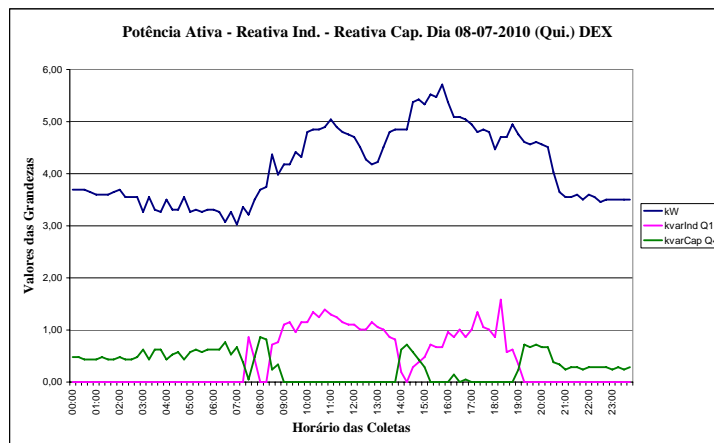


Gráfico 37B P [kW]; Q_L [kVAR]; Q_C [kVAR] - dia letivo (08/07/10)

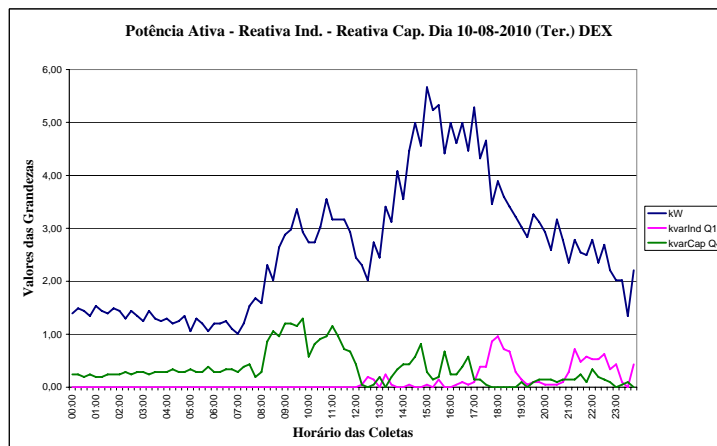


Gráfico 38B P [kW]; Q_L [kVAR]; Q_C [kVAR] - dia letivo (10/08/10)

Análise da intensidade das correntes no Departamento de Ciências Exatas.

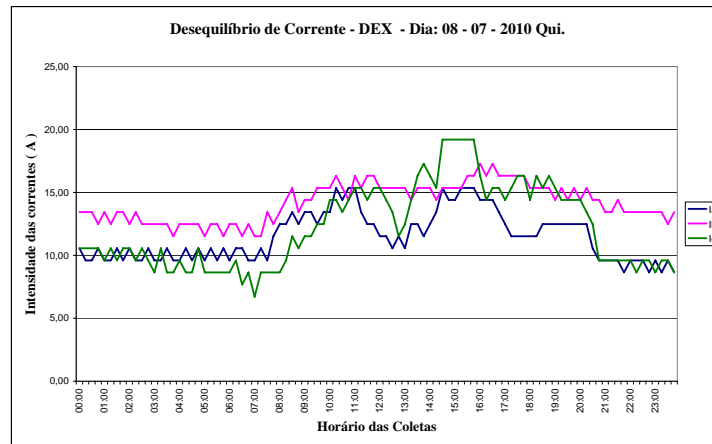


Gráfico 39B Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (08/07/10)

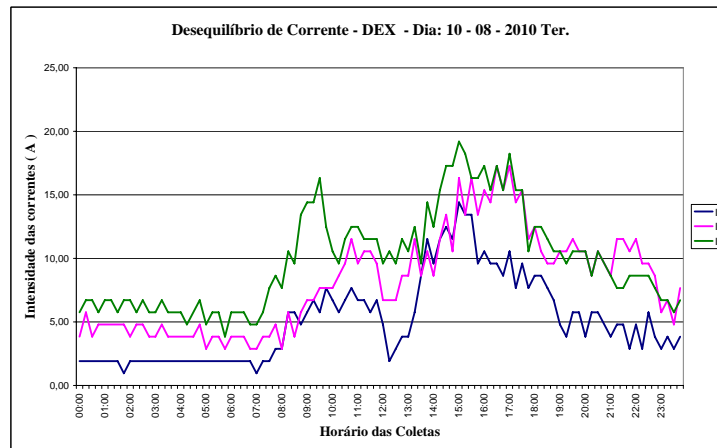


Gráfico 40B Curva de desequilíbrio da I_{RMS} - dia letivo (10/08/10)

Análise do fator de potência no Departamento de Ciências Exatas

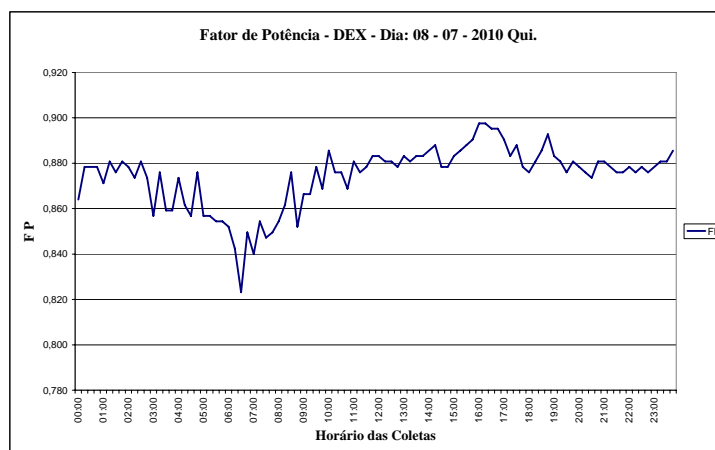


Gráfico 41B FP - DEX - dia letivo (08/07/10)

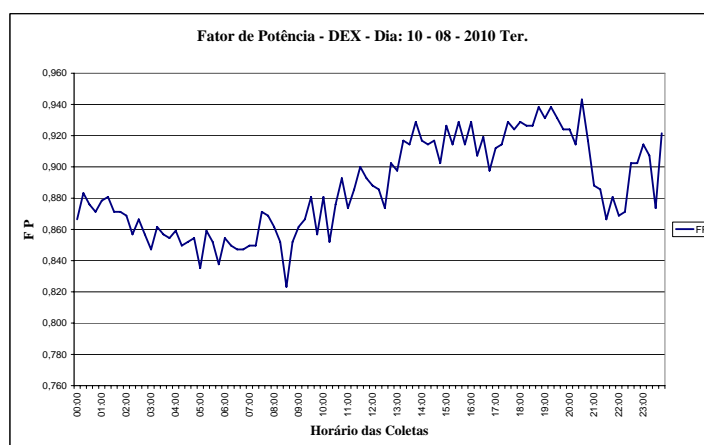


Gráfico 42B FP - DEX - dia letivo (10/08/10)

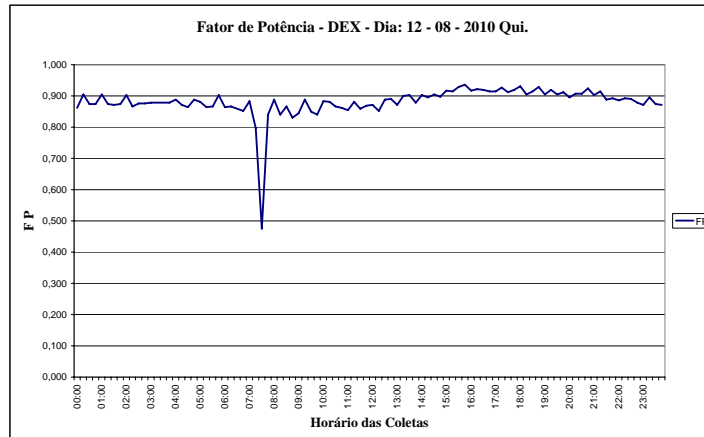


Gráfico 43B FP - DEX - dia letivo (12/08/10)

Análise da tensão no Departamento de Ciências Exatas

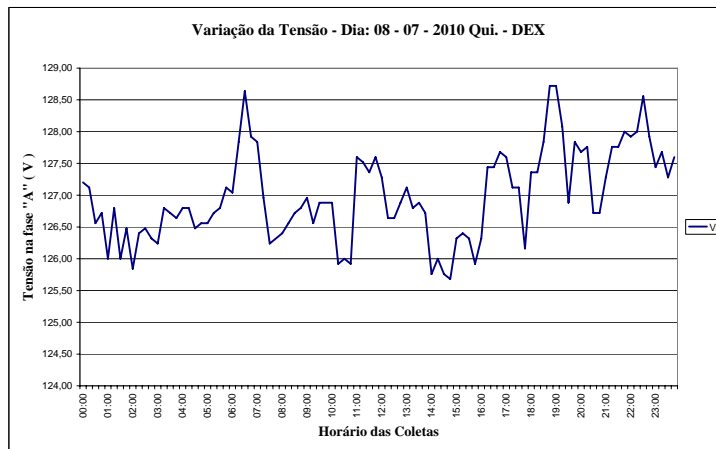


Gráfico 44B Curva de variação da tensão - dia letivo (08/07/10)

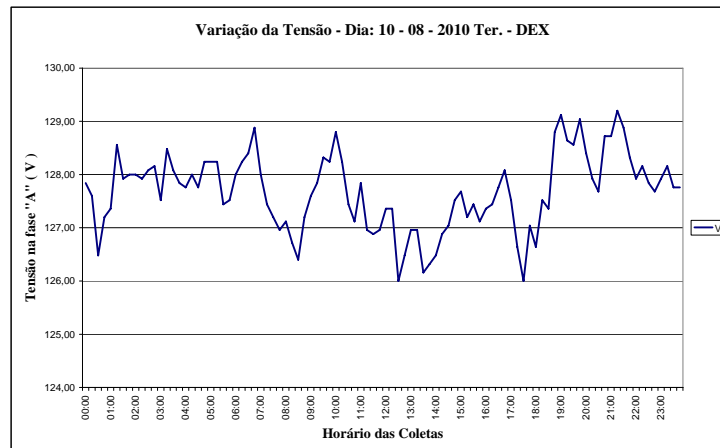


Gráfico 45B Curva de variação da tensão - dia letivo (10/08/10)

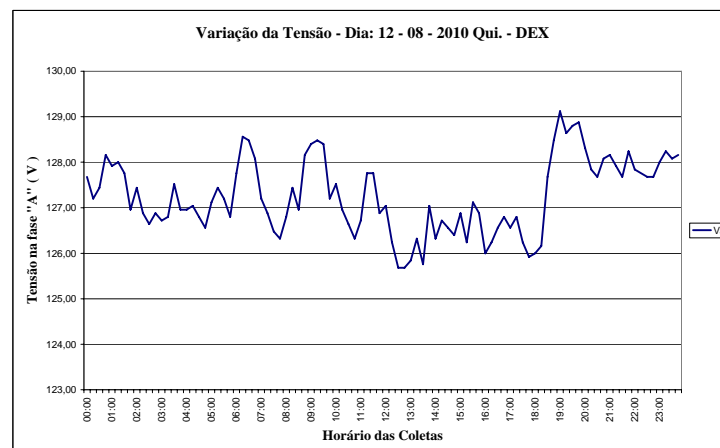


Gráfico 46B Curva de variação da tensão - dia letivo (12/08/10)