Campus de São Carlos

PROPOSTA DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA APLICADA AO CAMPUS DE SÃO CARLOS - USP

Autor: Alexandre Cristiano Pereira
Orientador: Prof. Tit. Délio Pereira Guerrini

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

**PROPOSTA DE
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA
APLICADA AO CAMPUS DE SÃO CARLOS - USP**

Alexandre Cristiano Pereira

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica

ORIENTADOR: Prof. Tit. Délio P. Guerrini

DEDALUS - Acervo - EESC

31100016630

São Carlos

1998

Class.	TESE-EESC
Cutt.	4355
Tombo	T0358/98

at 0980567

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP**

P436p Pereira, Alexandre Cristiano
Proposta de conservação de energia elétrica
aplicada ao campus de São Carlos - USP / Alexandre
Cristiano Pereira. -- São Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Engenharia Elétrica.
Orientador: Prof. Dr. Délio P. Guerrini.

1. Conservação de energia. 2. Economia de energia
elétrica. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Engenheiro **ALEXANDRE CRISTIANO PEREIRA**

Dissertação defendida e aprovada em 22-04-1998
pela Comissão Julgadora:

Prof. Titular **DELIO PEREIRA GUERRINI (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Titular **FRANCISCO ANTONIO ROCCO LAHR**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **ADERBAL DE ARRUDA PENTEADO JÚNIOR**
(Escola Politécnica - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **DENIS VINICIUS COURY**
Coordenador da Área de Engenharia Elétrica

JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

*Aos meus pais,
Aparecido e Cleide,
meus primeiros e eternos educadores.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao nosso bom e generoso Deus.

Em especial ao professor Tit. Délio Pereira Guerrini que através de sua experiência me orientou na tarefa de realizar um estudo prático e dinâmico, em prol do campus de São Carlos - USP. Aos professores Tit. Ruy A. C. Altafim e Dr. José C. Felizatti pelas observações e sugestões feitas, como banca examinadora de qualificação. Ao professor Dr. Diógenes P. Gonzaga que me acompanhou ajudando sempre que necessário na elaboração deste trabalho.

Aos funcionários da prefeitura do campus da USP de São Carlos que me forneceram material e informações. Ao setor de Obras e Manutenção Elétrica que além das informações dadas, proporcionou um suporte técnico indispensável para o levantamento dos problemas elétricos, por meio do acompanhamento das medições realizadas no interior do campus. À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de estudo concedida.

E aos meus amigos que além do companheirismo dispensado em muitos momentos, conseguiram arrancar sorrisos mesmo nas horas mais difíceis.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
LISTA DE SÍMBOLOS	v
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix

Capítulo 1

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Perfil do setor de energia elétrica no Brasil.....	2
1.2 A necessidade da conservação de energia elétrica	4
1.3 Potencial de conservação de energia nas edificações	5
1.4 Objetivos deste trabalho.....	6
1.5 Organização do trabalho.....	7

Capítulo 2

2 AQUISIÇÃO DAS VARIÁVEIS A ESTUDAR	8
2.1 Levantamento das características dos equipamentos envolvidos no estudo.....	9
2.1.1 Levantamento dos transformadores instalados.....	9
2.1.2 Levantamento da iluminação interna existente no Dep. de Eng. Elétrica.....	12
2.1.3 Levantamento da iluminação externa existente no campus.....	13
2.2 Levantamento das características de funcionamento das instalações.....	15
2.2.1 O equipamento registrador/medidor	15
2.2.2 Locais escolhidos para a aquisição de dados através do RE1000/PT	16
2.3 Considerações quanto a instalação do RE1000/PT	18
2.4 Considerações sobre o levantamento dos dados restantes	19

Capítulo 3

3 EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	20
3.1 Transformadores	21
3.1.1 Método adotado para o dimensionamento dos transformadores	21
3.1.2 Avaliação dos transformadores em operação no campus	24
3.1.2.1 Condições de operação dos transformadores	25
3.1.3 Propostas para melhorar a utilização dos transformadores	26
3.1.3.1 Realocação dos transformadores	27
3.1.3.2 Troca dos transformadores	33
3.1.3.3 Panorama final	37
3.2 Fator de Potência	39
3.2.1 Como melhorar o fator de potência e suas vantagens	40
3.2.2 Propostas para melhorar o fator de potência no campus	43
3.3 Fator de carga	46
3.3.1 Consequências do baixo fator de carga	47
3.3.1.1 Preço médio x Faturamento das contas de energia elétrica	48
3.3.2 Como melhorar o fator de carga e seus benefícios	51
3.3.3 Quadro atual em que se encontra o fator de carga dentro do campus	53
3.4 Conclusão	58

Capítulo 4

4 ILUMINAÇÃO	59
4.1 Iluminação interna	60
4.1.1 Equipamentos gerais utilizados na iluminação interna	60
4.1.1.1 Lâmpadas	61
4.1.1.2 Reatores	62
4.1.1.3 Luminárias	65
4.1.1.4 Controles eletrônicos	66
4.1.2 Dimensionamento da iluminação interna	68
4.1.2.1 Procedimento para avaliação de uma iluminação geral	68
4.1.3 Avaliação da iluminação interna no Departamento de Engenharia Elétrica	72
4.1.3.1 Viabilidade de troca da iluminação existente num ambiente	73
4.1.3.2 Medidas propostas para o departamento	74

4.1.4 Economia proporcionada no departamento.....	77
4.1.5 Viabilidade de troca das lâmpadas incandescentes.....	79
4.1.6 Custos, uma visão geral	80
4.1.6.1 Custos da instalação	80
4.1.6.2 Custo anual de energia	81
4.1.6.3 Custo anual de manutenção.....	81
4.1.6.4 Custo total.....	83
4.1.7 Gerenciamento da iluminação interna.....	84
4.2 Iluminação externa	86
4.2.1 Equipamentos gerais utilizados na iluminação externa.....	86
4.2.1.1 Lâmpadas.....	87
4.2.1.2 Ignitores	89
4.2.1.3 Comutador fotoeletrônico.....	89
4.2.1.4 Temporizador comutador fotoeletrônico ou Econowatt	90
4.2.2 Avaliação da iluminação externa do campus	91
4.2.2.1 Medidas propostas para iluminação externa do campus	91
4.2.3 Custos, uma visão geral	96
4.2.3.1 Custos da instalação	96
4.2.3.2 Custo anual de energia	97
4.2.3.3 Custo anual de manutenção.....	98
4.2.3.4 Custo total anual	99
4.2.4 Gerenciamento da iluminação externa.....	100
4.3 Conclusão	101

Capítulo 5

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	102
------------------------------	-----

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
------------------------------------	-----

APÊNDICE I	- Dados coletados no transformador: TR - 10
APÊNDICE II	- Dados coletados no transformador: TR - 12
APÊNDICE III	- Dados coletados no transformador: TR - 15

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 - Comparativo de consumo entre os anos de 1995 e 1996.....	3
FIGURA 2.1 - Sistemas elétricos que o RE1000/PT mede	15
FIGURA 2.2 - Mapa com a localização dos transformadores de distribuição no campus	17
FIGURA 3.1 - Curva de Carga	21
FIGURA 3.2 - Possibilidades de instalação dos bancos de capacitores	40
FIGURA 3.3 - Curva de carga característica para um baixo fator de carga.	47
FIGURA 3.4 - Influência do fator de carga sobre o preço médio do kWh consumido	47
FIGURA 3.5 - Curva de carga antes da reprogramação	52
FIGURA 3.6 - Curva de carga após a reprogramação.....	52
FIGURA 3.7 - Curva de carga característica do campus.....	55
FIGURA 4.1 - Esquema de um reator eletrônico.....	62
FIGURA 4.2 - Representação do fator de fluxo luminoso	64
FIGURA 4.3 - Comparativo de consumo entre sistemas: existente e eficiente	78
FIGURA 4.4 - Gráfico de custos acumulados para os sistemas A e B	84
FIGURA 4.5 - Comparativo de consumo entre os sistemas: VMAP 400 W e VSAP 250 W	92
FIGURA 4.6 - Porcentagem de potência instalada referente a cada tipo de conjunto lâmpada + reator	92
FIGURA 4.7 - Comparativo de consumo entre os sistemas: relé fotoelétrico e comutador fotoeletrônico + econowatt.....	94
FIGURA 4.8 - Comparativo de consumo entre os sistemas: existente e eficiente	95
FIGURA 4.9 - Gráfico de custos acumulados para os sistemas A e B	100

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1	- Levantamento dos transformadores do campus	10
TABELA 2.2	- Divisão dos transformadores segundo seus alimentadores e estrutura tarifária	11
TABELA 2.3	- Disposição das luminárias dentro do departamento	12
TABELA 2.4	- Potência instalada referente às lâmpadas	12
TABELA 2.5	- Perdas referentes aos reatores.....	13
TABELA 2.6	- Potência instalada referente às lâmpadas	13
TABELA 2.7	- Características dos diferentes reatores	14
TABELA 2.8	- Perdas referente aos reatores	14
TABELA 3.1	- Transformadores encontrados no mercado	24
TABELA 3.2	- Cálculos preliminares para avaliação de cada transformador.....	25
TABELA 3.3	- Transformadores desativados após as realocações	32
TABELA 3.4	- Propostas de alteração dos transformadores.....	33
TABELA 3.5	- Transformadores em operação após as modificações propostas.....	37
TABELA 4.1	- Equivalência entre lâmpadas incandescentes e LFC	61
TABELA 4.2	- Rendimento de uma luminária para duas lâmpadas fluorescentes tubulares	65
TABELA 4.3	- Fatores de reflexão para diferentes superfícies	70
TABELA 4.4	- Fatores de depreciação	71
TABELA 4.5	- Características dos diferentes reatores	75
TABELA 4.6	- Consumo diário gerado pela instalação existente.....	77
TABELA 4.7	- Consumo diário gerado pela instalação mais eficiente	78
TABELA 4.8	- Comparativo: lâmpada incandescente 100 W x LFC 20 W	79
TABELA 4.9	- Total do custo para a instalação dos dois sistemas	80
TABELA 4.10	- Total do custo anual de energia elétrica para os dois sistemas	81

TABELA 4.11 - Total do custo anual de manutenção com lâmpadas	82
TABELA 4.12 - Total do custo anual de manutenção com reatores.....	82
TABELA 4.13 - Total do custo anual de manutenção para os dois sistemas	82
TABELA 4.14 - Custo total anual para o funcionamento adequado dos dois sistemas	83
TABELA 4.15 - Comparativo de consumo entre lâmpadas VMAP e VSAP	88
TABELA 4.16 - Características das diferentes lâmpadas	95
TABELA 4.17 - Total do custo para a instalação dos dois sistemas	97
TABELA 4.18 - Total do custo anual de energia elétrica para os dois sistemas	97
TABELA 4.19 - Total do custo anual de manutenção com lâmpadas	98
TABELA 4.20 - Total do custo anual de manutenção com reatores.....	98
TABELA 4.21 - Total do custo anual de manutenção para os dois sistemas	99
TABELA 4.22 - Custo total anual para o funcionamento adequado dos dois sistemas	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABILUX	- Associação Brasileira da Indústria de Iluminação
CESP	- Companhia Energética de São Paulo
CODI	- Comitê de Distribuição de Energia Elétrica
CPFL	- Companhia Paulista de Força e Luz
DNAEE	- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
LFC	- Lâmpada Fluorescente Compacta
OSRAM	- OSRAM do Brasil Companhia de Lâmpadas Elétricas
PROCEL	- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
VMAP	- Lâmpada de Vapor de Mercúrio Alta Pressão
VSAP	- Lâmpada de Vapor de Sódio Alta Pressão

LISTA DE SÍMBOLOS

ℓ	- largura do local de trabalho, m
ε	- consumo da instalação, kWh
ϕ	- fluxo luminoso total, lm
ϕ_1	- fluxo total obtido por uma lâmpada quando utilizado um reator eletrônico, lm
ϕ_2	- fluxo total obtido por uma lâmpada quando utilizado um reator de referência, lm
Δt	- intervalo de tempo, horas
A_j	- valor relativo ao ajuste de fator de potência a ser cobrado adicionalmente ao importe de fornecimento (faturamento normal), R\$
C	- consumo medido durante o ciclo de faturamento, kWh
c	- comprimento do local de trabalho, m
CA_t	- consumo de energia ativa medido em cada hora, kWh
C_{fp}	- consumo medido no horário fora de ponta, durante o ciclo de faturamento, kWh
$\cos(\phi)$	- fator de potência
C_p	- consumo medido no horário de ponta, durante o ciclo de faturamento, kWh
CT_a	- custo total anual de energia + manutenção, R\$
D	- demanda, kW
d	- depreciação
DA_t	- demanda de potência ativa medida de hora em hora, kW
DC	- demanda contratada, kW
DC_{fp}	- demanda contratada no horário fora de ponta, kW
DC_p	- demanda contratada no horário de ponta, kW
$DF_{(p)}$	- demanda de potência ativa faturada em cada posto horário, kW
$D_{fat,p}$	- demanda faturável no horário de ponta, kW
DM	- demanda medida, kW
$D_{Máx}$	- demanda máxima, kW
$D_{Méd}$	- demanda média, kW

DM_{fp}	- demanda medida no horário fora de ponta, kW
DM_p	- demanda medida no horário de ponta, kW
E	- iluminância adequada, lux
e	- eficiência média da lâmpada a ser utilizada, lm/W
F	- faturamento total, R\$
FC	- fator de carga
FC_{fp}	- fator de carga no horário fora de ponta
FC_{ons}	- valor relativo ao faturamento do consumo, R\$
FC_p	- fator de carga no horário de ponta
$F_{d_{fp}}$	- valor relativo ao faturamento da demanda no segmento fora de ponta, R\$
F_{dp}	- valor relativo ao faturamento da demanda no segmento de ponta, R\$
FD_{em}	- valor relativo ao faturamento da demanda, R\$
$FDR_{(p)}$	- faturamento da demanda de potência reativa excedente por posto tarifário, R\$
$FER_{(p)}$	- faturamento do consumo de reativo excedente por posto tarifário, R\$
FR	- fator do reator ou fator de fluxo luminoso
f_t	- fator de potência calculado de hora em hora
h	- altura da luminária em relação ao plano de trabalho, m
I	- importe relativo ao faturamento da demanda e do consumo, R\$
i	- ano em questão
K	- fator do local
$\max$	- função que indica o maior valor da expressão entre parênteses, calculada de hora em hora
n	- número de intervalos de uma hora, por posto horário no período de faturamento
p	- indica o posto tarifário: ponta e fora de ponta, para as tarifas horo-sazonais; e único, para a tarifa convencional
P_i	- potência instalada total na iluminação existente, W
$P_{méd}$	- preço médio do kWh consumido, R\$/kWh
P_r	- potencial de redução de demanda, kW
Q_{ideal}	- consumo ideal de potência reativa para que o $\cos(\phi)$ seja de 0.92, kVarh
R_a	- relação entre potência instalada e área, para a iluminação existente, W/m ²
R_e	- relação entre potência instalada e área, para a iluminação mais eficiente, W/m ²
S	- área do local, m ²

$S_{Máx}$	- potência aparente máxima, kVA
$S_{Méd}$	- potência aparente média, kVA
S_{TRAFO}	- potência aparente mínima para o transformador, kVA
T	- período, horas
t	- indica cada intervalo de uma hora
TC	- tarifa de consumo, R\$/kWh
$TCA_{(p)}$	- tarifa de consumo de energia ativa por posto tarifário, R\$/kWh
TC_{fp}	- tarifa de consumo no horário fora de ponta, R\$/kW
TC_p	- tarifa de consumo no horário de ponta, R\$/kW
TD	- tarifa de demanda, R\$/kW
$TDA_{(p)}$	- tarifa de demanda de potência ativa por posto tarifário, R\$/kW
TD_{fp}	- tarifa de demanda no horário fora de ponta, R\$/kW
TD_p	- tarifa de demanda no horário de ponta, R\$/kW
TU	- tarifa de ultrapassagem, R\$/kW
TU_{fp}	- tarifa de ultrapassagem para o segmento fora de ponta, R\$/kW
TU_p	- tarifa de ultrapassagem para o segmento de ponta, R\$/kW
u	- fator de utilização
V_i	- valor final do investimento no ano i , R\$
V_o	- valor inicial do investimento no ano zero, R\$
W	- potência ativa consumida, kWh

RESUMO

Atualmente, diante dos possíveis riscos de falta no fornecimento de energia elétrica no Brasil, surge a necessidade de se educar os consumidores a utilizar corretamente a energia elétrica, pois é mais barato conservar energia do que produzi-la. Na busca de solucionar a má utilização da energia elétrica em um campus universitário, levantam-se as características da instalação existente por meio de um equipamento registrador/medidor de grandezas elétricas. De posse destes dados, descrevem-se os problemas de consumo e de dimensionamento dos equipamentos encontrados nas instalações internas, a fim de se apontarem soluções técnicas viáveis para que se possa ter o uso racional de energia elétrica, as quais também poderão ser utilizadas em quaisquer outros centros consumidores. Além disto, abordam-se aspectos relativos ao gerenciamento das instalações existentes, visando-se o correto uso da energia elétrica, independentemente das condições em que se encontram as instalações. E dentro do possível, analisam-se as medidas sugeridas, o que demonstra a viabilidade das mudanças, frente à manutenção dos gastos existentes.

Palavras-chave: conservação de energia, economia de energia elétrica

ABSTRACT

Due to the current possible risks to electric energy supply in Brazil, there is the need of making the consumers aware of how to use electric energy correctly, because it is cheaper to conserve energy than to produce it. Seeking to correct the use of electric energy in a university campus, characteristics of the existent installation were researched by means of recording/measuring equipment of electric variables. With this data provided is described the problems of consumption and use of the equipment found in the internal facilities, with the purpose of aiming at viable technical solutions as to the rational use of electric energy, not only locally but in any other consumer centers. Furthermore, some aspects related to the management of the existent facilities were approached with a view to using electric energy correctly, independently of the conditions which of facilities are met. Suggested measures are analyzed for the sake of evaluating the viability the proposed changes, with regard to the maintenance of the existent expenses.

Key-words: energy conservation, electric energy economy

Capítulo 1

1 INTRODUÇÃO

O combate ao desperdício de energia elétrica deve ser uma meta, em todos os ramos consumidores hoje existentes no Brasil. O setor de energia elétrica do país está passando por uma fase de progressiva e profunda alteração, em que a disponibilidade de energia gerada já não pode ser considerada segura o bastante para atender à demanda de certas regiões. Portanto, diante do presente cenário, o uso racional de energia amplia significativamente sua importância, face às restrições de ordem financeira e ambiental que conjugam-se de modo a aumentar os custos energéticos e proporcionar perspectivas preocupantes de descompasso entre as disponibilidades e as demandas energéticas.

A busca da utilização adequada da energia elétrica nos setores industrial, comercial e residencial é necessária, pois ainda persiste um alto nível de desperdício, decorrente das instalações obsoletas e do uso inadequado dos equipamentos elétricos. Ainda que representando uma parcela por vezes reduzida dos custos totais, a energia elétrica não possui substitutos e sem ela não há meios de se realizarem algumas atividades ou operações. Na verdade, a utilização eficiente e racional da energia é um objetivo a ser buscado em qualquer conjuntura em que a conciliação dos custos de investimento e operacionais é sempre uma atitude sensata.

A “Conservação de Energia” tem sido considerada como um recurso energético adicional e que em muitos casos pode apresentar uma maior viabilidade econômica do que as alternativas disponíveis para ampliar a oferta de energia. Conforme NOGUEIRA (1996), medidas de redução do consumo de energia elétrica, como a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas e a adequação dos motores de indução às cargas acionadas, requerem investimentos da ordem de 5 a 15 US\$/MWh, muito inferiores ao custo

de se adicionar esta energia a partir do sistema de geração do sistema elétrico, estimada em termos marginais ao redor de 60 US\$/MWh.

1.1 Perfil do setor de energia elétrica no Brasil

O grande potencial de geração de energia elétrica no Brasil ainda é hidrelétrico, e com altos investimentos a serem feitos nesta área. Frente a este quadro, o governo federal e alguns governos estaduais têm demonstrado interesse em contar com a iniciativa privada no setor, devido à necessidade de investimentos a curto prazo para atender o eventual crescimento de consumo da energia elétrica no país.

Portanto, com um sistema predominantemente hidrelétrico e com obras de expansão de geração acumulando atrasos sucessivos, surge a preocupação com o abastecimento elétrico do sistema interligado Sul/Sudeste/Centro-Oeste. Segundo PERFIL (1997), o Plano Decenal de Expansão 1997/2006, elaborado pela Eletrobrás, demonstra que os riscos de déficit superam o critério de planejamento de 5%, atingindo o patamar de 15% em 1998, de 13% em 1999 e de 8% em 2000, frente a uma previsão de crescimento médio do consumo nacional de energia elétrica de 5,3% ao ano. Mas esta taxa média prevista pode-se revelar modesta, quando comparada ao sistema interligado Sul/Sudeste que, somente durante o período de jan./mar. de 1997, obteve um crescimento de 7,7% em relação ao mesmo período do ano anterior.

As condições de atendimento ao mercado estão cada vez mais preocupantes, basicamente por dois motivos: investimentos insuficientes e crescimento do mercado acima do previsto. Este panorama, segundo PERFIL (1997), torna-se mais evidente quando compara-se a média de investimentos anuais no setor elétrico das duas últimas décadas. Na década de 80 houve investimentos na ordem de US\$ 12 bilhões, os quais diminuíram para cerca de US\$ 6 bilhões nos seis primeiros anos da década seguinte, em função dos baixos níveis tarifários. O mais alarmante é que a média da capacidade de geração interna de recursos do setor elétrico para o período de 1997/2001 é de US\$ 3,4 bilhões/ano, em vista da necessidade de investimentos médios para a expansão do sistema elétrico no período da ordem de R\$ 6,5 bilhões, considerando-se uma taxa média de crescimento de 5,2% ao ano. Daí, a necessidade da participação de terceiros em quase 50% dos recursos necessários para a expansão do sistema.

Agravando ainda mais a situação, o consumo elétrico vem aumentando a taxas muito superiores ao esperado. A tendência de retração no crescimento verificada de 1991 a 1994, em função da relativa recuperação tarifária e de medidas de racionalização na indústria, foi revertida pelo Plano Real, provocando uma “explosão” no consumo. A maior atividade industrial e o ingresso no mercado de consumo de parcelas menos favorecidas da população (também incentivado pelo congelamento das tarifas) fizeram o mercado dar um salto de 7,6% em 1995, contra uma previsão de 3%, e de 6% no ano de 1996, em relação ao ano anterior (8,6% na classe residencial, 7,7% na comercial e 4,3 % na industrial). No entanto, apesar do consumo total de 1996 ter aumentado para 272,3 TWh, percebe-se que as fatias de consumo de energia elétrica correspondentes a cada classe não sofreram profundas alterações, vide fig. 1.1.

FIGURA 1.1 - Comparativo de consumo entre os anos de 1995 e 1996

Deste modo, se o crescimento continuar neste ritmo, os anos que mais preocupam são os de 1998 e 1999, período em que as possibilidades de cortes são maiores, pois o mercado interligado Sul/Sudeste/Centro-Oeste consome hoje cerca de 80% da energia produzida no país e este índice deve aumentar nos próximos anos.

Portanto, por questões de prazo de construção, tal risco, se confirmado, somente poderá ser enfrentado mediante pesados investimentos em geração térmica, pois as suas características econômicas básicas requerem menor investimento inicial, menor prazo de implantação e maior flexibilidade operacional. A geração termelétrica através de gás natural deverá ser um dos caminhos mais prováveis a serem seguidos, na hipótese de insuficiência de geração na região sudeste nos próximos anos.

Para amenizar a situação em que encontra-se o abastecimento elétrico, haverá necessidade de se agregar ao sistema elétrico brasileiro cerca de 32,6 GW à capacidade de geração instalada atualmente, que de 57,6 GW ao final de 1996, saltaria para 90,2 GW em

2006, representando uma expansão média anual de 3260 MW nos próximos 10 anos. A expansão de capacidade térmica deve dobrar sua participação, evoluindo dos atuais 8% para cerca de 17%.

Segundo A GERAÇÃO (1995), a baixa representação da geração termelétrica atualmente é justificada pela insuficiência de reservas de petróleo e gás natural, aliadas a má qualidade e a má distribuição geográfica das reservas de carvão disponíveis no país. Contudo a construção de novas centrais termelétricas, com objetivo de complementação do sistema, será vital para assegurar o abastecimento de energia elétrica nos próximos anos. Além do alto grau de interligação do sistema elétrico e do grande potencial hidrelétrico para ser explorado (cerca 205 GW de capacidade instalável, metade da qual na Amazônia).

Todavia, a esgotabilidade dos recursos energéticos fósseis, a necessidade de se economizarem recursos naturais e as características apresentadas no sistema elétrico brasileiro têm mostrado que a expansão do sistema elétrico deve operar de forma integrada, provocando uma interdependência entre as várias fontes geradoras, de modo a otimizar o sistema elétrico nacional.

1.2 A necessidade da conservação de energia elétrica

A eletricidade é um serviço público que, conforme A OTIMIZAÇÃO (1996), atende a mais de 85% da população brasileira, representando cerca de 40% do consumo total de energia do país, o que é uma porcentagem significativa e por isto deve ser utilizada de forma racional, pois sua necessidade torna-se cada vez mais importante para o crescimento econômico do país, uma vez que a geração não pode ser ampliada rapidamente. O problema torna-se mais grave, quando é levado em consideração o elevado índice de desperdício energético existente no Brasil, onde o responsável é o próprio consumidor que muitas vezes utiliza a energia elétrica sem consciência conservativa. Também é preciso reeducar o consumidor, quanto ao funcionamento dos diferentes sistemas tarifários existentes hoje no Brasil, a fim de que possam ser utilizados adequadamente.

Geralmente a aplicação da conservação de energia, esbarra inicialmente em fatores que se tornam os verdadeiros motivos para o alto índice de desperdício energético. São eles:

- baixo grau de consciência que leva ao desperdício;
- alto preço inicial das tecnologias eficientes;

- baixo nível de conhecimento e informações dos consumidores;
- dificuldades de recursos e poucas empresas de serviços de energia;
- gerenciamento / burocratização.

O potencial de conservação de energia pode atingir níveis diferentes para cada consumidor, devido às diferentes utilizações da energia elétrica. Normalmente, o maior potencial conservativo encontra-se nas indústrias, pois existem maiores probabilidades de equipamentos como motores e acionamentos elétricos estarem mal dimensionados. Existe ainda a hipótese de iluminação deficiente, o que resulta em grandes perdas energéticas. Desta forma, a melhor alternativa para amenizar estes desperdícios é a correta utilização da energia elétrica.

Segundo PROCEL (a), o combate ao desperdício de energia elétrica traz os seguintes benefícios:

- economia de energia elétrica e consciência contra o desperdício;
- postergação ou redução dos investimentos do governo na expansão do sistema elétrico;
- maior garantia de atendimento ao mercado de energia elétrica;
- redução de custos para o setor elétrico, para os consumidores e para o país;
- aumento da produtividade e da competitividade;
- melhoria da eficiência em processos e equipamentos;
- minimização do impacto ambiental causado pela oferta e pelo uso da energia elétrica.

1.3 Potencial de conservação de energia nas edificações

Segundo ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO (ABILUX) et al., em 1992, o potencial de conservação de energia é definido como toda energia que pode ser utilizada racionalmente através da eliminação das fontes de desperdício. A iniciativa de se conservar energia está além do conceito da utilização única de equipamentos eficientes, pois visa à utilização de equipamentos eficientes em conjunto com os recursos naturais disponíveis ao consumidor, o que parece ser uma medida altamente viável. Como exemplo poder-se-ia citar a utilização de lâmpadas mais eficientes aliada à utilização da luz natural oferecida gratuitamente. O mesmo pode ser dito quanto à utilização de aparelhos de ar

condicionado. Poder-se-ia reduzir o número de aparelhos se eles fossem utilizados juntamente com a ventilação natural do ambiente.

Portanto, a consciência conservativa começa na elaboração do projeto civil, quando a busca da utilização da iluminação e da ventilação naturais não deve ser deixada de lado, a fim de se conseguir, como resultado final, o menor consumo de energia elétrica, sem que se comprometa o conforto do usuário. Pois uma edificação mal projetada, pode trazer desperdícios energéticos, mesmo com a utilização de equipamentos eficientes.

Além do mais, o correto gerenciamento do uso da energia elétrica destas instalações é de fundamental importância, pois de nada adiantará dispor de uma instalação devidamente projetada para aproveitar os recursos naturais, se não há o gerenciamento do consumo energético, que objetive a eliminação de gastos desnecessários.

Com isto, conclui-se que a ação conservativa começa pela conscientização de todos, desde os responsáveis pelos projetos civis e elétricos até os usuários. Nesta ação todos possuem participação fundamental para a utilização racional da energia elétrica, definindo assim o potencial de conservação de energia da edificação.

1.4 Objetivos deste trabalho

Este trabalho possui como objetivo revelar o potencial conservativo que pode ser atingido, na EESC USP, escolha esta justificada pela diversidade de instalações encontradas em um mesmo local. Assim, diante desta diversidade é possível afirmar que o local possui problemas de consumo de energia elétrica, os quais acabam por consumir parte de verbas que poderiam ser aplicadas em outros novos investimentos.

A realização deste trabalho também inclui um levantamento característico de como a energia é utilizada dentro do campus. O levantamento das curvas de carga de cada transformador existente, possibilita a apresentação de sugestões de como diminuir os desperdícios encontrados e, dentro do possível, relataram-se os resultados que podem ser obtidos com a aplicação destas sugestões.

Até o momento não foi realizado nenhum trabalho semelhante dentro do campus de São Carlos - USP com esse objetivo, o qual possui um levantamento de dados do comportamento de seus usuários apenas quanto ao consumo de energia elétrica com bibliografia baseada nos problemas atuais da sociedade brasileira para a aplicação da conservação de energia elétrica.

Deve-se notar que as medidas conservativas apresentadas podem ser aplicadas em qualquer estabelecimento consumidor de energia elétrica, não sendo restritas somente a estabelecimentos de ensino superior, pois de uma forma geral, as medidas propostas são aplicáveis por todos que desejem fazer uso racional da eletricidade.

1.5 Organização do trabalho

No capítulo 2 são relatadas as características dos equipamentos existentes nas instalações, além de se realizar o levantamento de como estas instalações se encontram em determinados pontos do campus. Também é apresentado o aparelho registrador/medidor RE1000/PT, utilizado para realizar a aquisição das grandezas elétricas do campus, bem como as características que o sistema elétrico deve possuir para que este possa ser instalado. São citados os pontos de instalação do equipamento e justificados os pontos que não puderam ter suas características levantadas, devido às restrições de instalação do registrador/medidor.

No capítulo 3 é feito um estudo dos dados colhidos através do RE1000/PT, em que procede-se a uma análise de cada transformador medido, propondo-se alterações nas instalações, através de realocações de transformadores e da troca de alguns que se encontram superdimensionados. Também são propostas melhoras do fator de potência e do fator de carga nas instalações internas do campus, devido a situação atual em que se encontra o uso da energia elétrica na universidade.

No capítulo 4 são apresentadas sugestões para melhoria da iluminação existente no campus, tanto interna, quanto externa, na tentativa de se utilizar a energia elétrica de forma mais racional. Mostra-se também, dentro do possível, a viabilidade das modificações propostas.

No capítulo 5 são relatadas as considerações finais do trabalho.

Capítulo 2

2 AQUISIÇÃO DAS VARIÁVEIS A ESTUDAR

Para que pudesse ser feita uma análise mais detalhada das instalações existentes no campus, foi utilizado um registrador/medidor de grandezas elétricas para levantar o comportamento das cargas, ao invés de se consultar somente as contas de energia elétrica, fornecidas pela concessionária local. A escolha deste procedimento é justificada pela grande área construída e pela variedade dos equipamentos encontrados.

Convém destacar que os dados levantados pelo registrador/medidor têm a função de diagnosticar os problemas já existentes nas instalações do campus, o que não quer dizer que só com base nestes dados pode-se implantar um programa de conservação de energia. Muitas coisas podem ser alteradas em prol da conservação de energia somente pela mudança de hábitos dos usuários e também pelo simples levantamento da eficiência dos equipamentos utilizados nas instalações, como no caso da iluminação. Mudanças as quais somente revertem em economia e benefícios ao campus.

Portanto, deve-se compreender que o registrador/medidor é uma importante “arma” no auxílio ao combate dos desperdícios energéticos, mas que o sucesso da implantação da conservação de energia depende de uma série de levantamentos aliados entre si.

2.1 Levantamento das características dos equipamentos envolvidos no estudo

A coleta dos dados dos equipamentos existentes nas instalações do campus tornou-se possível, através do auxílio fornecido pelos funcionários do setor de manutenção interna e da prefeitura.

O desenvolvimento desta tarefa necessitou de um longo tempo de aquisições e de consultas aos projetos elétricos existentes. Como as medidas nos transformadores teria que ser realizada em um tempo relativamente pequeno, mas expressivo, todas as medições deste trabalho tiveram que ser realizadas no decorrer de aproximadamente um semestre sem que houvesse paradas nas medições, pois os feriados no decorrer do ano comprometeriam o prazo de dois dias consecutivos e úteis para a aquisição de dados por transformador.

Aqui serão mencionados como se encontram os transformadores de distribuição e a iluminação externa no campus. Quanto a iluminação interna, esta não pode ser levantada totalmente devido às dificuldades encontradas e a falta de documentação dos projetos elétricos dos departamentos. Aqui somente consta o levantamento da iluminação interna do Departamento de Engenharia Elétrica, a qual será discutida no capítulo 4.

2.1.1 Levantamento dos transformadores instalados

Com base na planta da rede de alta tensão, fornecida pela prefeitura do campus universitário de São Carlos, e nas informações recebidas pelo setor de manutenção, foi possível levantar o panorama de instalação dos transformadores, pois a instalação existente atualmente está um pouco alterada com relação à planta fornecida pela prefeitura, pois surgiram novos transformadores, alguns foram trocados e outros foram desativados. Portanto para uma correta avaliação das instalações do campus, estas modificações serão consideradas, apesar de não registradas em planta de projeto.

As siglas aqui adotadas para cada transformador estão conforme o sugerido pela própria planta da rede de alta tensão. Todavia, existem transformadores na planta que não foram codificados, então tomou-se a liberdade de nomeá-los, usando-se o mesmo critério adotado nos códigos já existentes para facilitar a citação destes no decorrer do texto.

TABELA 2.1 - Levantamento dos transformadores do campus

Código do transformador	Local	Potência kVA
TR - 01	Observatório	30
TR - 02	Arquitetura Antiga	75
TR - 03	Hidráulica	75
TR - 04	Banespa	30
TR - 05	E-1	225
TR - 06	DESATIVADO	-----
TR - 07	Lamafe/Refeitório	225
TR - 08	LDCC/ICMSC	75
TR - 09	Oficina Mecânica	150
TR - 10	Gráfica	75
TR - 11	CISC	225
TR - 12	Metrologia	112,5
TR - 13	Matemática	150
TR - 14	CAD-CAM	75
TR - 15	Biblioteca	75
TR - 16	Marcenaria	75
TR - 17	Cristalografia	75
TR - 18	Cristalografia	75
TR - 19	Estruturas/Matadouro	75
TR - 20	Estruturas/Geotecnia	112,5
TR - 21	Química	300
TR - 22	Química	45
TR - 23	DESATIVADO	-----
TR - 24	DESATIVADO	-----
TR - 25	Dep. de Elétrica	75
TR - 26	Arquitetura	150
TR - 27	Topografia	75
TR - 28	Moradia - I	112,5
TR - 29	1-P1\Física\Laser Arg.	225
TR - 30	2-P1\Física\Las-Criog	150

Código do transformador	Local	Potência kVA
TR - 31	3-P1\Física\Ar-cond.	225
TR - 32	4-P1\Física\Labs	300
TR - 33	Fís.\P-16377\Comp.	75
TR - 34	Fís.\P-16378\Labs	75
TR - 35	Fís.\P-16379\Labs	75
TR - 36	Fís.\Trafo-3A\Labs	300
TR - 37	Ensino	300
TR - 38	Materiais	75

Todos os transformadores citados acima são trifásicos, com exceção do TR - 22 que é monofásico. O esquema de ligação dos transformadores trifásicos, é o estrela a quatro fios (F N F F), conforme será citado na fig. 2.1.

Como o campus é uma área de trabalho de grande extensão, este recebe energia da concessionária através de cinco alimentadores, onde cada alimentador é composto pelos seguintes transformadores:

TABELA 2.2 - Divisão dos transformadores segundo seus alimentadores e estrutura tarifária

Alimentador	Tarifa	Transformadores
1	convencional	TR - 01
2	convencional	TR -02
3	THS - verde	TR - 29; TR - 30; TR - 31; TR - 32; TR - 33; TR - 34; TR - 35; TR - 36; TR - 37
4	THS - azul	TR - 03; TR - 04; TR - 05; TR - 07; TR - 08; TR - 09; TR - 10; TR - 11; TR - 12; TR - 13; TR - 14; TR - 15; TR - 38;
5	THS - azul	TR - 16; TR - 17; TR - 18; TR - 19; TR - 20; TR - 21; TR - 22; TR - 25; TR - 26; TR - 27; TR - 28;

2.1.2 Levantamento da iluminação interna existente no Dep. de Eng. Elétrica

Através do projeto elétrico das instalações do departamento pode-se levantar as condições em que se encontra a iluminação interna do estabelecimento. Contudo é do conhecimento geral que já houve algumas pequenas mudanças no projeto inicial de iluminação do Departamento de Engenharia Elétrica, sendo que estas foram desprezadas, prevalecendo aqui o projeto inicial ainda pouco alterado.

Na tabela a seguir, tem-se o perfil das luminárias no Departamento de Engenharia Elétrica.

TABELA 2.3 - Disposição das luminárias dentro do departamento

Departamento de Engenharia Elétrica - SEL				
Configuração das luminárias		Número de luminárias por pavimento		
		Térreo	1 andar	2 andar
fluorescentes	1 x 40 W	14	21	19
	2 x 40 W	55	56	50
	3 x 40 W	19	18	18
incandescentes	1 x 60 W		1	4
	1 x 100 W		5	

Com isto pode-se afirmar:

TABELA 2.4 - Potência instalada referente às lâmpadas

Pavimento	Quantidade de lâmpadas			Pot. Instalada [W]
	fluor. de 40 W	incad. de 60 W	incad. de 100 W	
Térreo	181			7240
1 andar	187	1	5	8040
2 andar	173	4		7160
Total	541	5	5	22440

Existem dois tipos de reatores instalados e suas características são:

- reator duplo: Philips RTL240A26PR, partida rápida, tensão de 220 V, $\cos(\varphi) = 0,93$ e perdas de 24 W.
- reator simples: Philips RTL40B26, partida convencional, tensão de 220 V, $\cos(\varphi) = 0,54$ e perdas de 11 W.

Assim, as perdas devidas aos reatores instalados são de:

TABELA 2.5 - Perdas referentes aos reatores

Pavimento	Quantidade de reatores		Perdas totais nos reatores [W]
	duplos	simples	
Térreo	74	33	2139
1 andar	74	39	2205
2 andar	68	37	2039
Total	216	109	6383

Somando-se as perdas nos reatores com a potência instalada das lâmpadas, temos uma potência instalada total do Departamento de Engenharia Elétrica de 28823 W.

2.1.3 Levantamento da iluminação externa existente no campus

Conforme planta de projeto elétrico da iluminação externa, a grande maioria de lâmpadas instaladas no campus é do tipo VMAP e VSAP, não se esquecendo que também existem outros tipos de lâmpadas em número bem menor. Veja:

TABELA 2.6 - Potência instalada referente às lâmpadas

Tipo de lâmpada	Quantidade de lâmpadas	Potência instalada [W]
Vapor de Mercúrio 125 W	31	3875
Vapor de Mercúrio 400 W	244	97600
Vapor de Mercúrio 700 W	17	11900
Vapor de Sódio 70 W	8	560
Vapor de Sódio 250 W	142	35500

Tipo de lâmpada	Quantidade de lâmpadas	Potência instalada [W]
Mista 160 W	43	6880
Fluorescente 40 W	19	760
Incandescente 100 W	19	1900
Total	523	158975

Tomando-se como base os reatores relacionados em PHILIPS, podem-se estimar as perdas nos reatores para estes tipos de lâmpadas. Os reatores considerados são os seguintes:

TABELA 2.7 - Características dos diferentes reatores

Tipo de lâmpada	Características do reator adotado			
	Código	Tensão [V]	cos(φ)	Perdas [W]
Vapor de mercúrio 125 W	RVM125A26-OC	220	0,85	15
Vapor de mercúrio 400 W	RVM400A26-OC	220	0,85	24
Vapor de mercúrio 700 W	RVM700B26-OC	220	0,67	33
Vapor de sódio 70 W	RVS70A26-OC-IG	220	0,85	13
Vapor de sódio 250 W	RVS250A26-OC-IG	220	0,85	30
Fluorescente 40 W	RTL40B26	220	0,54	11

Portanto pode-se calcular aproximadamente a potência consumida devida às perdas nos reatores:

TABELA 2.8 - Perdas referente aos reatores

Reator para a lâmpada	Quantidade	Perdas totais nos reatores [W]
Vapor de Mercúrio 125 W	31	465
Vapor de Mercúrio 400 W	244	5856
Vapor de Mercúrio 700 W	17	561
Vapor de Sódio 70 W	8	104
Vapor de Sódio 250 W	142	4260
Fluorescente 40 W	19	209
Total		11455

Somando-se as perdas nos reatores com a potência instalada das lâmpadas, tem-se a potência total na iluminação externa do campus de 170430 W.

2.2 Levantamento das características de funcionamento das instalações

O levantamento das grandezas elétricas envolvidas no estudo foi realizado através do registrador/medidor de grandezas elétricas RE1000/PT, fabricado pela EMBRASUL Indústria Eletrônica Ltda., sendo que os dados colhidos são analisados pelo software AN1000 que o acompanha.

2.2.1 O equipamento registrador/medidor

O princípio de funcionamento do RE1000/PT baseia-se na coleta dos sinais de tensão e corrente de cada fase do sistema elétrico a ser estudado, com a alimentação do equipamento feita pela própria rede, desde que o local de instalação do aparelho esteja dentro das seguintes características exigidas para a alimentação direta da rede:

- tensão: 80 a 300 Vca (FASE-NEUTRO);
- frequência: 50 a 60 Hz;
- os sistemas elétricos a serem analisados, possuam as seguintes configurações:

FIGURA 2.1 - Sistemas elétricos que o RE1000/PT mede

As grandezas elétricas registradas pelo RE1000/PT podem ser trifásicas (fator de potência trifásico, potência aparente trifásica, potência ativa trifásica e potência reativa trifásica) ou monofásicas, no caso a opção escolhida para o estudo desenvolvido no campus. As grandezas monofásicas registradas são: tensões de fase, correntes de fase, fator de potência por fase, potência aparente por fase, potência ativa por fase, potência reativa por fase. Através destes dados, o software AN1000 é capaz de apresentar relatórios de consumo da instalação e gráficos de todas as grandezas no período de medição. Mesmo utilizando o equipamento para a medição de grandezas monofásicas, o software também é capaz de fornecer o fator de potência trifásico e as potências trifásicas.

Portanto, diante deste panorama brevemente traçado aqui, pode-se ter uma idéia do que o registrador medidor é capaz de fornecer e quais são as suas limitações, para que possa ser utilizado adequadamente. Como se pode ver não existem maiores complicações para sua utilização, desde de que sejam respeitadas suas condições de trabalho.

A princípio estes esclarecimentos podem parecer um tanto desnecessários, mas sem estes ficaria difícil destacar como foi possível chegar a alguns dados utilizados neste trabalho e justificar os motivos pelo qual alguns transformadores existentes no campus não puderam ter suas curvas de carga levantadas.

2.2.2 Locais escolhidos para a aquisição de dados através do RE1000/PT

Para facilitar o levantamento das curvas de carga, a divisão em setores de instalação do RE1000/PT foi feita tomando-se por base os transformadores de distribuição existentes no campus, o que permitiu a caracterização das cargas instaladas em cada transformador e ao mesmo tempo permitiu a análise de suas condições de operação. Além do mais, esta divisão feita para o levantamento das curvas acaba indiretamente caracterizando o consumo de cada departamento (pelo menos durante o período de medição), pois os transformadores estão distribuídos conforme as exigências de cada um dos departamentos. A fig. 2.2, oferece um esboço da localização dos pontos, onde o equipamento foi instalado ou, no caso, dos transformadores medidos.

FIGURA 2.2 - Mapa com a localização dos transformadores de distribuição no campus

Por motivos que fugiam ao objetivo de levantar o comportamento de consumo de energia elétrica do campus em sua totalidade, não puderam ser levantadas as curvas de carga dos seguintes transformadores:

- TR - 04, pois este transformador não se encontra sob os cuidados do setor de manutenção da USP;

- TR - 13, por impossibilidade de acesso ao transformador sem deixar a aparelhagem exposta ao tempo, não se proporcionando assim segurança alguma ao RE1000/PT e correndo-se o risco de danificá-lo;
- TR - 29, por possuir tensão de secundário maior que a permitida para a instalação do equipamento.

Para os transformadores TR - 19 e TR - 20, os quais também apresentaram problemas para a instalação do RE1000/PT, pois o equipamento teria que ficar exposto ao tempo, foi possível contornar o problema, instalando-o nos quadros de distribuição internos dos departamentos, onde cada transformador possuía dois quadros de distribuição internos ao departamento. Para isto foi necessário dividir a medição e depois somar os resultados colhidos. Portanto, para estes devem-se somar duas medidas efetuadas, isto é, para o TR - 19 suas grandezas elétricas são obtidas fazendo-se a soma das medições TR - 19a (1º quadro medido) + TR - 19b (2º quadro medido). O mesmo acontecendo para o transformador TR - 20. No restante dos transformadores as medições foram realizadas normalmente.

2.3 Considerações quanto a instalação do RE1000/PT

Como o campus universitário possui um consumo de carga não muito uniforme, durante período de funcionamento normal (diurno), foi decidido que o equipamento deveria ficar instalado por no mínimo dois dias úteis, em cada local de distribuição de força elétrica, a fim de obter uma estimativa da característica da carga instalada no local. Este tempo não poderia ser estendido por mais dias, pois não haveria tempo hábil para se efetuarem todas as medições, sendo que o equipamento não poderia ser instalado em feriados e em época de férias escolares, períodos em que a carga da universidade é anormal.

É válido ressaltar que o campus encontra-se em constantes reformas e ampliações, fazendo que, com o passar do tempo, novas cargas apareçam, por meio de novos prédios. Portanto, é necessário atentar que o levantamento dos dados foi realizado até o final do período letivo do segundo semestre de 1996, o que não invalida as sugestões propostas, pois estas também podem ser aplicadas às novas instalações.

Todas as curvas de cargas, juntamente com os dados diários fornecidos pelo RE1000/PT, estão agrupados em um único volume para eventuais consultas, pois sua reprodução completa mostrou-se desnecessária. Para que se pudesse ter uma idéia de como as

informações colhidas foram utilizadas, este volume traz um apêndice somente com os dados coletados para os transformadores os quais tiveram suas cargas alteradas nas realocação 01, descrita no item 3.1.3.1, a fim de esclarecer como chegou-se às grandezas utilizadas nos cálculos, além das dúvidas que persistirem.

2.4 Considerações sobre o levantamento dos dados restantes

Como já foi mencionado, a implantação do plano de conservação de energia depende de uma série de levantamentos, os quais reunidos conduzem às soluções mais viáveis. O levantamento dos dados específicos de cada área pelo RE1000/PT, depende do uso das instalações no período de medição, para que possam ser registrados, pois as características dos equipamentos e instalações mudam de um setor para o outro, impossibilitando o levantamento exato das cargas.

Portanto, é evidente que a melhor maneira de se obter informações adicionais sobre os hábitos de uso da instalação e das características dos equipamentos, é através da consulta à equipe interna de manutenção do sistema elétrico do campus e de seus usuários, os quais através da longa convivência com as instalações, forneceram informações valiosas, incluídas neste trabalho, a fim de mostrar as condições atuais em que se encontra a utilização da energia elétrica na universidade.

Capítulo 3

3 EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

Aqui estão reunidos de uma forma geral os equipamentos que possuem um significativo potencial de conservação de energia elétrica dentro do campus. Neste tópico o maior enfoque será dado aos transformadores, os quais tiveram suas grandezas elétricas registradas em regime de operação e que, de uma certa forma, são os responsáveis pela alimentação de todas as cargas da universidade.

Também será feita uma análise de como as instalações elétricas dentro do campus estão sendo utilizadas, através do fator de potência e do fator de carga, os quais de uma maneira sucinta caracterizam de que forma a energia elétrica está sendo consumida. Como ambas variáveis mencionadas foram levantadas para cada transformador medido, estas poderão ser estudadas individualmente de transformador para transformador, proporcionando-nos demonstrar as regiões em que se encontram os maiores problemas de consumo de energia elétrica dentro do campus.

3.1 Transformadores

Com a intenção de melhor aproveitar os transformadores dentro do campus, serão abordadas sugestões de como dimensioná-los, a fim de que não operem em vazio ou superdimensionados, abaixando assim o fator de potência da instalação.

Normalmente, quando projeta-se uma nova instalação, o cálculo da potência dos transformadores é feito através da demanda máxima exigida, estimada através da potência instalada. Contudo quando se têm as curvas de carga da instalação, pode-se não proceder desta maneira, pois os transformadores podem ser dimensionados pelo comportamento das cargas independentemente da potência instalada, ou seja, não é necessário saber a potência instalada, mas sim como as cargas são acionadas e como estão distribuídos seus tempos de operação, evitando o uso de um transformador maior que o necessário.

3.1.1 Método adotado para o dimensionamento dos transformadores

Como o campus apresenta um total de trinta e cinco transformadores das mais diferentes potências, o levantamento total e exato das cargas instaladas torna-se uma tarefa muito difícil, pois não existem as plantas elétricas de todos os departamentos. Portanto a melhor forma encontrada para dimensionar os transformadores foi através do levantamento do comportamento das curvas de carga, por meio do registrador/medidor RE1000/PT, estipulando uma porcentagem de reserva para cada transformador, caso ocorram futuras ampliações da instalação ou da potência instalada.

Deste modo, para que se possa demonstrar como dimensionar os componentes de uma instalação, através do levantamento da curva de carga, considere a figura abaixo para as deduções que serão apresentadas:

FIGURA 3.1 - Curva de Carga

Define-se demanda por:

$$D = \frac{1}{\Delta t} \cdot \int_t^{t+\Delta t} W \cdot dt \quad (3.1)$$

O cálculo da área entre curva de carga e o eixo dos períodos representa o consumo da instalação, o qual pode ser calculado da seguinte maneira:

$$\varepsilon = \int_0^T D \cdot dt \quad (3.2)$$

Assim pode-se calcular:

$$D_{Méd} = \frac{\varepsilon}{T} \quad (3.3)$$

A $D_{máx}$, pode ser definida como o valor máximo de potência ativa consumida no intervalo de tempo em questão.

Então, através destes cálculo, pode-se encontrar o fator de carga da instalação de onde poder-se-á concluir a melhor maneira para se dimensionar o transformador.

$$FC = \frac{D_{Méd}}{D_{Máx}} \quad (3.4)$$

Como se pode ver, para uma $D_{Máx}$ muito superior a $D_{Méd}$, tem-se um fator de carga baixo e conseqüentemente impossibilidade de se utilizar da capacidade térmica dos transformadores, pois estes não suportariam uma demanda muito acima da sua potência nominal, mesmo que por um período curto de tempo, obrigando assim a dimensioná-los pela $D_{Máx}$. Deste modo o baixo fator de carga acaba também por comprometer a utilização de equipamentos dimensionados para trabalhar nas suas potências nominais.

Aqui, estipular-se-á como critério que, se a $D_{Máx}$ for 25% maior que a demanda média, então o dimensionamento do transformador será feito pela $D_{Máx}$. Esta consideração foi estabelecida para eventuais oportunidades de se aproveitar a capacidade de trabalho em sobrecarga de alguns transformadores que é normalmente de 25% acima da sua potência nominal. Em outras palavras: para um fator de carga abaixo de 0,80, os transformadores serão dimensionados pelas suas demandas máximas.

No caso do fator de carga ser maior que 0,80, o dimensionamento dos transformadores dar-se-ia pela $D_{Méd}$, pois este suportaria os picos de demanda, os quais estariam dentro da faixa dos 25% estipulados para que o transformador opere em sobrecarga. Como se pode ver, este seria o caso, em que ter-se-ia o melhor aproveitamento do transformador.

Outra consideração que deve ser feita é quanto aos possíveis aumentos da potência instalada, os quais devem ser previstos deixando-se uma porcentagem da potencial nominal para reserva. Segundo ARANA (1994), a concessionária sugere a instalação dos transformadores com 30% de reserva, contudo sabe-se que a taxa de crescimento das cargas dentro do campus não chega a estes valores, então para fins de critério de estudo achou-se mais conveniente adotar o valor de 20% de reserva. Para os casos em que a ampliação supera a reserva deixada é necessário realizar-se um estudo da possibilidade de troca do transformador, para que não se corram riscos de comprometer o transformador já existente.

Os dados para o cálculo da demanda média são obtidos através dos arquivos gerados pelo registrador/medidor RE1000/PT, que fornecem a energia consumida e o período de tempo da medição. Quanto à demanda máxima e ao fator de potência, para que se possa dimensionar os transformadores, estas grandezas também são fornecidas pelos arquivos do registrador. Uma outra solução para a obtenção destes dados seria a extração direta da curva de carga de cada transformador.

Com isto pode-se dimensionar os transformadores para duas situações, dependendo do fator de carga:

- fator de carga maior que 0,80

Através da $D_{Méd}$, tem-se:

$$S_{Méd} = \frac{D_{Méd}}{\cos(\phi)} \quad (3.5)$$

Adotando 20% de reserva, a potência do transformador será:

$$S_{TRAFO} = 1,2 \cdot S_{Méd} \quad (3.6)$$

- fator de carga menor que 0,80

Através da $D_{Máx}$, tem-se:

$$S_{Máx} = \frac{D_{Máx}}{\cos(\phi)} \quad (3.7)$$

Adotando 20% de reserva, a potência do transformador será:

$$S_{TRAFO} = 1,2 \cdot S_{Máx} \quad (3.8)$$

Calculada a potência exigida, a escolha do transformador é definida através do valor mais próximo encontrado no mercado. Conforme CPFL (1989), têm-se os seguintes valores padronizados:

TABELA 3.1 - Transformadores encontrados no mercado

Demanda calculada [kVA]	Transformador recomendado [kVA]
até 33	30
34 a 49	45
50 a 82	75
83 a 124	112,5
125 a 165	150
166 a 250	225
> 250	admite-se uma folga 20% superior. Fica a critério do projetista a escolha do transformador

Nos casos das instalações, nos quais as curvas de cargas informam se existem curtos períodos de pico de demanda que permitem ao transformador trabalhar em sobrecarga, pode-se aproveitar a capacidade térmica destes equipamentos, a fim de diminuir seus valores nominais. No entanto, deve-se lembrar que a redução na capacidade nominal dos transformadores e circuitos adjacentes não deve afetar o desempenho do sistema nos períodos de picos de carga.

3.1.2 Avaliação dos transformadores em operação no campus

Com a finalidade de aplicar a metodologia descrita acima e de esclarecer a maneira como serão analisados os transformadores dentro do campus universitário, será explicado como se procedeu à análise de cada transformador.

Como foi estipulado acima, os transformadores deveriam ter uma reserva de 20% na potência nominal. Assim, para que se possa avaliar as condições em que cada transformador está trabalhando é necessário calcular a sua reserva, onde foi utilizada como demanda de operação do transformador a potência máxima exigida ($S_{Máx}$, cujo cálculo foi demonstrado anteriormente), Tal consideração é feita, devido ao baixo fator de carga das instalações no campus.

$$\text{Reserva} = \frac{\text{Pot.do Transformador} - S_{Máx}}{S_{Máx}} \cdot 100 \text{ [\%]} \quad (3.9)$$

Portanto, através deste cálculo pode-se avaliar as condições em que operam os transformadores. Cabe lembrar ainda que esta reserva não considera a capacidade dos transformadores operar em um curto período de tempo com sobrecarga de 25% da potência nominal.

Apesar desta última observação, pode-se permitir que alguns transformadores usem esta capacidade de sobrecarga de 25%, como se fosse parte de sua reserva (estipulada de 20%), pois estes transformadores estão sendo dimensionados conforme a sua demanda máxima, que por sua vez é exigida por períodos de tempos relativamente curtos. Tal afirmação pode ser confirmada pela análise das curvas de carga. Também é válido lembrar, ao dimensionar os transformadores, se o uso desta capacidade de sobrecarga é segura o bastante para que ocorra a correta operação das instalações.

3.1.2.1 Condições de operação dos transformadores

Como foi visto, para se analisar os transformadores corretamente, é necessário uma série de cálculos para cada transformador, a fim de se obter a sua correta avaliação de operação, por isto serão apresentados na tabela a seguir os resultados obtidos.

TABELA 3.2 - Cálculos preliminares para avaliação de cada transformador

Código	Pot. [kVA]	D _{Máx} [kW]	D _{Méd} [kW]	FC	cos ϕ	S _{Máx} [kVA]	Res. [%]
TR – 01	30	28,967	11,190	0,386	0,868	33,372	-10,10
TR – 02	75	54,050	23,979	0,444	0,858	62,995	19,06
TR – 03	75	62,120	31,883	0,513	0,871	71,320	5,16
TR – 05	225	78,680	43,686	0,555	0,817	96,304	133,64
TR – 07	225	111,281	53,922	0,485	0,852	130,612	72,27
TR – 08	75	39,039	19,786	0,507	0,916	42,619	75,98
TR – 09	150	60,420	24,815	0,411	0,889	67,964	120,71
TR – 10	75	53,710	28,277	0,526	0,790	67,987	10,32
TR – 11	225	75,330	48,858	0,649	0,807	93,346	141,04
TR – 12	112,5	37,080	1,555	0,042	0,935	39,658	183,68
TR – 14	75	36,631	19,544	0,534	0,894	40,974	83,04

Código	Pot. [kVA]	D _{Máx} [kW]	D _{Méd} [kW]	FC	cos ϕ	S _{Máx} [kVA]	Res. [%]
TR – 15	75	8,929	4,784	0,536	0,977	9,139	720,63
TR – 16	75	25,910	11,802	0,455	0,930	27,860	169,20
TR – 17	75	6,646	1,143	0,172	0,688	9,660	676,41
TR – 18	75	4,196	0,928	0,221	0,939	4,469	1578,38
TR – 19	75	12,960	2,018	0,156	0,933	13,891	439,92
TR – 20	112,5	51,710	20,407	0,395	0,912	56,700	116,05
TR – 21	300	125,800	63,166	0,502	0,839	149,940	100,08
TR – 22	45	12,360	6,958	0,563	0,526	23,498	91,51
TR – 25	75	38,280	17,470	0,456	0,949	40,337	85,93
TR – 26	150	39,710	14,883	0,375	0,990	40,111	273,96
TR – 27	75	12,970	5,058	0,390	0,959	13,525	454,55
TR – 28	112,5	49,08	17,601	0,359	0,963	50,966	120,74
TR – 30	150	58,802	18,249	0,310	0,781	75,291	99,23
TR – 31	225	42,713	14,636	0,343	0,948	45,056	399,38
TR – 32	300	115,700	65,749	0,568	0,821	140,926	112,88
TR – 33	75	21,24	15,656	0,737	0,889	23,892	213,91
TR – 34	75	34,497	19,836	0,575	0,731	47,192	58,93
TR – 35	75	38,792	19,220	0,495	0,899	43,150	73,81
TR – 36	300	108,400	64,301	0,593	0,860	126,047	138,01
TR – 37	300	32,790	9,540	0,291	0,885	37,051	709,70
TR – 38	75	39,090	10,640	0,272	0,739	52,896	41,79

Após os cálculos dos fatores de carga dentro do campus, conclui-se que o seu valor é praticamente muito abaixo de 0,80 na maioria dos transformadores. Isto conduz para que o dimensionamento de todos os equipamentos seja feito através da demanda máxima.

3.1.3 Propostas para melhorar a utilização dos transformadores

Em vista do quadro apresentado, existem muitos transformadores dentro do campus subutilizados, abaixando deste modo o fator de potência. Estes por sua vez poderiam ser

trocados através de um redimensionamento, ou realocados conforme a situação, onde dois ou mais transformadores próximos e subutilizados poderiam ter suas cargas alimentadas por um único transformador.

Portanto, no decorrer das propostas, poderá ocorrer a mudança de alguns transformadores, com a utilização dos próprios transformadores desativados com as alterações sugeridas, na intenção de não se comprar nenhum transformador.

3.1.3.1 Realocação dos transformadores

Na maioria das situações de realocação dos transformadores, estes encontram-se instalados na mesma cabina de distribuição ou próximos entre si, a fim de se evitar realocações entre transformadores distantes, os quais poderiam necessitar de um redimensionamento dos condutores secundários que compõem o circuito.

Cabe lembrar ainda que, com a realização da realocação dos transformadores, não será garantido o uso de um dos transformadores já existentes nas proximidades, pois alguns destes transformadores ainda continuam superdimensionados após a realocação, então além da realocação dos transformadores será proposta também a substituição do transformador por um outro a disposição.

Para a realização dos cálculos foram levantadas as potências totais consumidas por cada transformador, através dos gráficos gerados pelo registrador/medidor RE1000/PT, a fim de se estimar o novo fator de potência da instalação e conseqüentemente avaliar as condições de trabalho após a realocação. Seguindo o mesmo raciocínio, também foram realizados os cálculos para o fator de carga da realocação.

Deve-se observar que a soma das potências consumidas foi possível, devido o período de instalação do registrador em todos os transformadores ser praticamente igual, pois caso isto não ocorresse, poder-se-ia chegar a valores que não condizem com a realidade. Em outras palavras não poder-se-iam somar as potências consumidas de transformadores diferentes, se estas fossem medidas em intervalos de tempos desiguais e em períodos sazonais diferentes, pois isto causaria erros no levantamento das características de operação.

Também deve-se considerar, por segurança, que os picos de demanda máxima em cada transformador ocorrem em um mesmo instante, o que não é verdade, mas é válido para efeito de realocação.

Veja alguns pontos onde poder-se-ia, realizar tais modificações:

- **Realocação 01**

Transformadores TR - 10 (75 kVA), TR - 12 (112,5 kVA) e TR - 15 (75 kVA), possuindo respectivamente as reservas de 10,32%, 183,68% e 720,63%. Propõe-se que a demanda atendida pelos três transformadores seja atendida apenas pelo TR - 12, já instalado no local. A nova condição de trabalho do transformador seria a seguinte:

Potência ativa consumida total: $1362 + 75,68 + 229,6 = 1667,28 \text{ kWh}$

Potência reativa consumida total: $1058 + 28,66 + 50,45 = 1137,11 \text{ kVArh}$

Portanto o $\cos(\phi)$ para a realocação é de: 0,826

Demanda média: $28,277 + 1,555 + 4,784 = 34,616 \text{ kW}$

Demanda máxima: $53,710 + 37,080 + 8,929 = 99,719 \text{ kW}$

Fator de carga da realocação: 0,347

Dimensionando então pela $D_{Máx}$: $S_{Máx} = 99,719 / 0,826 = 120,703 \text{ kVA}$

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 120,703 \times 1,2 = 144,844 \text{ kVA}$

Desta maneira, poder-se-ia manter o transformador TR - 12 (112,5 kVA), de modo que este passaria a operar em condições de sobrecarga nos picos de demanda, pois o dimensionamento foi realizado sobre a $D_{Máx}$, este sobrecarregamento seria de aproximadamente $|112,5 - 120,703| / 120,703 = 6,8\%$ o que é admissível, pois o período de funcionamento nesta situação é curto. Apesar deste valor estar abaixo dos 25% considerados para que o transformador possa trabalhar em sobrecarga, a persistência do TR - 12, acabaria por não oferecer uma reserva de 20% da sua potência nominal, além de operar por alguns momentos acima da sua potência nominal, ou seja, em condições de sobrecarga.

Neste caso para uma maior segurança de operação, o transformador ideal para instalação seria um de potência nominal de 150 kVA, o qual proporcionaria 24,27% de reserva, além da possibilidade de operar em sobrecarga. Este transformador poderia ser obtido através da realização da Realocação 05, a qual desativaria o TR - 30 (150 kVA).

- **Realocação 02**

Transformadores TR - 17 (75 kVA) e TR - 18 (75 kVA), possuindo respectivamente as reservas de 676,41% e 1578,38%. Propõe-se que a demanda atendida pelos dois transformadores seja atendida apenas por um dos transformadores, pois estes possuem a mesma potência nominal. A nova condição de trabalho do transformador seria a seguinte:

Potência ativa consumida total: $54,18 + 44,78 = 98,96 \text{ kWh}$

Potência reativa consumida total: $57,15 + 16,38 = 73,53 \text{ kVArh}$

Portanto o $\cos(\phi)$ para a realocação é de: 0,803

Demanda média: $1,143 + 0,928 = 2,071 \text{ kW}$

Demanda máxima: $6,646 + 4,196 = 10,842 \text{ kW}$

Fator de carga da realocação: 0,191

Dimensionando então pela $D_{\text{Máx}}$: $S_{\text{Máx}} = 10,842/0,803 = 13,507 \text{ kVA}$

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{\text{TRAFO}} = 13,507 \times 1,2 = 16,208 \text{ kVA}$

Portanto, após os cálculos, conclui-se que um transformador de 30 kVA seria a melhor opção para a instalação, pois atenderia com folga os requisitos necessários para atender as cargas, com uma reserva de 122,10%. Todavia esta troca não seria possível, pois não existe nenhum transformador à disposição dentro do campus com esta potência nominal. Então o transformador TR - 17 (75 kVA) seria, dentre as opções, a melhor, apesar de estar ainda superdimensionado, proporcionando uma reserva para a $D_{\text{Máx}}$ de aproximadamente 455,26%.

- **Realocação 03**

Transformadores TR - 19 (75 kVA) e TR - 20 (112,5 kVA), possuindo respectivamente as reservas de 439,92% e 98,41%. Propõe-se que a demanda atendida pelos dois transformadores seja atendida apenas pelo TR - 19 que se encontra instalado próximo ao TR - 20. A nova condição de trabalho do transformador seria a seguinte:

Potência ativa consumida total: $102,97 + 974 = 1076,97 \text{ kWh}$

Potência reativa consumida total: $39,73 + 439,23 = 478,96 \text{ kVArh}$

Portanto o $\cos(\phi)$ para a realocação é de: 0,914

Demanda média: $2,018 + 20,407 = 22,425 \text{ kW}$

Demanda máxima: $12,960 + 51,710 = 64,670 \text{ kW}$

Fator de carga da realocação: 0,347

Dimensionando então pela $D_{Máx}$: $S_{Máx} = 64,670/0,914 = 70,777 \text{ kVA}$

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 70,777 \times 1,2 = 84,932 \text{ kVA}$

Após os cálculos, conclui-se que o transformador TR - 19 (75 kVA) seria suficiente para suprir a demanda exigida pela instalação, pois operaria em condições normais de trabalho nos momentos de pico de carga. Contudo, a margem de reserva seria somente de 6% e não de 20% como estipulado por projeto. Exigindo-se assim que para o caso de futuras ampliações das instalações ou aumento do pico de carga o transformador opere dentro das faixa dos 25% de sobrecarga, o que se pode permitir, pois geralmente os períodos de altas demandas são curtos.

Apesar da margem de reserva ser menor que a estipulada, a troca por outro transformador neste caso não é tão viável, pois o TR - 19 ainda não esta operando na região de sobrecarga nos momentos de pico de carga. Caso a troca fosse realizada, o transformador para substituição mais próximo ao TR - 19, é o de 112,5 kVA, o qual proporcionaria uma reserva, no momento desnecessária, de 59%. Então mantém-se o TR - 19, desde que não ocorra um aumento significativo da potência consumida pelos departamentos alimentados por este transformador.

Neste caso seria recomendado uma nova avaliação do comportamento das curvas de carga dos dois transformadores, através de um novo levantamento das curvas pelo registrador/medidor, só que por um período de tempo maior, quando procurar-se-ia descobrir se existe instalado algum equipamento de grande porte que é utilizado esporadicamente, exigiria picos de demandas que talvez não foram registrados nesta primeira medição, os quais pudessem comprometer o transformador.

• Realocação 04

Transformadores TR - 21 (300 kVA) e TR - 22 (45 kVA), possuindo respectivamente as reservas para a $D_{Máx}$ de 100,08% e 91,51%. Propõe-se que a demanda seja atendida pelo TR - 21 que se encontra na mesma cabina. A nova condição de trabalho do transformador seria a seguinte:

Potência ativa consumida total: $3053 + 330,5 = 3383,5 \text{ kWh}$

Potência reativa consumida total: $1979 + 534,5 = 2513,5 \text{ kVArh}$

Portanto o $\cos(\phi)$ para a realocação é de: 0,803

Demanda média: $63,166 + 6,958 = 70,124 \text{ kW}$

Demanda máxima: $125,800 + 12,360 = 138,160 \text{ kW}$

Fator de carga da realocação: 0,508

Dimensionando então pela $D_{M\acute{a}x}$: $S_{M\acute{a}x} = 138,160/0,803 = 172,111 \text{ kVA}$

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 172,111 \times 1,2 = 206,533 \text{ kVA}$

Após os cálculos, conclui-se que um transformador de 225 kVA seria suficiente para suprir a demanda exigida pela instalação, pois operaria em condições normais de trabalho nos momentos de pico de carga, com uma reserva de 30,73%. O transformador recomendado seria o TR - 05, o qual seria desativado se realizada a Troca 01, como será visto mais adiante.

Todavia se esta troca não for realizada, o transformador TR - 21 (300 kVA) seria, dentre as opções, a melhor, apesar de estar superdimensionado para as cargas que deverá atender, proporcionando uma reserva de 74,31%.

• Realocação 05

Transformadores TR - 30 (150 kVA), TR - 31 (225 kVA) e TR - 32 (300 kVA), possuindo respectivamente as reservas para a $D_{M\acute{a}x}$ de 99,23%, 361,45% e 112,88%. Propõe-se que a demanda atendida pelos transformadores seja atendida pelo TR - 32 que está instalado na mesma subestação. A nova condição de trabalho do transformador seria a seguinte:

Potência ativa consumida total: $871,4 + 702,5 + 3145 = 4718,9 \text{ kWh}$

Potência reativa consumida total: $695,7 + 236,5 + 2184 = 3116,2 \text{ kVArh}$

Portanto o $\cos(\phi)$ para a realocação é de: 0,834

Demanda média: $18,249 + 14,636 + 65,749 = 98,634 \text{ kW}$

Demanda máxima: $58,802 + 42,713 + 115,700 = 217,215 \text{ kW}$

Fator de carga da realocação: 0,454

Dimensionando então pela $D_{M\acute{a}x}$: $S_{M\acute{a}x} = 217,215/0,834 = 260,303 \text{ kVA}$

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 260,303 \times 1,2 = 312,364 \text{ kVA}$

Portanto, após os cálculos, conclui-se que o transformador TR - 32 (300 kVA), seria suficiente para suprir a demanda exigida pela instalação, pois operaria em condições normais de trabalho nos momentos de pico de carga. Contudo, a reserva seria de 15,25%, deslocando uma parte da reserva projetada de 20% para dentro da faixa dos 25% de trabalho sob sobrecarga.

• **Realocação 06**

Transformadores TR - 33 (75 kVA), TR - 34 (75 kVA) e TR - 35 (75 kVA), possuindo respectivamente as reservas para a $D_{Máx}$ de 213,91%, 58,93% e 73,81%. Propõe-se que a demanda atendida por estes três transformadores instalados na mesma cabina de alvenaria seja atendida por um único transformador. A nova condição de trabalho do transformador seria a seguinte:

Potência ativa consumida total: $750,2 + 952,1 + 921 = 2623,3 \text{ kWh}$

Potência reativa consumida total: $387 + 889,5 + 449,6 = 1726,1 \text{ kVArh}$

Portanto o $\cos(\phi)$ para a realocação é de: 0,835

Demanda média: $15,656 + 19,836 + 19,220 = 54,712 \text{ kW}$

Demanda máxima: $21,240 + 34,497 + 38,792 = 94,529 \text{ kW}$

Fator de carga da realocação: 0,579

Dimensionando então pela $D_{Máx}$: $S_{Máx} = 94,529/0,835 = 113,157 \text{ kVA}$

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 113,157 \times 1,2 = 135,788 \text{ kVA}$

Após os cálculos, conclui-se que um transformador de 150 kVA seria suficiente para suprir a demanda exigida pela instalação, pois atenderia a todos os pré-requisitos de projeto, proporcionando uma reserva de 32,56%. Este transformador seria o TR - 26, obtido através da realização da Troca 06.

Terminadas as realocações propostas têm-se os seguintes transformadores a disposição:

TABELA 3.3 - Transformadores desativados após as realocações

Realocação	Transformadores desativados	Potência em kVA
01	TR - 10	75
	TR - 12	112,5
	TR - 15	75
02	TR - 18	75
03	TR - 20	112,5
04	TR - 21	300
	TR - 22	45
05	TR - 30	150
	TR - 31	225

Realocação	Transformadores desativados	Potência em kVA
06	TR – 33	75
	TR – 34	75
	TR – 35	75

3.1.3.2 Troca dos transformadores

A proposta de troca de alguns transformadores superdimensionados instalados dentro do campus só é possível devido à desativação de alguns transformadores na realocação proposta anteriormente ou até mesmo desativados por meio de outras trocas.

Assim, considerando-se a realização das realocações, pode-se elaborar uma proposta de troca dos transformadores, a fim de eliminar estes superdimensionamentos.

TABELA 3.4 - Propostas de alteração dos transformadores

Código do Transformador	Transformador existente		Dados de projeto		Transformador proposto	
	Potência kVA	Reserva	$S_{M\acute{a}x}$	S_{TRAFO}	Potência kVA	Reserva
TR - 01	30	-10,10	33,372	40,046	45	34,84
TR - 02	75	19,06	62,995	75,594	75	19,06
TR - 03	75	5,16	71,320	85,584	112,5	57,74
TR - 05	225	133,64	96,304	115,564	112,5	16,82
TR - 07	225	72,27	130,612	156,734	150	14,84
TR - 08	75	75,98	42,619	51,143	75	75,98
TR - 09	150	120,71	67,964	81,557	75	10,35
TR - 11	225	141,04	93,346	112,015	112,5	20,52
TR - 14	75	83,04	40,974	49,169	45	9,83
TR - 16	75	169,20	27,860	33,432	30	7,68
TR - 25	75	85,93	40,337	48,405	45	11,56
TR - 26	150	273,96	40,111	48,133	45	12,19
TR - 27	75	454,55	13,525	16,229	30	121,82
TR - 28	112,5	120,74	50,966	61,159	75	47,16
TR - 36	300	138,01	126,047	151,256	150	19,00

Código do Transformador	Transformador existente		Dados de projeto		Transformador proposto	
	Potência kVA	Reserva	$S_{Máx}$	S_{TRAFO}	Potência kVA	Reserva
TR - 37	300	709,70	37,051	44,461	45	21,46
TR - 38	75	41,79	52,896	63,475	75	41,79

Como se pode perceber somente os transformadores: TR - 02, TR - 03, TR - 08, TR - 38 não necessitariam ser alterados. No entanto existem alguns transformadores que podem ser substituídos por aqueles desativados nas realocações propostas anteriormente.

- **Troca 01**

Transformador TR - 05 (225 kVA),

Reserva atual: 133,64%

Dimensionando então pela $D_{Máx}$: $S_{Máx} = 78,680/0,817 = 96,304$ kVA

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 96,304 \times 1,2 = 115,564$ kVA

O transformador existente pode ser trocado pelo TR - 12 (112,5 kVA) que foi desativado pela Realocação 01, onde a nova reserva será de 16,82% da potência nominal.

- **Troca 02**

Transformador TR - 07 (225 kVA)

Reserva atual: 72,267%

Dimensionando então pela $D_{Máx}$: $S_{Máx} = 111,281/0,852 = 130,612$ kVA

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 130,612 \times 1,2 = 156,734$ kVA

O transformador existente pode ser trocado pelo TR - 09 (150 kVA) que pode ser desativado pela Troca 03, onde a nova reserva será de 14,84% da potência nominal.

- **Troca 03**

Transformador TR - 09 (150 kVA)

Reserva atual: 120,70%

Dimensionando então pela $D_{Máx}$: $S_{Máx} = 60,420/0,889 = 67,964$ kVA

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 67,964 \times 1,2 = 81,557$ kVA

O transformador existente pode ser trocado pelo TR - 10 (75 kVA) que foi desativado pela Realocação 01, onde a nova reserva será de 10,35% da potência nominal.

- **Troca 04**

Transformador TR - 11 (225 kVA)

Reserva atual: 141,04%

Dimensionando então pela $D_{Máx}$: $S_{Máx} = 75,330/0,807 = 93,346$ kVA

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 93,346 \times 1,2 = 112,015$ kVA

O transformador existente pode ser trocado pelo TR - 28 (112,5 kVA) que pode ser desativado pela Troca 05, onde a nova reserva será de 20,52% da potência nominal.

- **Troca 05**

Transformador TR - 28 (112,5 kVA)

Reserva atual: 120,74%.

Dimensionando então pela $D_{Máx}$: $S_{Máx} = 49,080/0,963 = 50,966$ kVA

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 50,966 \times 1,2 = 61,159$ kVA

O transformador existente pode ser trocado pelo TR - 15 (75 kVA) que foi desativado pela Realocação 01, onde a nova reserva será de 47,16% da potência nominal.

- **Troca 06**

Transformador TR - 26 (150 kVA)

Reserva atual: 273,96%.

Dimensionando então pela $D_{Máx}$: $S_{Máx} = 39,710/0,990 = 40,111$ kVA

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 40,111 \times 1,2 = 48,133$ kVA

Na verdade, a potência ideal para o novo transformador seria de 45 kVA, proporcionando uma reserva de 12,19%. Mas, como foi mencionado anteriormente, o TR - 26 será utilizado na realização da Realocação 06, então sua substituição tem que ser imediata e o transformador disponível de potência mais próxima à calculada é o de 75 kVA. Desta forma o transformador existente pode ser trocado pelo TR - 18 (75

kVA) que foi desativado pela Realocação 02, onde a nova reserva é de 86,98% da potência nominal.

- **Troca 07**

Transformador TR - 37 (300 kVA)

Reserva atual: 709,70%.

Dimensionando então pela $D_{M\acute{a}x}$: $S_{M\acute{a}x} = 32,79/0,885 = 37,051$ kVA

Deixando-se uma reserva de 20%: $S_{TRAFO} = 37,051 \times 1,2 = 44,461$ kVA

Portanto a potência ideal para o novo transformador seria de 45 kVA, proporcionando uma reserva de 21,46%. Mas como o único transformador disponível de potência mais próxima à calculada é o de 75 kVA, este poderia ser substituído pelo TR - 33 (75 kVA) que foi desativado pela Realocação 06, onde a nova reserva será de 102,43%.

Como se pode ver, a proposta de troca dos transformadores foi feita somente para os transformadores com potência nominal acima de 75 kVA, pois caso também fosse realizada a troca destes transformadores superdimensionados, ter-se-ia que fazer a compra de novos transformadores de potências inferiores para substituí-los, o que não é possível, pois foi considerado somente o uso dos transformadores já existentes no campus.

Uma sugestão que poderia ser utilizada, caso seja necessário a aquisição de novos transformadores de 75 kVA, em vista de futuras ampliações do campus, seria a compra de transformadores de potências menores, a fim de realizar possíveis trocas dos transformadores superdimensionados de 75 kVA, aproveitando-os em outras instalações, o que seria altamente viável tanto do ponto de vista técnico como do ponto de vista econômico, pois quanto menor a potência do transformador, menor é o seu custo de aquisição.

Os transformadores passíveis de troca, por meio de compra de um novo para substituí-los, são: TR - 14, TR - 16 e TR - 27, onde a metodologia adotada segue a apresentada anteriormente. O TR - 25, também poderia ser substituído mediante compra, porém isto não deverá ser feito, pois o Departamento de Elétrica está passando por uma ampliação significativa.

3.1.3.3 Panorama final

Caso todas as modificações fossem realizadas o campus apresentaria a distribuição de transformadores a seguir. Somente serão demonstradas as reservas dos transformadores que sofreram modificações.

TABELA 3.5 - Transformadores em operação após as modificações propostas

Código	Localização	Alteração	Potência kVA	Reserva
TR - 01	Observatório	Sem alteração	30	
TR - 02	Arquit. Antiga	Sem Alteração	75	---
TR - 03	Hidráulica	Sem Alteração	75	---
TR - 04	Banespa	Não estudado	30	---
TR - 05	Química	Realocação 04	225	30,73%
TR - 08	LDCC/ICMSC	Sem alteração	75	---
TR - 09	Lamafe/Refeitório	Troca 02	150	14,84%
TR - 10	Oficina Mecânica	Troca 03	75	10,35%
TR - 12	E - 1	Troca 01	112,5	16,82%
TR - 13	Matemática	Não estudado	150	---
TR - 14	CAD-CAM	Troca por compra	75	---
TR - 15	Moradia - I	Troca 05	75	47,16%
TR - 16	Marcenaria	Troca por compra	75	---
TR - 17	Cristalografia	Realocação 02	75	455,26%
TR - 18	Arquitetura	Troca 06	75	12,19%
TR - 19	Estruturas e Geotecnia	Realocação 03	75	5,97%
TR - 25	Dep. de Elétrica	Sem Alteração	75	---
TR - 26	Física	Realocação 06	150	32,56%
TR - 27	Topografia	Troca por compra	75	---
TR - 28	CISC	Troca 04	112,5	20,52%
TR - 29	1-P1\Fís.\Laser Arg.	Não estudado	225	---
TR - 30	Gráfica e Biblioteca	Realocação 01	150	24,27%
TR - 32	Física	Realocação 05	300	14,23%
TR - 33	Ensino	Troca 07	75	102,43%

Código	Localização	Alteração	Potência kVA	Reserva
TR - 36	Fís.\Trafo-3A\Labs	Sem alteração	300	---
TR - 38	Materiais	Sem alteração	75	---

Terminadas todas estas modificações tem-se os seguintes transformadores desativados:

TR - 07, TR - 11, TR - 20, TR - 21, TR - 22, TR - 31, TR - 34, TR - 35 e TR - 37.

3.2 Fator de Potência

A definição do fator de potência pode ser expressa como a relação entre a potência ativa e potência aparente, a qual mede a quantidade de energia ativa consumida pelas cargas.

Sabe-se que a energia reativa não produz trabalho efetivo, mas é necessária para o estabelecimento do campo magnético de equipamentos, como: reatores; motores; e transformadores entre outros; os quais são encontrados em número expressivo dentro do campus. Apesar desta necessidade da energia reativa para o funcionamento destes equipamentos, a concessionária não cobra o seu fornecimento, desde que os consumidores não ultrapassem o limite mínimo atual de 0,92 para o fator de potência de suas instalações.

A portaria nº 1569 do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE), de 23 de dezembro de 1993 estabelece que o fator de potência indutivo ou capacitivo, na época de 0,85, passaria a ter como limite mínimo o valor de 0,92, a partir de abril de 1994; porém suas características seriam limitadas da seguinte forma: 0,92 indutivo entre 6:00 e 24:00 horas e 0,92 capacitivo entre 0:00 e 6:00 horas. A avaliação deste para efeito de faturamento do consumo e demanda de reativos excedentes deixaria de ser feita pela média mensal, a partir de abril de 1996, passando a ser realizada a cada intervalo de uma hora, obrigando, deste modo, os consumidores a adequarem, no decorrer deste prazo, (abril de 1994 - abril de 1996) suas instalações, para não sofrerem penalizações pelo consumo excessivo de potência reativa.

Esta legislação tem como objetivo trazer um grande benefício para a sociedade através da liberação de carga do sistema elétrico brasileiro, todavia resulta em um razoável impacto financeiro nas contas de energia elétrica para os consumidores que não adequaram suas instalações. Segundo HEURI & FRANCO (1993), para o caso de um consumidor que ainda possui o fator de potência de 0,85 nas suas instalações e está submetido ao cálculo de faturamento horário, ao invés da média mensal, terá um acréscimo de 35,82% na penalização pelo uso além do permitido de energia reativa.

Portanto, por meio das medições levantadas pelo RE1000/PT, nos secundários dos transformadores, far-se-á uma análise sobre o fator de potência dentro do campus, buscando-se identificar as causas fundamentais do seu baixo valor, a fim de apresentar propostas que possam melhorá-lo.

Convém lembrar que o baixo fator de potência não é só devido ao uso incorreto dos transformadores, mas sim a uma série de causas como: motores mal dimensionados e equipamentos antigos encontrados dentro dos departamentos. Por isto, não basta apresentar

somente soluções para o baixo fator de potência devido a transformadores operando a vazio ou superdimensionados, mas sim identificar as outras possíveis causas do baixo fator de potência junto às cargas alimentadas por estes transformadores, a fim de eliminar o problema.

3.2.1 Como melhorar o fator de potência e suas vantagens

Dentro do campus existem diversas causas que podem provocar a redução do fator de potência, devido uma expressiva quantidade de equipamentos antigos os quais não se enquadram na nova portaria do DNAEE, e da grande diversidade de equipamentos de um departamento para o outro, o que torna muito difícil identificar quais destes são realmente responsáveis pelo baixo fator de potência.

Porém de todas as causas encontradas, o maior enfoque será dado aos transformadores, pois eles representam os equipamentos de maior porte encontrados no campus. Uma vez identificados os pontos causadores do baixo fator de potência, pode-se solucionar estes problemas reduzindo-se a componente reativa da instalação.

Os critérios de localização dos capacitores para efetuar esta correção dependem do tipo de instalação, da potência do banco de capacitores e da característica de funcionamento das cargas, fig. 3.2. Onde: A - Lado de alta tensão; B - Lado de baixa tensão; C - na barra de carga; e D - em paralelo com motores.

FIGURA 3.2 - Possibilidades de instalação dos bancos de capacitores

Cada uma das possibilidades apresentadas tem suas vantagens e desvantagens, dependendo do tipo de carga e das instalações existentes.

A instalação de capacitores junto aos pontos de cargas que apresentam baixo fator de potência seria a melhor solução. Na maioria da vezes, estas cargas são caracterizadas por motores de média ou grande potência que trabalham durante várias horas por dia, os quais devem possuir uma única chave para manobrar simultaneamente o conjunto motor-capacitor. Conforme o COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CODI), as principais vantagens deste tipo de compensação, são:

- redução das perdas energéticas em toda instalação;
- diminuição da carga nos circuitos de alimentação dos equipamentos compensados;
- melhora dos níveis de tensão de toda a instalação;
- possibilidade de se utilizar um sistema único de acionamento para a carga e o capacitor, economizando-se equipamentos de manobra;
- geração de reativos somente onde é necessário.

Contudo existem algumas desvantagens, são elas:

- muitos capacitores de pequena potência têm o custo maior que capacitores concentrados de potência maior;
- a pouca utilização dos capacitores, no caso do equipamento compensado não ser de uso constante;
- para os motores, deve-se compensar no máximo 90% da energia reativa necessária.

Todavia, poder-se-ia corrigir o baixo fator de potência dos transformadores por meio da colocação de bancos de capacitores junto ao quadro de distribuição de carga, isto é, no ponto de concentração de cargas. A principal vantagem é a liberação de potência do transformador e da capacidade nos cabos alimentadores, além de tornar a instalação mais econômica, uma vez que a potência reativa solicitada pelo conjunto da instalação é menor que no caso da compensação individual. Tem como desvantagem o fato de não haver diminuição de corrente nos alimentadores de cada equipamento compensado. Caso o banco de capacitores junto ao quadro não seja automático, seria recomendável a existência de uma chave seccionadora-fusível que permita, além de proteger o equipamento, desligar o banco quando finalizadas as operações das cargas.

A instalação de capacitores no lado de baixa tensão dos transformadores mais carregados indutivamente é uma solução viável, quando se tem instalações elétricas com um

número elevado de cargas com potências diferentes e regimes de utilização pouco uniformes.

Apresentando como vantagens:

- os capacitores instalados são mais utilizados;
- fácil supervisão;
- possibilidade de controle automático;
- melhoria geral do nível de tensão;
- instalações adicionais suplementares relativamente simples.

Além de simplificar o número de capacitores, aumenta a eficiência dos transformadores e sua vida útil. Porém não libera o cabo alimentador da queda de tensão e das perdas envolvidas.

No entanto, a instalação de capacitores na parte de alta tensão dos transformadores não é aconselhável por causa dos altos custos dos isoladores dos capacitores, da chave de proteção de alta tensão e possui a desvantagem de não reduzir o carregamento do transformador da subestação, ou seja, não melhorar em nada o sistema de baixa tensão, só servindo para corrigir o fator de potência para a concessionária, evitando o pagamento de multa pelo baixo fator de potência.

Na existência de cargas oscilantes, as quais provocam um baixo fator de potência, é necessário instalar um controle no compensador capaz de desligar a parcela de capacitores que injeta os reativos excedentes no sistema, nos instantes de menos carga, ou de carga desligada, para compensar devidamente as flutuações de reativo.

A preocupação quanto ao desligamento do banco de capacitores instalados próximos às cargas é válida, não permitindo a injeção desnecessária de reativo capacitivo na rede, o qual pode provocar grandes oscilações de tensão. Isto pode ser resolvido desligando-se manualmente ou através de chaveamento dos bancos de capacitores (compensadores controlados), pois o fator de potência capacitivo também é prejudicial ao sistema elétrico e também está limitado pela portaria do DNAEE.

Portanto, pode-se concluir que a instalação dos capacitores e o seu controle devem ser feitos prioritariamente na baixa tensão, e de preferência o mais próximo da unidade de consumo. Desta maneira, a melhor solução seria determinar quais as cargas ou grupos de cargas necessitariam ter uma correção do fator de potência em separado. Sabendo que a compensação desses setores certamente não corrigiriam o fator de potência de todo o sistema, para as cargas restantes seria realizada uma correção centralizada, por meio de um banco automática de capacitores. Para o caso de a potência do banco de correção ter sido calculada

levando-se em conta a energia reativa consumida pelo transformador, deve-se ter o cuidado de dividir a potência calculada em duas partes: um capacitor fixo sobre o transformador e um banco com a potência restante.

3.2.2 Propostas para melhorar o fator de potência no campus

A princípio, pode-se afirmar que a substituição dos reatores mais antigos de lâmpadas de descarga por reatores de alto fator de potência, à medida que estes viessem a se danificar, melhoraria a parte que lhe é pertinente, mas o redimensionamento dos transformadores e motores existentes dentro do campus seria a melhor contribuição para a melhora do fator de potência. Entretanto, nem sempre é possível realizar estes redimensionamentos devido à viabilidade econômica, como foi visto para os transformadores no item 3.1.3. Diante deste quadro, a correção do fator de potência através da instalação de capacitores constitui a solução mais prática. A localização da sua instalação deve ser estudada, observando-se critérios técnicos e econômicos.

Apesar de atualmente o fator de potência das instalações do campus ser corrigido na alta tensão, o que não alivia em nada o carregamento das instalação de baixa tensão, propõe-se a correção do fator de potência para os transformadores que apresentarem um fator de potência médio durante o período de medição do equipamento RE1000/PT, menor que 0,85, com a instalação de um banco de capacitores no lado de baixa tensão junto aos quadros de distribuição de cargas, como medida para se obter uma melhor conservação de energia elétrica no campus. O valor limite de 0,85 foi estipulado para que se fizesse a compensação, de modo que nestes casos houvesse um descarregamento dos cabos e do transformadores internos do campus. O restante dos transformadores com fator de potência entre 0,86 e 0,92 continuariam a ter suas correções no lado de alta tensão, junto a cabina de medição.

Deve-se lembrar que as medições para estas análises foram realizadas no lado de baixa tensão, por isto as potências reativas e ativas consumidas pelos transformadores não foram registradas, devido à impossibilidade de instalação do RE 1000/PT no lado de alta tensão. Deste modo a parcela destas energias consumidas para o a manutenção do fluxo magnético e perdas Joule nos enrolamentos do transformador não estão incluídas no fator de potência médio dos dias em que o equipamento ficou instalado. Mas pode-se concluir que somente com as alterações propostas no item 3.1.3 já se deve ter uma melhora do fator de potência visto do lado de alta tensão, pois os transformadores estariam melhor dimensionados.

Considerando-se que as modificações propostas para os transformadores sejam devidamente efetuadas e seguindo-se a metodologia aplicada até o momento, para correção do fator de potência, pode-se notar que todos os transformadores alterados devido às trocas 01 e 04; e as realocações, com exceção da realocação 03, necessitariam ter o seu fator de potência corrigidos. Contudo, o transformador TR - 38, o qual não sofreu nenhuma alteração, também teria que possuir uma correção do seu fator de potência, que por sinal é o mais baixo encontrado dentro do campus.

Poder-se-ia fazer o cálculo do banco de capacitores para os transformadores realocados, contudo isto não foi feito por causa da necessidade da nova curva de carga da instalação para que se pudesse estudar o novo comportamento das cargas agrupadas pela realocação. Então, será dimensionado um banco de capacitores para o TR - 38 e para outros casos deve-se proceder da mesma maneira.

Tomando-se TR - 38, para se corrigir o fator de potência de 0,739 para 0,92, sabe-se que é necessário o cálculo da nova potência reativa necessária para que o fator de potência seja de 0,92 e conseqüentemente o ângulo ϕ igual a $23,074^\circ$, onde a potência ativa permanece constante.

$$\operatorname{tg}(\phi) = \frac{Q_{\text{ideal}}}{512,5} \therefore Q_{\text{ideal}} = \operatorname{tg}(23,074^\circ) \cdot 512,5 = 218,32 \text{ kVArh (valor médio)}$$

Subtraindo-se este valor, pelo consumo atual de potência reativa das cargas instaladas e dividindo o resultado obtido pelo tempo em que o equipamento ficou instalado no transformador, no caso 48,167 horas, tem-se o banco de capacitores necessário:

$$467,8 - 218,32 = 249,48/48,167 = 5,18 \text{ kVAr}$$

Então, deve-se instalar um banco de capacitores de 5 kVAr para melhorar o fator de potência do TR - 38.

Agora, deve-se atentar para a curva de carga característica deste transformador, pois o fator de potência de 0,739 é um valor médio sobre o período em que o aparelho RE1000/PT ficou instalado. Observando-se a curva, percebe-se que o fator de potência possui uma grande oscilação, possuindo valores flutuantes muito baixos durante o dia e valores praticamente admissíveis em parte da noite, quando os aparelhos são desligados. Isto se deve ao possível funcionamento de fornos a arco dentro do Departamento de Materiais, então a melhor solução para o fator de potência seria a instalação de um banco automático de capacitores chaveados, os quais corrigiriam o fator de potência injetando reativo conforme a necessidade do sistema, evitando assim que nos períodos da noite seja injetada potência reativa na rede, fazendo com que o fator de potência torne-se capacitivo, o qual também é penalizado pela concessionária.

Para que se possam ver os benefícios trazidos com a correção de reativo deste transformador, pode-se fazer a seguinte análise:

- $\cos(\phi) = 0,739$

$$S = \frac{P}{\cos(\phi)} = \frac{75}{0,739} = 101,49 \text{ [kVA]}$$

$$I = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{101,49 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 266,34 \text{ [A]}$$

- Para $\cos(\phi) = 0,92$:

$$S = \frac{P}{\cos(\phi)} = \frac{75}{0,92} = 81,52 \text{ [kVA]}$$

$$I = \frac{S \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{81,52 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 220} = 213,93 \text{ [A]}$$

Portanto, aumentando-se o fator de potência, houve uma redução da corrente de $(266,34 - 213,93) = 52,41 \text{ [A]}$, nos ramais dos alimentadores e conseqüentemente um aumento da capacidade de condução dos condutores e uma sensível redução nas perdas Joule.

Apesar de atualmente a universidade não estar pagando multas devido ao fator de potência, pode-se fazer esta mesma analogia para os outros transformadores instalados dentro do campus, mas a correção somente é recomendada para aqueles cujo fator de potência é muito baixo, a fim de melhorar as condições de operação do lado de baixa tensão, pois como foi dito anteriormente, já existe a correção do fator de potência no lado de alta tensão da universidade.

Assim através dessas propostas de correção do fator de potência dos transformadores que estão com o fator abaixo do mínimo permitido pela concessionária e com as realocações propostas, espera-se contribuir com o processo de conservação de energia elétrica no campus, evitando-se assim os desperdícios causados pelo baixo fator de potência nas instalações elétricas.

3.3 Fator de carga

Como dito anteriormente, o fator de carga é a relação entre a demanda média e a demanda máxima medida durante um intervalo de tempo definido, ou seja, mede o grau em que a demanda máxima foi mantida durante o intervalo de tempo de medição.

$$FC = \frac{D_{\text{Média}}}{D_{\text{Máxima medida}}} \quad (3.10)$$

O fator de carga pode ser calculado para períodos diários, semanais, mensais e anuais. O mais utilizado para análise técnica de uma instalação é o fator de carga diário, mas para as concessionárias este índice diário não é de grande valia, onde é interessante o cálculo do fator de carga mensal, a fim de analisar se os consumidores possuem um consumo uniforme durante o mês.

Como as leituras de consumo e demanda de energia elétrica são feitas mensalmente, a concessionária calcula o fator de carga mensal do consumidor, partindo da definição de demanda média, que é a relação entre a quantidade de energia consumida durante um período de tempo qualquer e o número de horas do mesmo período. Então, conforme PROCEL (b), aplicando-se a definição na fórmula anterior, tem-se:

- Tarificação convencional:

$$FC = \frac{\text{consumo mensal [kWh]}}{730 \cdot \text{demanda máxima [kW]}} \quad (3.11)$$

- Tarificação horo-sazonal (tarifa azul):

$$FC_p = \frac{\text{consumo mensal na ponta [kWh]}}{66 \cdot \text{demanda máxima na ponta [kW]}} \quad (3.12)$$

$$FC_{fp} = \frac{\text{consumo mensal fora da ponta [kWh]}}{664 \cdot \text{demanda máxima fora da ponta [kW]}} \quad (3.13)$$

- Tarificação horo-sazonal (tarifa verde): como não existe segmentação horária para a demanda de potência nesta modalidade tarifária, pode-se utilizar a mesma fórmula do cálculo para a tarifa convencional, desde que seja considerado o consumo total (ponta e fora de ponta).

O período de tempo é definido em horas, sendo que para um mês é válido:

- Tarifa convencional - 730 horas
- THS fora de ponta - 664 horas
- THS ponta - 66 horas

Assim, conclui-se que, quanto maior for a concentração da demanda máxima em um curto período de tempo e maior for o valor da demanda máxima requerida neste mesmo período pelo consumidor, menor será o valor do fator de carga, evidenciando a má utilização da energia elétrica. Veja a figura 3.3.

FIGURA 3.3 - Curva de carga característica para um baixo fator de carga.

3.3.1 Consequências do baixo fator de carga

O baixo fator de carga gerado pela concentração de demanda em um curto período de tempo provoca o carregamento dos transformadores e cabos de alimentação, reduzindo assim a vida útil, o rendimento e a eficiência destes equipamentos. Mas além destas consequências apresentadas, o fator de carga também influencia no preço médio do kWh consumido, pois quanto menor o valor do fator de carga, maior é o preço médio cobrado. De uma forma geral, a variação do preço médio conforme o fator de carga pode ser descrito pela curva representada na figura 3.4.

FIGURA 3.4 - Influência do fator de carga sobre o preço médio do kWh consumido

Como será abordado mais à frente, o preço médio não é faturado na conta de energia elétrica cobrada pela concessionária. Por isto, deve-se tomar muito cuidado, pois existe uma grande diferença entre o conceito de preço médio e o de faturamento das contas de energia elétrica, realizado mensalmente pelas concessionárias, como será explicado mais a diante.

Convém lembrar que além da considerável variação no preço médio, o baixo fator de carga também piora a queda de tensão, prejudicando a alimentação para os demais equipamentos instalados no local.

3.3.1.1 Preço médio x Faturamento das contas de energia elétrica

A conta de energia elétrica paga pelos consumidores é calculada levando-se em consideração dois valores: o do consumo e o da demanda.

A tarifa de consumo é aplicada diretamente sobre a quantidade de energia elétrica ativa consumida, dada em kWh, durante um período médio de 30 dias, e a tarifa de demanda é aplicada levando-se em conta a potência colocada à disposição do consumidor, a potência realmente utilizada e as condições contratuais para o fornecimento de energia.

Os valores das tarifas cobradas de um consumidor para o outro podem ser diferentes dependendo em qual das estruturas tarifárias o consumidor se enquadra. São elas:

- tarifa convencional:

- demanda de potência [kW]

- a) um preço único

- consumo de energia [kWh]

- a) um preço único

- THS (tarifa azul):

- demanda de potência [kW]

- a) um preço para a ponta

- b) um preço para fora de ponta

- consumo de energia [kWh]

- a) um preço para ponta em período úmido

- b) um preço para fora de ponta em período úmido

- c) um preço para ponta em período seco

- d) um preço para fora de ponta em período seco

- THS (tarifa verde):

demanda de potência [kW]

a) um preço único

consumo de energia [kWh]

a) um preço para ponta em período úmido

b) um preço para fora de ponta em período úmido

c) um preço para ponta em período seco

d) um preço para fora de ponta em período seco

Segundo CODI (1988), tendo-se o conhecimento da estrutura tarifária, à qual o consumidor está submetido, pode-se calcular o valor a ser pago pelo fornecimento de energia elétrica, da seguinte maneira:

- tarifa convencional:

faturamento da demanda

$$FD_{em} = D_{fat} \cdot TD \quad (3.14)$$

faturamento do consumo

$$FC_{ons} = C \cdot TC \quad (3.15)$$

- THS (tarifa azul):

faturamento da demanda

$$FD_{em} = D_{fat_p} \cdot TD_p + D_{fat_{fp}} \cdot TD_{fp} \quad (3.16)$$

Caso a demanda contratada seja ultrapassada,

$$FD_{em} = F_{d_p} + F_{d_{fp}} \quad (3.17)$$

onde:

$$F_{d_p} = DC_p \cdot TD_p + (DM_p - DC_p) \cdot TU_p \quad (3.18)$$

$$F_{d_{fp}} = DC_{fp} \cdot TD_{fp} + (DM_{fp} - DC_{fp}) \cdot TU_{fp} \quad (3.19)$$

faturamento do consumo

$$FC_{ons} = C_p \cdot TC_p + C_{fp} \cdot TC_{fp} \quad (3.20)$$

- THS (tarifa verde):

faturamento da demanda

$$FD_{em} = D_{fat} \cdot TD \quad (3.21)$$

Caso a demanda contratada seja ultrapassada,

$$FD_{em} = DC \cdot TD + (DM - DC) \cdot TU \quad (3.22)$$

faturamento do consumo

$$FC_{ons} = C_p \cdot TC_p + C_{fp} \cdot TC_{fp} \quad (3.23)$$

Terminados os cálculos apresentados, conforme a tarifação sobre a qual o consumidor está sujeito, pode-se calcular o valor do faturamento normal a ser pago pelo fornecimento de energia elétrica:

$$I = FD_{em} + FC_{nos} \quad (3.24)$$

Contudo, quando o consumo de reativo exceder às quantidades permitidas pelo limite do fator de potência, ainda é necessário calcular o valor a ser pago pelo fornecimento de energia reativa excedente, para que se possa finalizar o faturamento da conta de energia elétrica.

Conforme (CODI), a demanda de potência e o consumo de energia reativa excedentes, calculados através do fator de potência horário, serão faturados pelas expressões:

$$FER_{(p)} = \left[\sum_{t=1}^n \left[CA_t \cdot \left(\frac{0.92}{f_t} - 1 \right) \right] \right] \cdot TCA_{(p)} \quad (3.25)$$

$$FDR_{(p)} = \left[\max_{t=1}^n \left(DA_t \cdot \frac{0.92}{f_t} \right) - DF_{(p)} \right] \cdot TDA_{(p)} \quad (3.26)$$

Portanto, realizados os cálculos acima, pode-se determinar o ajuste de fator de potência a ser cobrado adicionalmente ao faturamento normal:

$$Aj = FER_{(p)} + FDR_{(p)} \quad (3.27)$$

Então o faturamento total da conta de energia será:

$$F = I + Aj \quad (3.28)$$

Como percebe-se, o cálculo do faturamento é soma dos custos relativos ao consumo e à demanda medidos tanto no horário de ponta como fora de ponta, dependendo da tarifação aplicada, e do ajuste do fator de potência, quando necessário. O que não acontece no cálculo do preço médio do kWh consumido, que representa o custo da energia elétrica sem tributos, pago pelo consumidor. Este cálculo torna-se mais fácil quando é conhecida a estreita relação entre o fator de carga e o preço médio da energia.

Segundo COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO (CESP), o valor do preço médio pode ser determinado da seguinte maneira:

- tarifa convencional:

$$P_{méd} = \frac{TD}{FC \cdot 730} + TC \quad (3.29)$$

- THS (tarifa azul):

$$P_{méd} = \frac{C_p}{C} \cdot \left(\frac{TD_p}{FC_p \cdot 66} + TC_p \right) + \left(\frac{TD_{fp}}{FC_{fp} \cdot 664} + TC_{fp} \right) \cdot \left(1 - \frac{C_p}{C} \right) \quad (3.30)$$

- THS (tarifa verde): não existindo segmentação horária para a demanda de potência nesta modalidade tarifária, é impossível a adoção da fórmula citada acima. Então:

$$P_{méd} = \left(\frac{TD}{FC \cdot 730} \right) + \frac{C_p}{C} \cdot (TC_p - TC_{fp}) + TC_{fp} \quad (3.31)$$

$$\text{Quando } \frac{C_p}{C} = 0$$

$$\text{Substituir na eq. (3.31) } \frac{TD}{FC \cdot 730} \text{ por } \frac{TD}{FC \cdot 664}$$

Em vista do exposto, pode-se entender porque confunde-se o conceito de preço médio com o de faturamento, pois ambos expressam custos energéticos. Portanto, deve-se atentar que o preço médio pode ser tratado somente como um apontamento econômico do custo médio da energia elétrica, não podendo ser utilizado como base para o cálculo do valor da conta de energia elétrica.

3.3.2 Como melhorar o fator de carga e seus benefícios

Para melhorar o fator de carga, pode-se atuar de duas formas diferentes:

- conservando-se o atual consumo de energia elétrica e reduzindo-se a parcela correspondente à demanda;
- conservando-se a atual demanda e aumentando-se o consumo de energia elétrica.

Adotando-se como solução a redução da demanda máxima, pois esta opção é a que melhor se enquadraria à situação atual em que se encontra o campus, o estudo para realocação das cargas existentes seria a melhor saída para se reduzir a $D_{Máx}$. Considere a curva de carga abaixo para maiores explicações.

FIGURA 3.5 - Curva de carga antes da reprogramação

Para que seja possível um aumento do fator de carga nesta instalação será necessário fazer uma realocação das cargas existentes, deslocando assim o funcionamento de certos equipamentos que funcionam durante o período de demanda alta, para horários em que a demanda requisitada é menor, como mostrado na fig. 3.6.

FIGURA 3.6 - Curva de carga após a reprogramação

A realocação das cargas para os horários de menor demanda possibilitou a redução da demanda máxima, sendo que esta redução deve ser realizada sem afetar o resultado final de um processo ou a realização das tarefas diárias do consumidor. Esta medida, além de trazer os benefícios do descarregamento de potência nos equipamentos, também poderá proporcionar a

negociação com a concessionária para redução da demanda contratada, pois agora sua demanda máxima é menor, podendo-se assim diminuir seus encargos com a energia elétrica.

Contudo, segundo COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO (CESP) & COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ (CPFL), em 1979, para que seja possível realizar o aumento do fator de carga em qualquer tipo de instalação, deve-se proceder da seguinte maneira:

- relacionar toda a carga instalada existente e anotar os respectivos horários de funcionamento;
- selecionar as cargas que podem ser operadas fora do período de demanda máxima;
- reprogramar o período de funcionamento das cargas passíveis de deslocamento;
- evitar partidas simultâneas de motores que iniciam operação com carga;
- evitar a ocorrência de curtos-circuitos e fugas de corrente;
- dar proteção adequada aos equipamentos e instalações elétricas, bem como manutenção periódica.

A realização do procedimento descrito acima, ou parte dele, em qualquer estabelecimento consumidor, proporcionará um aumento do fator de carga, trazendo benefícios para a instalação, os quais podem ser:

- otimização dos investimentos na instalação elétrica;
- aproveitamento racional e aumento da vida útil da instalação elétrica, incluídos os motores e equipamentos;
- atendimento a um dos requisitos básicos para solicitar junto aos órgãos federais a redução do empréstimo compulsório;
- redução do valor de demanda de pico.

3.3.3 Quadro atual em que se encontra o fator de carga dentro do campus

Como foi visto, o baixo fator de carga deve-se à falta de programação de funcionamento dos equipamentos elétricos de um consumidor. No caso do campus foi feita uma relação do fator de carga para cada transformador, determinando deste modo em quais pontos do campus, ou melhor, em quais transformadores a energia é utilizada de forma racional. Os resultados obtidos na análise do fator de carga dentro da universidade para o período de medição do RE1000/PT, estão relacionados na tab. 3.2. É necessário comentar que

não foram considerados os horários de ponta ou fora de ponta, para o cálculo do fator de carga na tab. 3.2, pois a princípio o período de dois dias para a aquisição dos dados pode ser considerado razoavelmente curto para que se possa fazer uma avaliação detalhada do fator de carga de modo definitivo, devido à autonomia de operação das cargas, pois o local em análise não se trata de uma indústria com uma linha de produção e procedimentos bem definidos e sim de um estabelecimento de ensino superior.

De posse dos dados coletados percebe-se que de uma forma geral o fator de carga encontra-se muito baixo por todo o campus, a não ser no transformador TR - 33 do IFSC, onde a principal carga instalada é a rede de computadores do departamento, possuindo assim um consumo de energia praticamente uniforme durante o dia e a noite.

Agora, analisando-se o problema de uma outra forma, pode-se chegar à conclusão que o fator de carga medido no campus encontra-se na maioria dos casos dentro do fator de carga típico para estabelecimentos de ensino superior que é de 0,33, segundo CPFL (1989). Portanto os transformadores que não se encaixam neste perfil são: TR - 12, TR - 17, TR - 18, TR - 19, TR - 31, TR - 37, TR - 38.

O conceito de fator de carga típico para uma instalação pode ser introduzido de forma a caracterizar um tipo de instalação, sendo seu valor estabelecido em função do quadro em que se encontra o funcionamento das cargas, não se levando em conta: a potência consumida, o horário de funcionamento e até mesmo a necessidade destas cargas.

Cabe atentar que o valor do fator de carga típico para os diversos tipos de consumidores não deve ser mantido ou tornar-se um objetivo a ser alcançado. A meta a ser perseguida é de que o valor do fator de carga encontrado dentro de uma instalação seja no mínimo igual ao fator de carga típico.

Apesar da maioria dos transformadores estarem dentro da especificação característica determinada pela CPFL (1989), pode-se afirmar que o fator de carga encontrado é muito baixo. Seria interessante que o fator de carga fosse aproximadamente de 0,80, permitindo o dimensionamento de transformadores e cabos pela demanda média, como foi visto no item 3.1.1, evitando-se deste modo a operação destes em condições de superdimensionamento durante parte do dia

Todavia, isto é praticamente impossível, pois não existe controle sobre a entrada e saída de operação das cargas instaladas no campus. Tal autonomia de operação deve-se ao fato de existirem diversos prédios, laboratórios dentro da universidade, os quais possuem de certa forma cargas de características específicas da área e executam na maioria das vezes atividades totalmente diferentes. Portanto, conclui-se que o controle e supervisão das cargas

dentro do campus diante da grande extensão das instalações elétricas e a diversidade de atividades é uma tarefa um tanto audaciosa.

Uma tentativa para melhorar o fator de carga deve ser analisada cuidadosamente, pois o introdução de controladores de demanda dentro dos departamentos pode acabar trazendo grandes empecilhos para a realização de experimentos, ou mesmo para a própria manutenção do prédio, como no caso do desligamento de equipamentos essenciais para o seu funcionamento.

Uma solução que poderia gerar resultados positivos seria o levantamento das cargas instaladas e o seu período de funcionamento para cada transformador e, através da análise das curvas de carga levantadas em cada um deles, realizar o remanejamento do horário de funcionamento dos equipamentos, os quais não são essenciais ao funcionamento do estabelecimento para horários de menor demanda. Atualmente a curva de carga levantada para um transformador do campus é caracterizada pela figura abaixo.

FIGURA 3.7 - Curva de carga característica do campus

Apesar desta curva exemplificar o comportamento das cargas dentro do campus, ela não pode ser adotada para toda a sua extensão, pois como já foi dito, existe uma diversidade de atividades desenvolvidas, mas a existência de dois picos de demanda é característico em praticamente todas as curvas de cargas levantadas dentro do campus, os quais ocorrem aproximadamente nos intervalos das 10:00 h às 12:00 h e das 15:00 h às 17:00 h. Assim, poder-se-ia tentar realizar algumas das tarefas passíveis de realocação nos curtos períodos das 07:00 h às 10:00 h e das 14:00 h às 15:00 h, buscando diminuir os picos de demanda máxima. Normalmente o pico de demanda no período da tarde é maior que no da manhã.

Em alguns transformadores existe um outro pequeno pico de demanda aproximadamente ao entardecer, horário em que a iluminação pública e a iluminação de

algumas salas de aulas estão sendo ligadas. Para estes transformadores, poder-se-ia aliviar este pequeno pico de demanda setorizando-se a ligação da iluminação pública aos poucos, a fim de se obter uma redução da demanda neste período que se dá justamente no horário de ponta, quando o preço da tarifa cobrada pelo consumo de energia é muito maior que no horário fora de ponta.

A fim de esclarecer, do ponto de vista financeiro, as vantagens da melhora do fator de carga dentro de um estabelecimento consumidor, pode-se fazer uma análise do preço médio do kWh consumido no campus atualmente, através da conta de energia elétrica de março/1997, por tratar-se de um período consideravelmente longo, de aproximadamente 30 dias. O alimentador 4 foi o escolhido por ser, no campus, o maior ponto consumidor medido pela concessionária, onde a tarifa vigente é a THS (azul).

O fator de carga para os horários de ponta e fora de ponta são:

$$FC_p = \frac{\text{consumo mensal na ponta [kWh]}}{66 \cdot \text{demanda máxima na ponta [kW]}} = \frac{20327}{66 \cdot 453} = 0,68$$

$$FC_{fp} = \frac{\text{consumo mensal fora da ponta [kWh]}}{664 \cdot \text{demanda máxima fora da ponta [kW]}} = \frac{195380}{664 \cdot 716} = 0,41$$

Portanto, para $FC_p = 0,68$ e $FC_{fp} = 0,41$, o preço médio do kWh consumido será:

$$P_{méd} = \frac{20327}{215707} \cdot \left(\frac{11,05}{0,68 \cdot 66} + 0,06713 \right) + \left(\frac{3,69}{0,41 \cdot 664} + 0,03048 \right) \cdot \left(1 - \frac{20327}{215707} \right)$$

$$P_{méd} = 0,06941 \text{ R\$/kWh}$$

Considerando-se, hipoteticamente, que o fator de carga atual poderia ser modificado para $FC = 0,80$, tanto na ponta quanto fora de ponta, o novo preço médio do kWh consumido seria de:

$$P_{méd} = \frac{20327}{215707} \cdot \left(\frac{11,05}{0,80 \cdot 66} + 0,06713 \right) + \left(\frac{3,69}{0,80 \cdot 664} + 0,03048 \right) \cdot \left(1 - \frac{20327}{215707} \right)$$

$$P_{méd} = 0,05995 \text{ R\$/kWh}$$

Como se pode perceber a redução no preço médio seria de:

$$\text{redução} = \frac{(0,06941 - 0,05995)}{0,06941} \cdot 100 \approx 13,63\%$$

Portanto, em vista do resultado obtido de 13,63% de redução no preço médio do kWh consumido no alimentador 4, pode-se comprovar a viabilidade do consumidor possuir um alto fator de carga. Contudo, isto não é possível dentro do campus, pois o consumo deveria ser mantido e a $D_{Máx}$ teria que ser reduzida, a fim de se obter $FC = 0,80$, o que dificilmente poderá ser alcançado. Caso fosse uma indústria, esta meta poderia ser alcançada mais

facilmente, pois estes consumidores na maioria das vezes possuem uma curva de carga bem definida no decorrer do dia a dia, possibilitando uma programação adequada de operação das cargas e conseqüente aumento do fator de carga.

Portanto, diante do quadro apresentado, com curtos períodos de tempo disponíveis para realocação das cargas e principalmente a diversidade e autonomia com que estas operam dentro dos prédios, é praticamente impossível realizar uma programação sistemática de operação das cargas dentro do campus, restando somente como última alternativa, que cada departamento se auto-gerencie, distribuindo de forma adequada a utilização de seus equipamentos durante o dia.

Também seria de grande valia reduzir as perdas do sistema elétrico do ponto de vista global, pois elas estão inclusas na fatura. Convém lembrar novamente que o fator de carga não é faturado nas contas de energia, servindo somente como um índice, o qual aponta a forma de como a energia elétrica vem sendo utilizada.

3.4 Conclusão

Sem dúvida a realocação dos transformadores para adequar a demanda em relação a sua potência nominal e a instalação de capacitores, quando o aumento de fator de potência pelo redimensionamento da demanda instalada não for suficiente ou possível, é uma prática inteligente, pois o retorno devido à correção do fator de potência geralmente se dá em curto espaço de tempo, propiciando economia e aumentando a vida útil dos equipamentos envolvidos.

Uma vez realizadas as mudanças propostas pelas realocações e trocas dos transformadores instalados atualmente no campus, os benefícios realmente gerados somente poderão ser avaliados mais detalhadamente, através de uma nova medição do RE1000/PT, para o levantamento curva de carga da realocação. A princípio, pode-se dizer que será proporcionado o aumento do fator de potência em cada transformador e o fim da utilização da energia elétrica para a manutenção das perdas dos transformadores superdimensionados e a vazio.

No entanto, deve-se também atentar para o fator de carga, pois mesmo sendo difícil a reprogramação de entrada e saída das cargas elétricas no sistema do campus, deve-se sempre procurar melhorá-lo, no intuito de usar racionalmente a energia elétrica, uma vez que não é possível dimensionar os equipamentos de distribuição de energia elétrica pela demanda média, frente à grande diferença existente para a demanda máxima necessária nos horários de pico de consumo.

Capítulo 4

4 ILUMINAÇÃO

Segundo LEONELLI; ARAÚJO; SILVA (1995), a iluminação representa cerca de 17% do consumo de energia elétrica no Brasil. É responsável por 25% da energia consumida no setor residencial e 44% no setor de serviços, apresentando significativas possibilidades de atuação para o PROCEL. Apesar do grande potencial de conservação de energia, o setor de iluminação ainda enfrenta obstáculos para uma maior utilização de produtos eficientes no mercado brasileiro, bem como a falta de conhecimento, aliada aos altos custos envolvidos.

A condução de políticas de conservação de energia deve contemplar ou se fundamentar em procedimentos técnicos. A diminuição da quantidade de lâmpadas e seus respectivos acessórios (reatores, ignitores, etc.) parece ser um caminho natural. Entretanto, tecnicamente, existe também o compromisso de se garantir a qualidade de iluminação, isto é, não comprometer o conforto visual, mantendo o baixo ofuscamento, a maior uniformidade possível e o melhor índice de reprodução de cores.

Atualmente os sistemas de iluminação apresentam significativas possibilidades de economia, que podem ser feitas a curto prazo, através da utilização da iluminação apenas nos horários e nas quantidades efetivamente necessárias; e da utilização de sistemas mais eficientes. Além disso, através de uma série de combinações entre lâmpadas, luminárias, reatores, etc., é possível obter resultados vantajosos.

4.1 Iluminação interna

Para que seja possível um melhor aproveitamento da energia elétrica em relação à iluminação interna do campus, serão citados alguns pontos do estado atual da iluminação interna, pois atualmente há uma maior preocupação com os projetos de iluminação das novas construções, instalando-se sistemas de maior eficiência, mas esquecendo-se das instalações mais antigas que são inadequadas, devido ao baixo fator de potência e à eficiência luminosa duvidosa.

A utilização de uma iluminação interna mais eficiente nas reformas dos departamentos mais antigos, tornou praticamente impossível um levantamento detalhado da carga instalada referente à iluminação, pois não existem projetos elétricos da iluminação antiga, só havendo os da instalação reformada, isto quando a reforma não é de caráter “particular”, ou seja, de pequenas proporções, de modo a satisfazer a necessidade de alguns usuários, o que acarreta em mudança de projeto não registrada. Deste modo o levantamento das características dos reatores e das lâmpadas utilizadas para conhecimento exato da carga instalada nos trechos modificados nos departamentos fica muito difícil, pois o campus encontra-se em constantes ampliações e reformas.

A mistura de equipamentos antigos e ultrapassados com equipamentos novos e modernos tem comprometido a eficiência e principalmente a economia de energia que poderia ser proporcionada pela iluminação. Outro ponto que também contribui para o desperdício de energia elétrica é a desinformação e a falta de conscientização do usuário quanto à conservação de energia. Assim, aliando-se a conscientização do consumidor com sistemas integrados e equipamentos eficientes como: luminárias, lâmpadas, reatores e controles eletrônicos, seria possível atingir uma economia expressiva, justificando o investimento inicial necessário.

4.1.1 Equipamentos gerais utilizados na iluminação interna

Com a finalidade de esclarecer eventuais dúvidas sobre alguns equipamentos existentes atualmente no mercado, serão comentadas rapidamente neste item suas características de funcionamento, para promover a economia de energia elétrica dentro dos estabelecimentos do campus em geral, sem comprometer o conforto já oferecido aos seus usuários e apenas com o intuito de melhorá-lo cada vez mais.

4.1.1.1 Lâmpadas

Tendo em vista a infinidade de lâmpadas hoje existentes no mercado, aqui somente serão citados os tipos que mais se encontram na iluminação interna do campus universitário e também que poderiam substituir as já existentes, graças à maior eficiência luminosa.

Lâmpada incandescente: são as fontes de luz menos eficientes produzidas atualmente, apesar dos esforços das indústrias na sua melhoria, onde em uma simples troca de lâmpada o usuário pode economizar até 10% de energia, sem prejuízo de vida ou redução sensível do nível de iluminamento.

Aconselha-se, no entanto, a substituição das lâmpadas incandescentes pelas lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) que além de se adaptarem diretamente à mesma base que é o próprio reator, chegam a ser 80% mais econômicas que as incandescentes. Segundo PHILIPS, as LFC fornecem o mesmo fluxo luminoso, uma boa reprodução de cores e tem uma vida útil de 10000 horas, podendo ser utilizadas em um grande número de aplicações. Geralmente o investimento inicial das LFC é mais alto, sendo justificável após uma análise detalhada dos custos operacionais das instalações e do tempo de retorno do investimento. A seguir tem-se uma tabela de equivalência entre as lâmpadas incandescentes e as LFC.

TABELA 4.1 - Equivalência entre lâmpadas incandescentes e LFC

LFC	incandescente 127 V	incandescente 220 V
9 W	25 W	40 W
11 W	40 W	60 W
15 W	60 W	75 W
20 W	75 W	100 W
23 W	100 W	100 W + 25%

nota: Valores extraídos de PHILIPS.

Lâmpadas fluorescentes: comparadas às lâmpadas incandescentes possuem uma vida média mais longa. Pode-se também substituir as lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes comuns, onde o escolha do tipo de lâmpada fica a critério das exigências requeridas pelo local a ser iluminado e do projetista.

No que se refere às fluorescentes convencionais 20/40 W, as fluorescentes de última geração 16/32 W, são as mais viáveis, pois conforme ROCHA (1991):

- o bulbo de 28 mm para 16/32 W apresenta um ganho de fluxo luminoso em relação a luminária da ordem de 25,5%, o que se traduz em menor número de luminárias em relação à 20/40 W para a mesma área;
- o revestimento trifósforo para 16/32 W possibilita um aumento do fluxo luminoso da ordem de 6,5%, bem como excelente reprodução cromática em relação às fluorescentes de 20/40 W.

Para novas instalações recomenda-se a utilização de luminárias de alumínio anodizado ou revestidas com filme de alta refletância, para o aproveitamento de todas as características que as lâmpadas de última geração podem oferecer.

4.1.1.2 Reatores

Os reatores são dispositivos utilizados para a operação adequada das lâmpadas de descarga, atuando de forma a limitar a corrente da lâmpada. Do ponto de vista de conservação de energia a escolha do conjunto reator + lâmpada de custo inicial mais baixo nem sempre é a solução mais econômica levando-se em consideração o custo de operação (custo de energia) durante a vida útil do equipamento. Normalmente a solução mais razoável é a escolha da lâmpada ou do conjunto reator + lâmpada que apresente o menor consumo possível de energia.

Hoje o mercado dispõe de alguns tipos de reatores que operam diferenciadamente apesar de realizarem a mesmas funções, mas o enfoque principal deste item é o reator eletrônico que vem revolucionando o mercado de iluminação.

Reator eletrônico: é projetado para operar as lâmpadas fluorescentes em alta frequência, pois sabe-se que o rendimento do conjunto lâmpada fluorescente + reator eletrônico apresenta um valor máximo ao operar em frequências próximas a 30 kHz. O princípio básico de funcionamento deste reator é o de converter a frequência da rede 60 Hz, (usada nos reatores eletromagnéticos) em alta frequência.

FIGURA 4.1 - Esquema de um reator eletrônico

Segundo MENDES (1996), os reatores eletrônicos apresentam uma série de benefícios e características que os tornam altamente viáveis.

Benefícios do reator eletrônico comparado aos reatores convencionais:

- redução da dissipação de energia no reator em até 70%, devido a menores perdas, o que resulta em conservação de energia e redução da carga térmica do ambiente;
- funcionamento a temperaturas mais baixas, oferecendo menor risco às instalações;
- operando em alta frequência, as lâmpadas fluorescentes apresentam um aumento de até 10% em seu fluxo luminoso, sem acréscimo no consumo de energia.
- com maior eficiência do sistema de iluminação, torna-se possível reduzir o número de luminárias em novas instalações e, conseqüentemente, o investimento inicial;
- menor depreciação do fluxo luminoso no decorrer da vida útil da lâmpada, quando utilizadas as lâmpadas fluorescentes do tipo trifósforo;

A operação com reatores eletrônicos pode prolongar a vida das lâmpadas em até 50%, em função do processo de ignição controlado eletronicamente, dependendo da quantidade de ciclos de operação liga/desliga por dia, tensão da rede e temperatura de operação.

Características específicas dos reatores eletrônicos:

- os reatores que atendem às especificações das normas apresentam vida média em torno de 50.000 horas à temperatura de 65°C na carcaça do reator. À temperatura de 55°C, pode-se chegar a valores de 100.000 horas de vida média;
- não apresentam efeito estroboscópico, e nem ruído audível;
- eliminam a cintilação durante a partida das lâmpadas e ao final da sua vida útil. Os reatores eletrônicos possibilitam partida imediata e suave das lâmpadas. Nos modelos mais sofisticados faz-se o desligamento automático das lâmpadas ao final da vida útil;
- não utilizam equipamentos auxiliares, como ignitores, startes ou capacitores, o que facilita sua instalação;
- determinados tipos de reatores eletrônicos podem operar tanto com tensão alternada (da rede de alimentação), quanto com tensão contínua (fornecidas por baterias, por exemplo em situações de emergência);
- possibilidade de dimerização (regulação do fluxo luminoso das lâmpadas, geralmente de 10% a 100% do valor máximo) com os reatores eletrônicos de alta frequência dimerizáveis, obtida através da variação da frequência de operação.

Com o surgimento dos reatores eletrônicos também apareceu um novo conceito chamado de fator do reator ou de fator de fluxo luminoso. Este conceito vem provocando dúvidas sobre a utilização dos reatores eletrônicos nos projetos de iluminação, já que poucos profissionais do ramo sabem seu significado. A seguir o fator de fluxo luminoso será explicado detalhadamente para sanar qualquer dúvida que ainda exista.

Definido na IEC 929 como *lumen ballast factor* e na ANSI C.82 como *ballast factor*. O fator de fluxo luminoso, conforme MACEDO JÚNIOR (1995) é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada de referência quando alimentada pelo reator sob teste, em condições nominais de tensão e frequência, pelo fluxo luminoso desta mesma lâmpada quando alimentada por um reator de referência também em condições nominais de tensão e frequência. O fator de fluxo luminoso pode ser representado da seguinte maneira:

FIGURA 4.2 - Representação do fator de fluxo luminoso

Este fator é uma variável diretamente proporcional ao consumo de energia do conjunto reator + lâmpadas, ou seja, quanto maior o fator de fluxo luminoso, maior será o consumo de energia do sistema. Veja:

- reatores eletrônicos com fator de fluxo luminoso em torno 1,10 entregam a potência nominal à lâmpada e, pelo fato de operarem em alta frequência, aumentam sua eficiência e proporcionam uma sobre vida, portanto apresentam ganho de consumo de energia apenas devido à redução nas perdas;
- reatores eletrônicos com fator de fluxo luminoso de 1,00 entregam à lâmpada uma potência em torno de 90% da nominal, porém suficiente para que ela emita o fluxo nominal de catálogo, portanto apresentam ganho de consumo de energia por operar a lâmpada com potência abaixo da nominal e por redução das perdas.
- reatores eletrônicos com fator de fluxo luminoso em torno 0,88 entregam à lâmpada uma potência em torno de 82% da nominal, de forma que o fluxo luminoso esteja em torno de 12% abaixo do nominal, portanto apresentam um forte ganho de consumo de energia por operar a lâmpada com potência abaixo da nominal e por redução das perdas.

Quanto ao fator de potência para os reatores, independentemente do tipo de reator, pode-se dizer que quanto maior for o seu fator de potência, menor será o valor da corrente, permitindo uma redução da carga no circuito elétrico. Reatores com baixo fator de potência requerem aproximadamente o dobro de corrente comparados aos reatores de alto fator de potência.

4.1.1.3 Luminárias

Por definição, luminária é todo aparelho capaz de distribuir, filtrar e controlar a luz gerada por uma ou mais lâmpadas, além de conter todos os equipamentos e acessórios necessários para fixar, proteger e alimentar estas.

O rendimento de uma luminária é definido como a razão entre o fluxo luminoso fornecido pela luminária (direto e indireto) e o fluxo luminoso total emitido pelas lâmpadas contidas na mesma. Na tab. 4.2 é dado o rendimento de algumas luminárias.

TABELA 4.2 - Rendimento de uma luminária para duas lâmpadas fluorescentes tubulares

Lâmpadas	Refletor	Rendimento [%]	Eficiência [lm/W]	Redução do consumo de energia [%]
2 x 40 W	Aço pintado com tinta branca	58,0	42,0	0,0
2 x 32 W	Aço pintado com tinta branca	60,0	51,6	20,0
2 x 40 W	Alumínio polido e anodizado	75,0	55,4	23,0
2 x 32 W	Alumínio polido e anodizado	76,4	64,5	38,0
2 x 40 W	Filme reflexivo	86,0	63,0	33,0
2 x 32 W	Filme reflexivo	87,0	77,0	50,0

nota: Valores extraídos de MOGAMI (1994).

Como pode-se concluir, além do maior rendimento, a luminária reflexiva permite também um grande avanço no que se refere à qualidade de iluminação, pois permite modelar as direções para onde se deseja obter a maior intensidade de luz.

Considerando que as luminárias convencionais custam entre 30% e 60% a menos que as reflexivas de alumínio, o investimento inicial, ao se optar por este tipo de solução, é menor. O retorno do investimento em luminárias de alto rendimento, apesar de serem mais caras que

as tradicionais, se dá em menos de um ano. Segundo MOGAMI (1994), a simples substituição de luminárias convencionais por luminárias de alto rendimento permite remover a metade das lâmpadas fluorescentes e reatores sem prejudicar os níveis de iluminação.

As luminárias reflexivas possuem uma vida útil de até 20 anos, oferecem uma qualidade de iluminação constante, com baixa depreciação ao longo do tempo. Basta uma limpeza periódica. Já, ao contrário, a luminária branca pode apresentar uma depreciação acumulada dos equipamentos e refletor de até 30% logo no primeiro ano de uso, conforme as condições de utilização. Com a limpeza do refletor e das lâmpadas, há uma melhora sensível, embora não se possa retornar à condição inicial.

Além do alumínio anodizado pode-se também aplicar filmes plásticos com deposição de prata, para que se possa obter uma superfície refletora. Estes filmes possuem um alto índice de reflexão e durabilidade, mas seu uso esbarra no alto custo.

Portanto, para se determinar o melhor tipo de luminária a ser utilizada em um projeto é necessário conhecer o ambiente, o tipo de lâmpada e o tipo de trabalho realizado no local, devido à grande diversidade de luminárias existentes no mercado e às variadas formas de que estas podem ser utilizadas.

4.1.1.4 Controles eletrônicos

Uma das conseqüências do avanço da eletrônica na iluminação foi o surgimento dos sistemas ou controles eletrônicos, os quais tem como objetivo: otimizar o consumo de energia da instalação, aumentar o conforto visual dos usuários e conseqüentemente a sua produtividade.

Existem hoje no mercado diversos equipamentos que em ação conjunta ou até mesmo única podem garantir os objetivos mencionados há pouco:

Sensor de presença: é geralmente um sensor de infravermelho que detecta o movimento de pessoas dentro de uma determinada área de atuação e, ao informar à unidade de controle, ativa o sistema de iluminação automaticamente. Quando o ambiente for desocupado, a iluminação será automaticamente desligada depois de um intervalo de tempo ajustado em um temporizador no próprio sensor, evitando gastos desnecessários. O uso de sensores de presença pode gerar economia de até 50% de energia, dependendo do nível de utilização do ambiente.

Sensor de luz: utiliza uma fotocélula próxima a janelas que mede continuamente o nível de iluminação externa. Com a variação do nível de iluminação natural, o sensor de luz capta esta informação, transmite a uma unidade de controle e esta comanda reatores eletrônicos dimerizáveis, de modo a manter um nível de iluminamento constante dentro do recinto. Em períodos em que a contribuição da luz solar é intensa, estes sistemas eletrônicos reduzem automaticamente a intensidade da luz, evitando uma super-iluminação no ambiente e gerando economia de energia. Além do aspecto de conforto visual, os sensores de luz podem alcançar níveis de economia de energia de até 60%.

Potenciômetro eletrônico: estes possibilitam a ação manual no controle do nível de iluminação, atuando nos reatores eletrônicos dimerizáveis, os quais permitem adequar o nível de iluminação às necessidades do momento, resultando em conforto visual e também economia de energia.

Minuterias: promovem o desligamento de uma carga baseado na temporização ajustada, ou seja, o desligamento se dá ao cabo de um período de tempo ajustado. Este dispositivo de controle não deve ser utilizado em instalações compostas de lâmpadas fluorescentes, pois as periódicas manobras de liga/desliga impostas pelo dispositivo acabam por danificar e comprometer a vida média deste tipo de lâmpada.

Apesar das variadas opções de controles eletrônicos da iluminação para que se tenha o maior aproveitamento da luz natural, o uso de um único sistema de controle para diversos ambientes pode ser problemático, principalmente quando estes ambientes recebem intensidades luminosas distintas de luz, por exemplo sombras de outras edificações, ou quanto às preferências dos ocupantes quanto à quantidade de luz. Como no caso de várias salas ou escritórios individuais que recebem níveis diferentes de luz natural, e são controladas por um único sensor de luz provocando problemas ao conforto visual dos usuários afetados pela menor incidência de luz natural. Por isto a utilização dos sensores de luz é recomendada para ambientes de grande extensão, onde pode-se controlar conjuntos de luminárias, geralmente situadas próximas as fontes de luz natural, ao mesmo tempo.

Além da economia relativa ao consumo de energia elétrica, os sistemas automáticos de redução também podem proporcionar uma considerável economia incidental, por meio da redução de tensão nos reatores que acabam por aumentar a vida útil das lâmpadas, podendo assim justificar o alto custo inicial de tais sistemas.

4.1.2 Dimensionamento da iluminação interna

Os tipos de iluminação interna mais comuns são a iluminação geral, a localizada ou a combinação das duas. A iluminação geral proporciona a iluminância sobre uma área total com um certo grau de uniformidade, tornando este sistema de alto consumo de energia quando a tarefa requer iluminância alta. Neste caso pode ser vantajoso concentrar luminárias na área onde se realiza a tarefa visual de maior exigência para produzir um iluminamento suficientemente elevado. Tem-se então a iluminação localizada, de menor consumo energético que a geral.

A iluminação localizada é produzida colocando-se as luminárias próximas da tarefa visual, de maneira a iluminar somente uma pequena área. Esta iluminação é completada por um sistema de iluminação geral, proporcionando menor consumo de energia e maior eficiência.

A iluminação geral é a mais encontrada dentro do campus universitário, pois o nível de iluminância requerido é praticamente constante na maioria das tarefas visuais realizadas no dia a dia da universidade, como em salas de aulas e escritórios. Portanto, esta será o principal enfoque, pois constitui a maior parte da iluminação encontrada dentro do campus universitário. A iluminação localizada aparece somente em locais de tarefas visuais mais delicadas.

4.1.2.1 Procedimento para avaliação de uma iluminação geral

Conforme AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA (1989), para se avaliar um sistema de iluminação geral existente em um determinado local, de modo a analisar a sua eficiência, deve-se primeiramente obter a relação entre a potência instalada e a área em questão:

$$R_a = \frac{P_i}{S} \quad (4.1)$$

No intuito de melhorar o sistema de iluminação existente, calcula-se uma nova relação (R_e) para uma iluminação mais eficiente, onde é considerado o emprego de equipamentos de maior eficiência (luminárias, reatores, lâmpadas). Assim com o conhecimento destas duas relações, pode-se analisar a eficiência do sistema de iluminação em questão.

O cálculo de R_e é realizado juntamente com a elaboração do novo projeto. Segundo AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA (1989), a relação R_e pode ser calculada da seguinte maneira:

$$R_e = \frac{E}{u \cdot e \cdot d} \quad (4.2)$$

Todavia, este cálculo expressa somente a relação entre a potência consumida pelas lâmpadas e a área, sem a inclusão das perdas nos reatores, além de não considerar a eventual inclusão de uma ou mais luminárias no projeto final. Portanto para que se possa fazer o levantamento exato da relação R_e é necessário primeiramente concluir o projeto final de iluminação, levantando todas as características dos equipamentos utilizados.

Para que estes erros possam ser evitados, a melhor maneira para se calcular R_e , seria o cálculo do fluxo total luminoso (ϕ) necessário no local. Através deste fluxo total determinar o número de luminárias ou conjuntos necessários.

$$N^{\circ} \text{ de luminárias} = \frac{\phi}{\text{Fluxo fornecido por uma luminária}} \quad (4.3)$$

Obtido o n° de luminárias, basta levantar a potência consumida por um único conjunto lâmpada (s) + reator, calculando-se assim a relação R_e :

$$R_e = \frac{N^{\circ} \text{ de luminárias} \cdot \text{Consumo de um conjunto}}{S} \quad (4.4)$$

O cálculo do fluxo total, bem como o levantamento de suas variáveis é demonstrado a seguir.

Variáveis necessárias para o cálculo do fluxo total:

- **iluminância adequada:** expressa em lux. Sua determinação é feita conforme as exigências da tarefa visual e tipo de atividade a ser realizada no local. A escolha da iluminância adequada para cada local é recomendada pela norma NBR 5413 - Iluminância de interiores.
- **fator de utilização:** é a razão do fluxo útil para o fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas. Portanto para que se tenha um bom fator de utilização é importante a utilização de luminárias de boa eficiência, de modo a adequarem-se às lâmpadas e ao ambiente a ser iluminado. Cada tipo de luminária apresenta vários fatores de utilização que são apresentados normalmente sob a forma de tabelas. O valor adequado para o fator de utilização de cada luminária pode ser obtido relacionando-se o fator do local (K) e o fator de reflexão médio para o teto, paredes e piso.

Cálculo do fator do local:

$$K = \frac{c \cdot \ell}{(c + \ell) \cdot h} \quad (4.5)$$

O valor das reflexões médias do teto, paredes e piso, é dado conforme a característica do tipo e cor do material de acabamento de cada superfície de reflexão da luz.

TABELA 4.3 - Fatores de reflexão para diferentes superfícies

Superfície	Fator de reflexão [%]
escuras	10
médias	30
claras	50
brancas	70

nota: Valores extraídos de PHILIPS.

Uma indicação da importância do fator de reflexão do teto, paredes e piso de um local, conforme citado em ABILUX et al. (1992), pode ser exemplificado pelo aumento do valor de reflexão do teto, paredes e piso respectivamente de 50%, 30% e 20% para 80%, 60% e 40%, onde se obtém 15% de acréscimo na iluminância; e se o fator de reflexão é aumentado de 50%, 10% e 10% para 80%, 60% e 40%, a iluminância aumenta em cerca de 35%. Deste modo, é fundamental considerar as propriedades luminotécnicas de um dado material utilizado nas instalações do local analisado, pois um maior fator de reflexão corresponderá a um maior rendimento da iluminação e, em consequência, a um menor consumo de energia.

Calculado o valor de K e definidos os valores de reflexão médios, obtêm-se o valor do fator de utilização por meio dos catálogos de luminárias fornecidos pelos fabricantes.

- **fator de depreciação:** indica o efeito causado pela limpeza da atmosfera reinante do local de trabalho, pois com o tempo, paredes e teto ficarão sujos. Os equipamentos de iluminação acumularão poeira. Assim as lâmpadas fornecerão menor quantidade de luz. Alguns desses fatores poderão ser eliminados por meio de manutenção. Na prática, para amenizarmos os efeitos desses fatores, admitindo-

se uma boa manutenção periódica, podemos adotar os seguintes valores de fator de depreciação.

TABELA 4.4 - Fatores de depreciação

AMBIENTE	PERÍODO DE MANUTENÇÃO		
	2500 h	5000 h	7500 h
Limpo	0,95	0,91	0,88
Normal	0,91	0,85	0,80
Sujo	0,80	0,66	0,57

nota: Valores extraídos de PHILIPS.

Obtidas estas variáveis pode-se calcular o fluxo total para a iluminação do ambiente. Contudo o seu cálculo difere ao utilizarmos, na instalação, reatores eletrônicos, pois nestes ter-se-ia que aplicar o conceito do fator de fluxo luminoso, atualmente fornecido somente pelos reatores eletrônicos, como foi explicado no item 4.1.1.2.

- Cálculo do fluxo total quando utilizados reatores em geral:

$$\phi = \frac{S \cdot E}{u \cdot d} \quad (4.6)$$

- Cálculo do fluxo total quando utilizados reatores eletrônicos ou que possuam a característica do fator de fluxo luminoso:

Sabe-se que, para o reator eletrônico:

$$\text{Fator de fluxo luminoso} = \frac{\phi_1}{\phi_2} \quad (4.7)$$

Portanto, como deseja-se como resultado final o fluxo total nominal, faz-se o

fluxo $\phi_1 = \frac{S \cdot E}{u \cdot d}$ e fluxo $\phi_2 = \phi$, para que possa utilizar reatores eletrônicos.

Substituindo ϕ_1 e ϕ_2 , na eq. (4.7),

$$\phi_2 = \frac{\phi_1}{FR}$$

temos,

$$\phi = \frac{S \cdot E}{u \cdot d \cdot FR} \quad (4.8)$$

Como já visto anteriormente, para $FR = 1$, não teríamos problema algum com o fluxo total fornecido pelo conjunto lâmpada + reator eletrônico, onde o fluxo total entregue pelo

conjunto seria o nominal. Mas nem sempre o $FR = 1$, portanto nestes casos é necessário fazer a correção do fluxo total, pois o fluxo total resultante oferecido pelo conjunto não é o nominal e sim o determinado pelo fator de fluxo luminoso do reator. Ou seja, para se utilizarem os reatores eletrônicos tem-se que calcular o valor de ϕ_2 , para saber o nº de luminárias correto, pois sabe-se a soma dos fluxos entregues por cada conjunto lâmpada + reator eletrônico será igual a ϕ_1 . Note que quando $FR < 1$ o nº de luminárias será maior e quando $FR > 1$ o nº de luminárias será menor.

Calculado ϕ , pode-se calcular R_e , como explicado anteriormente.

Finalmente, realizados todos os cálculos preliminares para a obtenção da relação R_e , é possível avaliar a iluminação, comparando-se as relações de potência de iluminação por metro quadrado na situação atual (R_a) e no sistema mais eficiente (R_e). Caso R_e seja maior que R_a , isto pode significar que a iluminação existente para este local apresenta iluminância abaixo dos valores recomendados por norma ou então o sistema de iluminação em funcionamento é tão eficiente quanto o projetado para uma iluminação eficiente.

Pode-se determinar o potencial de economia de eletricidade neste ponto de consumo, através da expressão:

$$P_r = \frac{(R_a - R_e) \cdot S}{1000} \quad (4.9)$$

O potencial de economia de energia é obtido multiplicando-se P_r pelo número de horas de utilização da iluminação.

4.1.3 Avaliação da iluminação interna no Departamento de Engenharia Elétrica

Tendo em vista as dificuldades já mencionadas no levantamento do potencial de iluminação instalada no campus, aqui serão levantados problemas e possíveis melhorias somente para o Departamento de Engenharia Elétrica, a fim de demonstrar o potencial de economia que pode ser conseguido em um só departamento de todo o campus universitário. A escolha deste departamento justifica-se por sua instalação não ser tão recente, onde pode-se encontrar o uso de lâmpadas fluorescentes de 40 W, as quais são muito encontradas dentro de outros departamentos e pela existência dos projetos de iluminação.

4.1.3.1 Viabilidade de troca da iluminação existente num ambiente

Como alguns departamentos ou edifícios do campus já possuem uma iluminação mais eficiente, os cálculos a seguir servem como estimativa de quanto poder-se-ia economizar nos locais em que ainda persistem um sistema de iluminação ultrapassado ou deficitário.

Para efeito de estudo será verificado o sistema de iluminamento existente em uma das salas do Departamento de Engenharia Elétrica, sendo que existem outras oito salas iguais a esta. As dimensões da sala são: 7,10 x 5,25 m. A instalação atual de cada sala constitui-se de 8 luminárias com 2 lâmpadas de 40 W e reatores duplos, distribuídas uniformemente.

Como demonstrado anteriormente, primeiro será efetuado o cálculo da relação da potência instalada pela área da sala para a iluminação atual, veja:

$$S = 7,10 \cdot 5,25 = 37,275 \text{ m}^2$$

$$R_a = \frac{8 \cdot (2 \cdot 40 + 24)}{37,275} = \frac{832}{37,275} = 22,32 \text{ W/m}^2$$

Efetuando-se agora os cálculos para uma iluminação mais eficiente, tem-se:

Pela NBR 5413, o nível médio de iluminância em escolas, mais precisamente em salas de aula deve ser de 300 lux.

Considerando a altura da sala de 3,0 m e a altura do plano de trabalho de 0,80 m, calcula-se o fator do local:

$$K = \frac{7,10 \cdot 5,25}{(7,10 + 5,25) \cdot 2,20} = \frac{37,275}{27,17} = 1,37$$

Adotam-se, aqui, os fatores de reflexão do teto, parede e piso respectivamente de 70%, 30% e 10% (os quais seriam valores um pouco otimistas para os fatores de reflexão). Escolhendo-se uma luminária similar a já existente na instalação, uma luminária de chapa de aço fosfatizada, com pintura epoxi branca de alto poder de reflexão, tipo aberta para 2 lâmpadas de 40 W, obtém-se um fator de utilização de 0,44 para $K = 1,25$ ou 0,48 para $K = 1,50$. A fim de não estabelecer um valor superdimensionado, o fator de utilização adotado será de 0,44.

A justificativa para a escolha da luminária para duas lâmpadas de 40 W tem o objetivo de reaproveitar as luminárias existentes no local, as quais podem receber as lâmpadas de 32 W sem qualquer adaptação, pois estas possuem o mesmo comprimento das de 40 W. Além disto estas luminárias para ambos os tipos de lâmpadas demonstram rendimentos muito próximos, conforme a tab. 4.2.

Considerando-se ainda um período de manutenção de 7500 horas e o ambiente das instalações de limpeza normal, tem-se uma depreciação de 0,80.

Deste modo pode-se calcular o fluxo total e conseqüentemente a relação R_e para o novo projeto de iluminação mais eficiente, onde será utilizada a lâmpada de 32 W da Philips TLDRS32/84, tonalidade de cor Super 84 e de fluxo luminoso igual a 2700 lm.

Neste projeto também serão utilizados reatores eletrônicos duplos para lâmpadas de 32 W do tipo: Philips SSB2-220-2/32 IS LH; partida instantânea; tensão de 220 V; $\cos \varphi = 0,98$; fator de fluxo luminoso de 0,94; e consumo lâmpadas + reator = 63 W. Então como visto anteriormente, a relação R_e , quando reatores eletrônicos forem utilizados, requer a correção do fluxo total conforme o fator de fluxo luminoso do reator, para que os cálculos sejam feitos corretamente.

$$\phi = \frac{37,275 \cdot 300}{0,44 \cdot 0,8 \cdot 0,94} = 33796,24 \text{ lm}$$

Utilizando-se luminárias para 2 lâmpadas de 32 W, o fluxo luminoso será de 5400 lm por luminária, então:

$$N^{\circ} \text{ de luminárias} = \frac{33796,24}{5400} = 6,26$$

Como pode-se ver, o nível de iluminamento é mantido com apenas sete luminárias, segundo este projeto de iluminação mais eficiente. No entanto, o número de oito luminárias deverá ser mantido visando melhorar e manter uniforme a distribuição das luminárias e o nível de iluminamento dentro da sala.

$$R_e = \frac{8 \cdot 63}{37,275} = 13,52 \text{ W/m}^2$$

Calculado o valor de R_e , e comparando-o com o valor de R_a , conclui-se que a economia de potência por sala será de 40% em relação ao sistema de iluminação existente.

4.1.3.2 Medidas propostas para o departamento

Com o resultado obtido no item anterior, na mudança da iluminação em uma só sala, conclui-se que a troca de todas as lâmpadas de 40 W por de 32 W e dos reatores existentes por reatores eletrônicos, é indicada em todo departamento, haja vista a satisfatória porcentagem de economia proporcionada pelas mudanças. A troca das luminárias não será necessária, pois no estudo acima foram consideradas luminárias similares às existentes hoje

no departamento e, conforme demonstrado, o rendimento das luminárias com a troca das lâmpadas permanece praticamente inalterado.

Deste modo uma sugestão a curto prazo, seria a de substituir as lâmpadas fluorescentes de 40 W por lâmpadas fluorescentes de 32 W que são 20% mais econômicas; possuem fluxo luminoso semelhante; além de possuírem o mesmo comprimento, permitindo o aproveitamento das luminárias já existentes. Contudo seria também necessária a substituição, conforme indicado pelo fabricante, dos reatores para as lâmpadas de 40 W existentes por reatores adequados à operação das lâmpadas de 32 W, a fim de que estas operem normalmente. A escolha mais econômica do ponto de vista de conservação de energia seria a dos reatores eletrônicos.

No intuito de amenizar inicialmente os gastos poder-se-ia realizar a tentativa de se utilizar os reatores duplos já existentes nas luminárias para as lâmpadas de 40 W, pois, conforme consultado, as características do reator duplo partida rápida para estas lâmpadas são bem próximas das características do reator duplo partida rápida para as lâmpadas de 32 W, conforme vemos abaixo.

TABELA 4.5 - Características dos diferentes reatores

Código comercial	Tipo de lâmpada	Tipo de reator	Corrente da linha	cos(φ)	Consumo reator + lâmpadas
RTL240A26PR	2 x 40 W	Partida Rápida	0,51	0,93	104 W
RTL232A26PR	2 x 32 W	Partida Rápida	0,42	0,90	86 W
SSB2-220-2/32 IS LH	2 x 32 W	Eletrônico	0,29	0,98	63 W
RTL40B26	1 x 40 W	Convencional	0,43	0,54	51 W
RTL32B26PR	1 x 32 W	Partida Rápida	0,46	0,45	47 W

nota: Valores extraídos de PHILIPS.

Aparentemente não haveria problema com a troca, pois as características dos reatores duplos para lâmpadas de 40 W são superiores. Mas tal consideração deve ser testada de modo a se verificar se as condições de operação do esquema não prejudicará o rendimento nominal das lâmpadas de 32 W, e se os reatores duplos existentes não se danifiquem num curto prazo de tempo.

Tomando esta iniciativa, como uma medida de curto prazo, a troca das lâmpadas sem a troca dos reatores duplos já renderia uma economia de 16 W por conjunto “2 lâmpadas de

32 W + reator duplo existente”, ou seja, 3456 W no total de luminárias de dois elementos, aliviando de imediato em aproximadamente 12% a potência instalada no departamento inteiro.

A troca dos reatores existentes pelos reatores eletrônicos seria efetivada gradualmente ou à medida em que os reatores existentes se danificassem, de modo a suavizar os gastos iniciais para a implantação de uma iluminação mais econômica. Com a finalização da troca dos reatores, haveria uma economia de 41 W por conjunto 2 lâmpadas de 32 W + reator eletrônico, o que implicaria em uma economia de 8856 W, ou seja cerca de 30% da potência instalada em iluminação. Pode-se dizer que esta porcentagem é bastante satisfatória lembrando-se que não foi considerada a alteração dos conjuntos 1 lâmpada de 40 W + reator simples convencional, os quais constituem um total de 109 conjuntos.

Quanto à troca dos conjuntos 1 lâmpada de 40 W + reator simples convencional por 1 lâmpada de 32 W + reator simples partida rápida seria inviável, pois, como pode-se analisar na tabela acima, a diferença de consumo entre os dois conjuntos é de apenas 4 W, não justificando o investimento inicial. A troca seria justificada quando os reatores simples convencionais para as lâmpadas de 40 W viessem a se danificar. Na sua reposição seriam instalados 1 lâmpada de 32 W + reator simples partida rápida apropriado. A aplicação de reatores eletrônicos simples não foi realizada neste caso, devido à indisponibilidade de dispositivos confiáveis no mercado, pois neste projeto somente foram utilizados dados de componentes fabricados por empresas de renome mundial.

No caso das luminárias de três elementos, o uso de uma lâmpada de 40 W, juntamente com outras duas de 32 W não traria problemas, pois ambas lâmpadas possuem fluxo luminoso semelhante. Esta configuração poderá ser encontrada caso as medidas propostas acima sejam seguidas fielmente.

Para que a troca dos reatores duplos mencionada aqui fosse realizado de imediato, seria necessário um investimento inicial maior do que somente troca das lâmpadas, o que nem sempre é possível devido à dificuldade de se conseguir verbas para investimentos no próprio departamento, sendo que a troca de imediato se justificaria caso o “casamento” lâmpada 32 W com reator duplo partida rápida para 2 lâmpadas de 40 W não desse certo.

Para os ambientes que usam lâmpadas incandescentes, a substituição destas pelas LFC é também, sem dúvida, a melhor opção. Uma análise mais detalhada será feita no decorrer deste capítulo.

4.1.4 Economia proporcionada no departamento

A energia elétrica consumida no departamento da engenharia elétrica da EESC é cobrada segundo a tarifa horo-sazonal azul, o que diferencia os preços da energia tanto para a demanda ponta e fora de ponta, como para o consumo ponta e fora de ponta, por isto estabeleceremos uma estimativa de funcionamento da iluminação dentro dos horários de ponta e fora de ponta, para que se possa ter um cálculo aproximado da economia obtida com o sistema de iluminação mais eficiente proposto anteriormente.

O período de ponta para a concessionária local é determinado pelo intervalo de tempo das 18:00 h às 21:00 h. Considerando-se que até 18:00 h, 80% da potência total da iluminação instalada no prédio é utilizada por um período de 10 horas e que, a partir das 18:00 h, somente alguns laboratórios do primeiro e segundo pavimento ainda continuam em funcionamento. Destes laboratórios nem todos funcionam após o expediente normal de trabalho, então estipulou-se que 30% da potência total de iluminação instalada nestes laboratórios é utilizada por mais 6 horas.

Os laboratórios mencionados acima correspondem a 48 luminárias de 2 x 40 W nas salas e 10 luminárias de 1 x 40 W nos corredores, por andar. Então temos o seguinte quadro de cargas no que diz respeito à iluminação instalada durante um dia no departamento:

TABELA 4.6 - Consumo diário gerado pela instalação existente

Instalação existente atualmente no departamento				
horário	período	estimativa de utilização	pot. utilizada	cons. diário
00:00 h às 18:00 h	10 horas	80% da potência no departamento inteiro	$28823 \cdot 0,8 =$ 23,06 kW	230,6 kWh
18:00 h às 21:00 h	3 horas	30% da potência nos laboratórios do 1º e 2º andar	$11004 \cdot 0,3 =$ 3,3 kW	9,9 kWh
21:00 h às 24:00 h	3 horas	30% da potência nos laboratórios do 1º e 2º andar	$11004 \cdot 0,3 =$ 3,3 kW	9,9 kWh

Portanto o consumo diário é de 239,96 kWh no horário fora de ponta e 9,9 kWh no horário de ponta, para a instalação existente.

Para o cálculo de economia de energia elétrica consideremos as medidas propostas no item 4.1.3.2, onde somente as luminárias que possuem no mínimo 2 lâmpadas de 40 W +

reator partida rápida duplo serão modificadas por lâmpadas de 32 W + reator eletrônico duplo, obtendo-se assim um nova potência instalada no departamento.

Da tab. 2.5 sabe-se que o número total de reatores duplos é 216 e o de reatores simples é de 109, portanto o número de conjunto lâmpadas + reator é conhecido. Não se esquecendo da existência de 5 lâmpadas incandescentes de 60 W e 100 W que deverão ser trocadas respectivamente por LFC de 11 W e 20 W. Como o conjunto 2 lâmpadas de 32 W + reator eletrônico consome 63 W e o conjunto 1 lâmpada de 40 W + reator convencional consome 51 W, então o novo quadro de consumo diário será:

TABELA 4.7 - Consumo diário gerado pela instalação mais eficiente

Instalação eficiente projetada para o departamento				
horário	período	estimativa de utilização	pot. utilizada	cons. diário
00:00 h às 18:00 h	10 horas	80% da potência no departamento inteiro	$19322 \cdot 0,8 =$ 15,46 kW	154,6 kWh
18:00 h às 21:00 h	3 horas	30% da potência nos laboratórios do 1º e 2º andar	$7068 \cdot 0,3 =$ 2,12 kW	6,36 kWh
21:00 h às 24:00 h	3 horas	30% da potência nos laboratórios do 1º e 2º andar	$7068 \cdot 0,3 =$ 2,12 kW	6,36 kWh

Portanto o consumo diário é de 160,96 kWh no horário fora de ponta e 6,36 kWh no horário de ponta, para a instalação mais eficiente.

Através destes números, conclui-se que se pode obter uma economia de aproximadamente 30% no horário fora de ponta e de 35% no horário de ponta, com o projeto de iluminação mais eficiente. Todavia, desconsiderando-se a diferença de preço cobrada para os dois horários, poder-se-ia economizar cerca de 33% do consumo de energia diário dentro do departamento.

FIGURA 4.3 - Comparativo de consumo entre sistemas: existente e eficiente

É conveniente explicar que, neste item, foram calculados valores diários, com o intuito de demonstrar a economia gerada em períodos de funcionamento normal da iluminação interna, as quais se dão somente nos dias úteis da semana, pois nos finais de semana e feriados o funcionamento é bem diferenciado. O que não ocorre na iluminação externa, já que esta funciona normalmente em qualquer dia do ano, como veremos mais adiante.

4.1.5 Viabilidade de troca das lâmpadas incandescentes

Para ambientes que precisam ser iluminados por longos períodos e se utilizam do uso de lâmpadas incandescentes, como já foi dito anteriormente no item 4.1.1.1, é recomendada a substituição por lâmpadas fluorescentes compactas.

Para evidenciar as vantagens desta substituição faremos uma análise do investimento para o tempo estimado de vida útil de uma LFC:

TABELA 4.8 - Comparativo: lâmpada incandescente 100 W x LFC 20 W

	Lâmp. incand. 100 W	LFC 20 W
(1) Tempo de uso	10000	10000
(2) Consumo de energia, kWh	1000	200
(3) Nº novas de reposições	9	0
(4) Preço do kWh, R\$	0,030480	0,030480
(5) Preço da lâmpada, R\$	0,71	25,23
(6) Custo da energia consumida, R\$	30,48	6,10
(7) Custo de reposição, R\$	6,39	0
(8) Total, R\$ (5)+(6)+(7)	37,58	31,33

nota: Preço do kWh praticado no mês de março/97

Neste cálculo não foram considerados possíveis aumentos do kWh no decorrer do tempo, o que provavelmente irá ocorrer no futuro, além de possíveis alterações nos preços das lâmpadas.

Como se pode concluir, o maior lucro da utilização deste tipo de lâmpada não está nas despesas monetárias de aquisição, do ponto de vista do sistema elétrico. Mas sim na grande parcela de potência consumida liberada de imediato, com a instalação das LFC, que pode

chegar a 80% como vimos no exemplo acima. Apesar destas observações, cabe informar que o preço do kWh adotado na planilha acima é o preço exercido para o consumo em horário fora de ponta da tarifação horo-sazonal azul. Caso embutíssemos os valores de consumo no horário de ponta, a diferença entre custos da energia consumida das duas lâmpadas seria ainda maior.

4.1.6 Custos, uma visão geral

Com a finalidade de estimar os custos e ganhos gerados na troca da iluminação interna incorreta dentro do campus, uma análise destes custos e ganhos gerados será feita para uma só luminária de cada um dos dois sistemas de iluminação em discussão. O tipo de luminária escolhida para comparação e troca é o que se encontra em maior número no campus (luminárias 2 x 40 W). Através dos resultados obtidos para uma só luminária, torna-se possível estimar os gastos e ganhos para um número qualquer de luminárias a serem trocadas.

Sistema A: uma luminária de chapa aço branca fosfatizada, pintura epoxi branca de alto poder de reflexão, 2 lâmpadas fluorescentes de 40 W, com reator partida rápida.

Sistema B: uma luminária de chapa aço branca fosfatizada, pintura epoxi branca de alto poder de reflexão, 2 lâmpadas fluorescentes de 32 W, com reator eletrônico.

4.1.6.1 Custos da instalação

Como em ambos os sistemas em discussão as luminárias são idênticas e já são utilizadas dentro do campus pela iluminação menos eficiente, não será incluso o preço das luminárias na instalação, pois caso as modificações sejam executadas conforme o indicado, as luminárias existentes serão reaproveitadas.

TABELA 4.9 - Total do custo para a instalação dos dois sistemas

Instalação	Sistema	
	A	B
(1) 2 Lâmpadas, R\$	5,12	6,88
(2) Reator, R\$	10,58	17,13
(3) Custo total de instalação lâmpada + reator, R\$ (1)+(2)	15,7	24,01

4.1.6.2 Custo anual de energia

Considerando-se que durante um mês a iluminação seja usada durante 230 horas, pelo período de oito meses ao ano, então em um ano tem-se 1840 horas. Considera-se ainda que destas 1840 horas, 55 horas de funcionamento da iluminação são no horário de ponta, o que é razoável para um estabelecimento de ensino, indicando menos de 3% do total de horas em um ano.

TABELA 4.10 - Total do custo anual de energia elétrica para os dois sistemas

	Sistema	
	A	B
(1) Potência consumida por lâmpada + reator, kWh	0,104	0,063
(2) Energia consumida no horário de fora de ponta, kWh/ano	185,64	112,46
(3) Energia consumida no horário de ponta, kWh/ano	5,72	3,47
(4) Preço do kWh no horário de fora de ponta, R\$	0,030480	0,030480
(5) Preço do kWh no horário de ponta, R\$	0,067130	0,067130
(6) Custo anual da energia, R\$ (2)·(4)+(3)·(5)	6,04	3,66

nota: Preço do kWh praticado no mês de março/97

Conclui-se que o sistema B consome cerca de 40% a menos que o sistema A.

4.1.6.3 Custo anual de manutenção

Aqui serão relacionados os custos relativos à troca de equipamentos, no caso somente as lâmpadas e reatores, pois a manutenção das luminárias dar-se-á com a limpeza das mesmas, sendo que o custo da mão de obra será considerado zero, ficando sob a responsabilidade da equipe de manutenção interna.

Segundo PROCEL (a), a vida média para as lâmpadas fluorescentes, é de 10000 horas para as lâmpadas fluorescentes comuns e de 7500 horas para as lâmpadas fluorescentes trifósforo, mas levando-se em conta o uso de reatores eletrônicos, pode-se considerar que as lâmpadas no sistema B possuem sua vida média aumentada de 50%.

TABELA 4.11 - Total do custo anual de manutenção com lâmpadas

	Sistema	
	A	B
(1) Vida útil, horas	10000	11250
(2) Tempo de uso anual, horas	1840	1840
(3) Período de reposição, anos	5,5	6
(4) Custo da lâmpada, R\$	2,56	3,44
(5) Custo anual de reposição de uma lâmpada, R\$ (4)/(3)	0,46	0,57

TABELA 4.12 - Total do custo anual de manutenção com reatores

	Sistema	
	A	B
(1) Vida útil, horas	45000	70000
(2) Tempo de uso anual, horas	1840	1840
(3) Período de reposição, anos	24	38
(4) Custo do reator, R\$	10,58	17,13
(5) Custo anual de reposição de um reator, R\$ (4)/(3)	0,44	0,45

TABELA 4.13 - Total do custo anual de manutenção para os dois sistemas

	Sistema	
	A	B
(1) Custo anual de reposição das duas lâmpadas, R\$	0,92	1,14
(2) Custo anual de reposição dos reatores, R\$	0,44	0,45
(3) Custo anual de manutenção, R\$ (1)+(2)	1,36	1,59

4.1.6.4 Custo total

Como diz o próprio nome, o custo total é a soma dos custos calculados anteriormente, onde o custo da instalação é o investimento inicial, e o custo anual de energia, juntamente com o custo anual de manutenção referem-se à parcela de custo anual necessário para que o sistema funcione adequadamente. Deve-se atentar que os valores dos custos anuais estão referidos ao valor presente.

TABELA 4.14 - Custo total anual para o funcionamento adequado dos dois sistemas

	Sistema	
	A	B
(1) Custo anual de energia, R\$	6,04	3,66
(2) Custo anual de manutenção, R\$	1,36	1,59
(3) Custo anual, R\$ (1)+(2)	7,40	5,25

Analisando-se os custos, tem-se que custo de instalação do sistema B é 53% maior que do sistema A. No entanto, o custo anual de funcionamento do sistema B é 30% inferior ao do sistema A. Esta economia apresentada é alcançada graças à utilização de equipamentos mais eficientes, colaborando principalmente com a conservação de energia, no que diz respeito à quantidade de kWh que deixam de ser consumidos.

Considerando que o preço das tarifas de energia e os custos com a manutenção mantenham-se fixos (o que não condiz com a realidade), podem-se calcular os custos acumulados com os sistemas de iluminação e assim o tempo de retorno do investimento. Basta igualar o valor final do investimento de ambos os sistemas. Sabe-se que:

$$V_i = V_o + i \cdot CT_a$$

Igualando os sistemas A e B:

$$15,7 + i \cdot 7,4 = 24,01 + i \cdot 5,25$$

$$i = 3,86 \text{ anos}$$

Portanto, tem-se um retorno do investimento em aproximadamente três anos e onze meses, o que é considerado um investimento de retorno a médio prazo. Para que se tenha uma idéia dos custos acumulados no decorrer dos anos, no gráfico abaixo faz-se uma estimativa destes no decorrer de dez anos, onde o ponto de intersecção das retas é o momento onde ocorre a equiparação dos investimentos.

FIGURA 4.4 - Gráfico de custos acumulados para os sistemas A e B

4.1.7 Gerenciamento da iluminação interna

O consumo de energia elétrica está intimamente ligado aos hábitos de uso, à maneira de como são operados os equipamentos elétricos e à eficiência desses mesmos equipamentos. Assim pode-se dizer que existem dois níveis distintos de conservação de energia. O primeiro seria a nível da eliminação dos desperdícios, através do gerenciamento correto e conscientização do usuário e o outro seria sob o aspecto da aplicação de técnicas e equipamentos que aumentem a eficiência do uso da energia.

O segundo nível de conservação necessita da realização de investimentos, seja na substituição de equipamentos e processos por outros de maior rendimento, seja na implantação de dispositivos de controle. Já o gerenciamento do uso da energia requer investimentos mínimos ou muitas vezes nulo.

Inúmeras medidas podem ser tomadas nesta área de atuação. Dentre elas a redução da iluminância através do aproveitamento da luz natural. Tal medida implicaria em uma redução do consumo de energia, pois a luz natural é disponível a todos através da abertura de janelas, persianas e cortinas, sem que se tenha que pagar por ela. A limpeza regular de paredes, janelas, pisos e forros também contribui para um melhor aproveitamento da luz natural, pois uma superfície limpa reflete melhor a luz de modo que a iluminação artificial torna-se menos necessária. Além das superfícies constituintes do ambiente, a limpeza das luminárias, lâmpadas e demais aparelhos de iluminação também é necessária, de modo que a iluminação

não fique prejudicada. A utilização de telhas translúcidas em depósitos, almoxarifados, barracões, etc.; é uma outra medida de aproveitamento da luz natural.

A divisão dos circuitos de iluminação é uma boa sugestão para o aproveitamento da iluminação natural, pois em dias de alta luminosidade é possível manterem-se desligadas as luminárias próximas as janelas, acendendo-se somente as mais distantes e garantindo-se, sem prejuízos, a iluminância necessária para o local. Nos locais onde já existe a divisão do circuito, é comum os usuários não desligarem as lâmpadas acesas a mais, neste caso seria necessário estimular o uso correto da iluminação. O desligamento da iluminação no horário de almoço também proporciona uma significativa economia de energia.

O aproveitamento da luz natural dentro dos estabelecimentos do campus é a medida que geraria as maiores economias dentro do gerenciamento da iluminação sem a necessidade de investimentos. Pois como é do conhecimento de todos, o campus concentra a maior parte de suas atividades desenvolvidas durante o dia, sendo que durante a noite apenas um ou outro trabalho é executado dentro dos departamentos.

Para estes casos de ambientes iluminados no período da noite, tem-se um problema quanto aos ambientes que após o seu uso permanecem com a iluminação ligada durante todo o decorrer da noite. Geralmente estes desperdícios ocorrem nas salas de aula, onde, por falta de uma cultura conservacionista ou até mesmo por desdém, o usuário deixa de apagar as luzes de um ambiente vazio. A fim de acabar com tais desperdícios, poder-se-ia utilizar o controle da iluminação por meio de sensores de presença. Sua principal função não é apenas liberar o usuário do acendimento das lâmpadas quando entra, mas sim de apagá-las quando este deixa o local. Outra vantagem é que estes interruptores podem ser habilitados a funcionar a partir de uma intensidade luminosa, permitindo o uso da iluminação natural incidente na sala.

Outras medidas que podem ser utilizadas no gerenciamento da iluminação e conseqüente conservação de energia, são:

- campanhas permanentes de conscientização dos usuários;
- instalação de minuterias em locais de acesso, como escadas e corredores;
- localização do uso de iluminação sobre as superfícies de trabalho.
- verificação da possibilidade de manter um nível adequado de iluminação utilizando lâmpadas de menor potência e aproximando as luminárias das superfícies de trabalho;

4.2 Iluminação externa

A iluminação externa é um benefício que traz segurança e bem estar às pessoas que dela usufruem. Entende-se por iluminação externa toda área externa ou objeto que após o pôr do sol é iluminado artificialmente, de modo a atender os requisitos mencionados há pouco. Ruas, estacionamentos, calçadas, praças, jardins, fachadas, etc., são áreas que iluminadas devem garantir requisitos mínimos para a segurança de circulação, conforto visual, facilidade de movimentação, entre outros.

Este tipo de instalação possui características próprias, como: acionamento independente do usuário, utilização de equipamentos resistentes ao tempo e iluminação constante independente da presença ou não do usuário. O nível de iluminamento varia conforme o tipo do local e da aplicação, mas deve ser tal que não fique prejudicada a definição de contornos de objetos presentes nestes locais, e o conforto do usuário quanto à reprodução de cores e ofuscamento.

Atualmente, a iluminação externa dentro do campus é composta basicamente por dois tipos de lâmpadas: vapor de mercúrio alta pressão e vapor de sódio alta pressão, iluminando as vias de acesso aos departamentos, ruas e praças de toda a universidade. As lâmpadas de vapor de sódio estão sendo instaladas somente nos novos pontos de iluminação, pois no momento está ocorrendo uma ampliação na iluminação externa, no intuito de melhorar a iluminação já existente.

Apoiando o novo tipo de iluminação externa que está sendo instalado e na tentativa de esclarecer as desvantagens da permanência das lâmpadas de vapor de mercúrio alta pressão na instalação mais antiga, serão abordadas aqui as principais características dos dois tipos de lâmpadas, de modo a verificar qual lâmpada traz mais vantagens, tanto do ponto de vista de conforto para o usuário, quanto de economia para a universidade.

4.2.1 Equipamentos gerais utilizados na iluminação externa

Assim como foi realizado para a iluminação interna, com a finalidade de esclarecer eventuais dúvidas sobre alguns equipamentos existentes no mercado, neste item serão abordadas características de equipamentos utilizados na iluminação externa, não havendo a necessidade de comentários sobre reatores e luminárias, pois suas funções são semelhantes às mencionadas na iluminação interna.

Também serão apresentados equipamentos auxiliares na economia de energia elétrica, com o intuito de demonstrar novas tecnologias utilizadas na iluminação externa.

4.2.1.1 Lâmpadas

Como será visto mais à frente, existem vários tipos de lâmpadas responsáveis pela iluminação externa do campus, porém aqui somente serão citadas mais detalhadamente as lâmpadas que aparecem em maior número ou que representem um significativo potencial econômico.

O principal enfoque será para as lâmpadas vapor de mercúrio alta pressão e vapor de sódio alta pressão, apesar da existência de lâmpadas incandescentes e fluorescentes, já comentadas no item 4.1.1.1. Quanto às lâmpadas mistas, estas serão citadas brevemente, pois aparecem em um pequeno número, podendo ser substituídas por lâmpadas de maior eficiência luminosa e mais econômicas.

Lâmpadas Mistas: apesar de ser uma lâmpada de descarga, não usa reator, podendo ser ligada diretamente à rede e deste modo substituir lâmpadas incandescentes presentes na instalação. Apresentam custo inicial moderado, mas tornam-se antieconômicas em vista da sua baixa eficiência luminosa. Possuem, conforme ABILUX et al. (1992), menos da metade da eficiência que as vapor de mercúrio e menos da quarta parte que as vapor de sódio de alta pressão. São utilizadas na iluminação de vias públicas, jardins, indústrias, estacionamentos, etc.

Lâmpadas de vapor de mercúrio alta pressão (VMAP): encontradas na iluminação externa do campus e utilizadas para a iluminação de grandes áreas, tem como característica uma grande emissão de luz, pequeno volume, boa eficiência luminosa e longa vida média. Contudo esta última característica depende das condições de operação. A vida útil é maior se a lâmpada ficar acesa constantemente. Apresenta como desvantagens o custo elevado e uma demora de 4 a 5 minutos para se conseguir a emissão luminosa máxima. São muito utilizadas na iluminação pública e na iluminação de pátios, estacionamentos, áreas livres, onde a reprodução precisa de cores não é exigida.

Lâmpadas de vapor de sódio alta pressão (VSAP): a característica mais importante deste tipo de lâmpada é a sua grande eficiência luminosa, maior do que qualquer outro tipo de fonte policromática para uso generalizado. Sua aparência é de cor branca-dourada agradável, apresentando uma longa vida útil, sendo esta maior quando o funcionamento for contínuo.

Possui baixo custo de operação, dimensões reduzidas e nenhuma limitação para a posição de funcionamento, além de razoável rendimento cromático. Apresenta como desvantagens o custo elevado e uma demora em torno de 5 minutos para a lâmpada atingir 90% do fluxo luminoso total. São utilizadas normalmente em iluminação pública, estacionamentos, pátios, depósitos, fachadas, etc.

Dentre os tipos apresentados, o mais eficiente é composto pelo conjunto com lâmpadas VSAP. Segundo ROCHA (1991), a vida útil média varia de 12000 horas, no caso das lâmpadas VMAP e 22000 horas, para as lâmpadas VSAP (valores médios, considerando que existem critérios diferenciados de fabricante para fabricante). O rendimento luminoso é:

- vapor de mercúrio alta pressão - 55 lm/W
- vapor de sódio alta pressão - 120 lm/W

A relação de consumo entre os dois tipos de lâmpadas pode ser visto segundo a tabela abaixo.

TABELA 4.15 - Comparativo de consumo entre lâmpadas VMAP e VSAP

Vapor de Mercúrio A. P.		Vapor de Sódio A. P.			
Potência lâmpada [W]	Perdas reator máximas [W]	Potência lâmpada [W]	Perdas reator máximas [W]	Total [W]	Economia [%]
80	9,6	50	12	62	30
125	13,75	70	15	85	39
250	25	150	26	176	36
400	36	250	37	287	34

nota: Valores extraídos de ROCHA (1991).

Vale ressaltar que ambos os tipos de lâmpadas necessitam de reator, por serem lâmpadas de descarga, sendo que as lâmpadas de vapor de sódio dependem de um sistema externo de ignição. Contudo, para simplificar o emprego das lâmpadas VSAP, em substituição às lâmpadas VMAP, existem hoje no mercado alguns modelos que dispensam o uso do ignitor.

4.2.1.2 Ignitores

Equipamento necessário para fornecer energia suficiente para a partida das lâmpadas de descarga: multivapores metálicos ou vapor de sódio alta pressão. Estes podem ser:

- ignitores conjugados: utilizam como fonte para geração do pulso a derivação do reator.
- ignitores independentes: não utilizam a derivação do reator e, ligados em série com o mesmo, utilizam um transformador próprio como fonte para a geração do pulso.

4.2.1.3 Comutador fotoeletrônico

Este equipamento atende a qualquer sistema de iluminação pública ou externa TORRES (1989), de modo a racionalizar o uso de energia elétrica. O comutador é um dispositivo totalmente eletrônico que permite uma grande precisão no ajuste da sensibilidade luminosa, além de ser robusto, de modo a suportar as agressões impostas pelo meio ambiente. As suas características de projeto são: compatibilidade com qualquer sistema de iluminação; durabilidade; simplicidade de instalação; operação adequada da lâmpada; baixo consumo de energia; facilidade de recuperação e viabilidade econômica.

Projetado para substituir os relés fotoelétricos, devido aos inúmeros problemas que estes equipamentos apresentavam com o decorrer do tempo, e ao funcionamento incorreto da iluminação, como a possível ocorrência de acionamentos precoces ao anoitecer e desacionamentos tardios pela manhã. Alguns problemas detectados com o uso dos relés fotoelétricos:

- alto índice de substituição;
- alteração das características da fotocélula;
- escurecimento do invólucro;
- alteração da regulação;
- sensibilidade luminosa condicionada à tensão da rede.

Estes problemas não ocorrem com o comutador fotoeletrônico que comanda com fidelidade o acionamento a 5 lux e o desacionamento a 10 lux da iluminação. O sensor óptico

utilizado para o controle do acionamento é somente sensível à radiação infravermelha.

Vantagens do emprego do comutador eletrônico:

- economia com manutenção;
- redução do consumo de energia elétrica;
- redução do índice de queima de lâmpadas;
- tempo de vida útil superior a 10 anos;
- maior eficiência no controle da iluminação pública.

Com base nos dados fornecidos por TORRES (1989), pode-se dizer que a utilização do comutador fotoeletrônico em um sistema de iluminação pública, proporciona uma economia de energia equivalente à energia consumida durante 25 minutos diários por este mesmo sistema de iluminação pública, quando acionado por relé fotoeletrônico. Portanto, conclui-se que esta economia proporcionada pelo comutador é gerada devido à correta ativação e desativação da iluminação.

De um ponto de vista geral, esta economia é uma outra vantagem do emprego do comutador fotoeletrônico, pois estes 25 minutos de economia de energia do sistema de iluminação externa estão situados em um horário crítico de fornecimento de energia para o sistema elétrico brasileiro, ou seja, ao anoitecer, quando é ativada a iluminação externa (horário de ponta) e ao amanhecer, quando é desativada a iluminação externa (horário em que há um aumento da demanda no sistema elétrico), horários em que a ação do relé fotoelétrico muitas vezes é falha.

4.2.1.4 Temporizador comutador fotoeletrônico ou Econowatt

Trata-se de um circuito eletrônico com temporizador chaveador que é adaptado ao comutador fotoeletrônico descrito anteriormente. Através do temporizador reduz a potência fornecida às lâmpadas, por um determinado tempo, uma vez que a diminuição da luminosidade é pouco perceptível à visão humana. Desenvolvido por técnicos da CPFL, foi batizado pelo nome de Econowatt.

O esquema de funcionamento testado por CPFL (1992) foi o acionamento das lâmpadas quando a iluminação cai a 5 lux, porém após cinco horas de ocorrido o acionamento, a potência das lâmpadas é reduzida de 40% da nominal, ocasionando uma redução de 60% na intensidade luminosa. Esta redução de potência permanece por mais cinco

horas consecutivas, e só então é devolvida a potência nominal às lâmpadas, pois já está se aproximando o alvorecer. Portanto a iluminação somente fica reduzida por um período, no qual o movimento do tráfego ou pedestres é abaixo do normal ou quase nulo.

Segundo CPFL (1992), o uso deste equipamento em lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão de 250 W possibilita a economia de aproximadamente 20% do consumo de energia no sistema de iluminação pública sem prejuízo algum para a população ou para o funcionamento das lâmpadas ou reatores.

4.2.2 Avaliação da iluminação externa do campus

Levando-se em conta que atualmente a iluminação externa do campus encontra-se em ampliação, no intuito de corrigir e adequar a iluminação existente; não será necessário fazer novos cálculos para a iluminação externa recente, pois considera-se que ela esteja correta e adequada.

Deste modo serão colocados em questão a permanência dos equipamentos e dos tipos de lâmpadas pertencentes à iluminação externa mais antiga, os quais perduram até os dias de hoje. Mudanças serão propostas com a intenção de uma maior economia e de se melhorar o nível de iluminação já existente, aumentando a segurança dos usuários que dela usufruem.

4.2.2.1 Medidas propostas para iluminação externa do campus

Através do levantamento das características de cada equipamento utilizado na iluminação externa, feito há pouco, conclui-se que o principal ponto de ataque no intuito de se aplicar conservação de energia é a troca das lâmpadas de VMAP 400 W ainda existentes, pelas VSAP 250 W que são 34% mais econômicas. Esta substituição é de grande interesse devido ao potencial de economia que pode ser gerado, pois as lâmpadas VMAP constituem aproximadamente 47% do número total de lâmpadas e são responsáveis por 61% do consumo total de energia gasta pelas lâmpadas na iluminação externa.

Considerando-se que a iluminação funcione em média 12 horas por dia, durante 30 dias ao mês, o consumo de energia elétrica do conjunto lâmpadas VMAP 400 W + reator seria de 37244 kWh/mês. Caso este conjunto fosse substituído pelo conjunto VSAP 250 W + reator o consumo passaria para 24595 kWh/mês, resultando numa economia de 12649 kWh/mês ou de 34% somente sobre o valor da potência instalada em lâmpadas VMAP.

FIGURA 4.5 - Comparativo de consumo entre os sistemas: VMAP 400 W e VSAP 250 W

Portanto, como foi demonstrado anteriormente, a troca é altamente viável, tanto do ponto de vista de liberação imediata de kWh para a concessionária, como também do ponto de vista técnico, pois o rendimento luminoso da lâmpada VSAP é praticamente o dobro e a vida útil da lâmpada é maior em aproximadamente 80%, proporcionando melhor qualidade da iluminação e redução da manutenção. Contudo, sua utilização tem encontrado barreiras, devido sua coloração branca-dourada. Alega-se que a estética do ambiente fica prejudicada com a troca.

Seguindo o mesmo raciocínio também recomenda-se a substituição das lâmpadas VMAP 125 W, pelas de VSAP 70 W. Cabe também lembrar que quanto aos outros tipos de iluminação, também podem ser feitas algumas modificações, como nos conjuntos de lâmpadas fluorescente de 40 W + reator, pelas lâmpadas fluorescentes de última geração de 32 W + reator eletrônico. Mas como a quantidade deste tipo de lâmpada instalada na iluminação externa do campus e a porcentagem consumida de energia é inexpressiva em comparação ao total da potência instalada, tal substituição não teria caráter de urgência, justificando-se quando o reator existente se danificasse.

FIGURA 4.6 - Porcentagem de potência instalada referente a cada tipo de conjunto lâmpada + reator

A troca das lâmpadas mistas 160 W existentes pelas VSAP 70 W, mais comuns no mercado, proporcionaria uma economia de 90 W por lâmpada, além de fornecer o dobro do fluxo nominal. Todavia, a OSRAM DO BRASIL COMPANHIA DE LÂMPADAS ELÉTRICAS (OSRAM), oferece lâmpadas VSAP 50 W, as quais substituiriam adequadamente as lâmpadas mistas sem qualquer perda no nível de iluminamento, proporcionando uma economia de 68% de consumo de energia por lâmpada trocada, o que é altamente desejável.

Após todas estas sugestões, uma que merece atenção é a troca dos relé fotoelétricos existentes, por comutadores fotoeletrônicos, bem como o seu uso nas novas instalações, a fim de tornar o sistema mais eficiente e econômico. Sabe-se que a sua principal vantagem é a precisão no acionamento e desligamento da iluminação em função da necessidade da luz artificial.

Para que se possa ter um melhor esclarecimento da viabilidade desta troca, considere:

- somente as lâmpadas de vapor de sódio 250 W e vapor de mercúrio 400 W, juntamente com seus respectivos reatores aqui citados, no momento responsáveis pela maior parte da iluminação externa dentro do campus;
- todas estas lâmpadas são acionadas por meio de relés fotoeletrônicos, que podem comandá-las em grupo ou individualmente.

Deste modo podemos dizer que para estas considerações temos uma potência instalada em iluminação de 143216 W, portanto o consumo de energia em um mês, 12 horas/dia será de 51557 kWh/mês. Agora realizando-se a troca de todos os relés fotoelétricos pelos comutadores fotoelétricos e com base nos dados fornecidos por TORRES (1989), de que é possível economizar-se 25 minutos diários de iluminação com a troca, faz-se o cálculo da economia gerada em um mês que seria de $143216 \text{ W} \cdot 25/60 \text{ horas} \cdot 30 \text{ dias} = 1790 \text{ kWh/mês}$. O consumo então, seria reduzido de 3,5% ao mês o que pode parecer pouco, mas substancial se for considerado em um ano, chegando a representar o consumo da iluminação por praticamente 12 dias, sem comentar que este pequeno alívio diário no consumo se dá ao anoitecer (horário de ponta) e ao amanhecer, trazendo reflexos nas contas de energia elétrica do campus. Outro gasto que também vale ser lembrado é quanto à manutenção que reduz significativamente.

Um outro dispositivo que também poderia ser utilizado perfeitamente dentro do campus é o econowatt que, adaptado ao comutador eletrônico, reduz a potência da lâmpada. Esta redução na iluminação não traria problemas aos usuários, pois a circulação de pedestres

no interior do campus após determinada hora da noite é praticamente nula. Assim o funcionamento do sistema, de modo que a redução fosse realizada durante um período de cinco horas na madrugada, proporcionaria uma redução de 40% da potência nominal neste período. A economia para as mesmas considerações atribuídas ainda a pouco seria então de $143216 \text{ W} \cdot 5 \text{ horas} \cdot 30 \text{ dias} \cdot 0,4 = 8593 \text{ kWh/mês}$, ou seja, haveria uma redução de 16% da potência consumida normalmente pelas lâmpadas de VMAP 400 W e VSAP 250 W existentes no momento.

Somando-se a economia do comutador eletrônico, juntamente com a proporcionada pelo uso do econowatt sem que houvesse a troca de qualquer lâmpada VMAP por VSAP, ter-se-ia uma economia de 10383 kWh/mês (20%), veja o gráfico.

FIGURA 4.7 - Comparativo de consumo entre os sistemas: relé fotoelétrico e comutador fotoeletrônico + econowatt

Como foi visto, apresentaram-se várias sugestões diferentes para a melhoria da iluminação externa do campus, dentre elas duas tiveram maior destaque e foram aplicadas isoladamente ao sistema externo de iluminação, são elas:

- a troca das lâmpadas VMAP 400 W por VSAP 250 W;
- a troca dos relés fotoeletrônicos adaptados com o econowatt sem que fosse realizada a troca das lâmpadas.

Esta divisão foi realizada intencionalmente de modo que ficasse mais claro ver de onde viriam as economias geradas com a adoção destas medidas e também para prever as economias que estas mudanças podem trazer se tomadas isoladamente, conforme a disponibilidade de verbas. Contudo, agora pode-se calcular a economia gerada por estas medidas quando aplicadas conjuntamente.

A potência instalada com a iluminação externa dentro do campus passaria ao invés de 143216 W (244 conjuntos VMAP 400 W + 142 conjuntos VSAP 250 W), para 108080 W

(386 conjuntos VSAP 250 W), proporcionando a economia representada pela fig. 4.5. A troca dos relés fotoelétricos existentes pelo comutador eletrônico adaptado com o econowatt, após a troca das lâmpadas, resultaria em uma economia de $108080 \text{ W} \cdot 25/60 \text{ horas} \cdot 30 \text{ dias} + 108080 \text{ W} \cdot 5 \text{ horas} \cdot 30 \text{ dias} \cdot 0,4 = 7836 \text{ kWh/mês}$. Então a economia gerada, com a aplicação destas duas medidas conjuntamente seria de aproximadamente 40%. Veja:

FIGURA 4.8 - Comparativo de consumo entre os sistemas: existente e eficiente

Hoje o maior inconveniente da troca VMAP por VSAP é a necessidade de reatores compatíveis com as lâmpadas vapor de sódio. No entanto, existem no mercado algumas lâmpadas vapor de sódio que aceitam os reatores utilizados pelas lâmpadas VMAP, mas a economia não é tão expressiva quanto se fosse feita a substituição correta. Portanto esta medida só é justificável, caso não houvesse verbas para a troca imediata dos reatores, ou caso a substituição correta fosse feita aos poucos, pois o investimento em novos reatores compensa devido à economia de energia que será gerada com a substituição e o grande tempo de vida útil das lâmpadas VSAP. Conforme OSRAM, a alternativa proposta sem que se mexa nos reatores, é a troca da lâmpada VMAP 400 W pela VSAP 360 W e a VMAP 250 W pela VSAP 215 W, veja o quadro de equivalência:

TABELA 4.16 - Características das diferentes lâmpadas

Tipo de lâmpada	Código	Potência [W]	Fluxo luminoso [lm]
Vapor de sódio	NAV - E360 W	360	34000
Vapor de mercúrio	HQL 400 W	400	22000
Vapor de sódio	NAV - E215 W	215	18000
Vapor de mercúrio	HQL 250 W	250	13000

nota: Valores extraídos de OSRAM.

4.2.3 Custos, uma visão geral

Diferentemente do que foi realizado nas estimativas de custo da troca da iluminação interna, onde foi necessário o cálculo de custos para uma única luminária, a fim de que possa ser feita a análise de custos em qualquer estabelecimento, para a iluminação externa a análise de custos não será feita da mesma maneira, pois se tem conhecimento do número total de pontos da iluminação a serem modificados. Portanto será estimado o custo da troca completa da iluminação externa que representa o maior potencial econômico dentro do campus, ou seja, somente a troca das lâmpadas VMAP 400 W existentes pelas VSAP 250 W. A instalação dos comutadores eletrônicos não foi considerada, devido a sua indisponibilidade no mercado da região.

Para as medidas consideradas acima será realizada somente a troca do conjunto lâmpada + reator, não sendo necessária a troca da luminária, a não ser que esta esteja danificada.

Sistema A: lâmpada de vapor de mercúrio A.P. 400 W, reator

Sistema B: lâmpada de vapor de sódio A.P. 250 W, reator e ignitor

4.2.3.1 Custos da instalação

O sistema VSAP, já existente dentro do campus utiliza-se de reatores com o ignitor conjugado, por serem mais baratos. Onde o sistema adotado tem o inconveniente de que com a quebra do ignitor é necessária a troca de todo conjunto reator + ignitor, o que as vezes pode acabar saindo mais caro.

Portanto, apesar das dúvidas quanto à vantagem da política de compra adotada pelo campus, aqui também serão utilizados os ignitores conjugados. Então no preço abaixo, o preço do ignitor para as lâmpadas VSAP, está incluído ao do reator.

TABELA 4.17 - Total do custo para a instalação dos dois sistemas

Instalação	Sistema	
	A	B
(1) Lâmpada, R\$	21,49	22,85
(2) Reator, R\$	20,04	43,09
(3) N° de conjuntos lâmpada + reator	244	244
(4) Custo da total de instalação, R\$ $(1) \cdot (3) + (2) \cdot (3)$	10133,32	16089,36

4.2.3.2 Custo anual de energia

Considerando-se que durante um mês a iluminação seja usada durante 360 horas, então durante o decorrer do ano tem-se 4320 horas de funcionamento. Considera-se ainda que o sistema de iluminação externa é acionado às 18:00 horas e desligado às 6:00 horas, então destas 4320 horas, 1080 horas de funcionamento da iluminação são no horário de ponta (25% do total de horas em um ano).

Como esta análise diz respeito ao campus num todo, também será considerado que o preço do kWh praticado é o da tarifa azul, que apesar de não ser a tarifação aplicada por todo o campus, é o tipo de tarifa aplicada onde se encontra o maior número de pontos da iluminação externa do campus.

TABELA 4.18 - Total do custo anual de energia elétrica para os dois sistemas

	Sistema	
	A	B
(1) Potência consumida por lâmpada + reator, kWh	0,424	0,280
(3) N° de conjuntos lâmpada + reator	244	244
(2) Energia consumida no horário de fora de ponta, kWh/ano	335197,44	221356,80
(3) Energia consumida no horário de ponta, kWh/ano	111732,48	73785,60
(4) Preço do kWh no horário de fora de ponta, R\$	0,030480	0,030480
(5) Preço do kWh no horário de ponta, R\$	0,067130	0,067130
(6) Custo anual da energia, R\$ $(2) \cdot (4) + (3) \cdot (5)$	17717,42	11700,18

nota: Preço do kWh praticado no mês de março/97.

Conclui-se que o sistema B consome cerca de 34% a menos que o sistema A.

4.2.3.3 Custo anual de manutenção

Aqui serão relacionados os custos relativos à troca de equipamentos, no caso somente as lâmpadas e reatores, pois a manutenção das luminárias dar-se-á com a limpeza das mesmas, sendo que o custo da mão de obra será considerado zero, ficando sob a responsabilidade da equipe de manutenção interna.

TABELA 4.19 - Total do custo anual de manutenção com lâmpadas

	Sistema	
	A	B
(1) Vida útil, horas	12000	22000
(2) Tempo de uso anual, horas	4320	4320
(3) Período de reposição, ano	2,5	5
(4) Custo da lâmpada, R\$	21,49	22,85
(5) Custo anual de reposição de uma lâmpada, R\$ (4)/(3)	8,60	4,57

TABELA 4.20 - Total do custo anual de manutenção com reatores

	Sistema	
	A	B
(1) Vida útil, horas	43200	43200
(2) Tempo de uso anual, horas	4320	4320
(3) Período de reposição, anos	10	10
(4) Custo do reator, R\$	20,04	43,09
(5) Custo anual de reposição de um reator, R\$ (4)/(3)	2,00	4,31

TABELA 4.21 - Total do custo anual de manutenção para os dois sistemas

	Sistema	
	A	B
(1) Custo anual de reposição de uma lâmpada, R\$	8,60	4,57
(2) Custo anual de reposição de um reator, R\$	2,00	4,31
(3) N° de conjuntos lâmpada + reator	244	244
(4) Custo anual de manutenção, R\$ (1)·(3)+(2)·(3)	2586,40	2166,72

4.2.3.4 Custo total anual

Igualmente ao realizado na iluminação interna, aqui serão levantados os custos gerados para a implantação e funcionamento adequado do sistema, bem como o seu tempo de retorno.

TABELA 4.22 - Custo total anual para o funcionamento adequado dos dois sistemas

	Sistema	
	A	B
(1) Custo anual de energia, R\$	17717,42	11700,18
(2) Custo anual de manutenção, R\$	2586,40	2166,72
(3) Custo anual, R\$ (1)+(2)	20303,82	13866,90

Através dos resultados obtidos, pode-se notar que o custo de instalação do sistema B é 59% maior que do sistema A. Em compensação analisando-se o custos anuais, obtém-se que o custo anual do sistema B é 32% inferior ao do sistema A.

Considerando-se que o preço das tarifas de energia e os custos com a manutenção mantenham-se fixos (o que não condiz com a realidade), pode-se calcular o tempo de retorno do investimento, da mesma forma como realizado anteriormente.

Igualando os sistemas A e B:

$$10133,32 + i \cdot 20303,82 = 16089,36 + i \cdot 13866,90$$

$$i = 0,93 \text{ anos}$$

Portanto, tem-se um retorno do investimento em aproximadamente 11 meses, o que é considerado um investimento de retorno a curto prazo. Para que se tenha uma idéia dos custos acumulados no decorrer dos anos, faz-se uma estimativa destes no decorrer de dez anos, no gráfico a seguir.

FIGURA 4.9 - Gráfico de custos acumulados para os sistemas A e B

4.2.4 Gerenciamento da iluminação externa

Diferentemente do que acontece na iluminação interna, onde a iluminação pode receber interferência direta do usuário o qual é responsável pelo uso adequado da iluminação, a iluminação externa é independente, para não comprometer a segurança de todos, onde o gerenciamento não pode e nem deve intervir no funcionamento da iluminação, em prol do bem estar.

Esta característica de independência da iluminação faz com que o gerenciamento da iluminação externa atue com a intenção de manter a melhor eficiência e desempenho da iluminação que podem ser conseguidos através do uso de lâmpadas corretas para cada localidade e da manutenção das luminárias, difusores e outros equipamentos. Sempre em busca do uso racional da energia elétrica, evitando assim desperdícios e proporcionando segurança e conforto às pessoas que dela usufruem.

4.3 Conclusão

Através da aplicação dos conhecimentos técnicos e da utilização de equipamentos mais eficientes, os novos projetos a serem desenvolvidos e a substituição da iluminação interna deficiente por uma mais eficiente, pode-se chegar a um índice significativo de economia nas instalações internas do campus.

A iluminação externa também apresenta um grande potencial de conservação de energia, simplesmente pela troca das lâmpadas VMAP e da aplicação de dispositivos de comando da iluminação mais eficientes. Levando-se em conta que as medidas propostas aqui foram de caráter exclusivamente técnico sob o ponto de vista da eficiência luminosa, uma outra medida que também poderia ser estudada é a redistribuição dos circuitos de iluminação externa, para que sejam eliminados os transformadores trabalhando em vazio, atacando-se, desta maneira, todas as eventuais formas de desperdício de energia.

A aplicação do conceito de conservação de energia conquistada pelo uso racional da energia não implica em gastos desnecessários ou irrelevantes com a iluminação, mas sim em gastos para um maior rendimento das instalações, evitando assim desperdícios. Portanto, não se esquecendo que o campus é composto por diversas edificações e que cada uma destas usa a energia de forma diferenciada, deve se realizar um estudo em particular para cada caso, antes de se efetuar a substituição da iluminação, pois a viabilidade do processo aparece no resultado custo/benefício que as alterações podem trazer.

Capítulo 5

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do quadro atual em que se encontram as instalações do campus, apresentado nesta dissertação, ficam claras as vantagens da aplicação da conservação de energia nos seus diferentes setores, o que resultaria em diferentes níveis de economia pela utilização correta e eficiente dos equipamentos elétricos existentes.

Como foi visto, o maior potencial econômico a ser atingido é na iluminação, enquanto que a economia gerada pela correta utilização dos transformadores somente pode ser medida a partir do momento em que as mudanças aqui citadas forem realizadas. Mas apesar de no presente momento não se ter à disposição os resultados concretos que seriam alcançados com a implantação das sugestões aqui mencionadas, a aplicação adequada de uma política de conservação de energia seria a garantia de que se está utilizando a energia elétrica da melhor maneira.

Hoje, a prefeitura do campus é a responsável pela manutenção da parte externa da universidade e pela prestação de serviços internos de manutenção elétrica para os departamentos. Sabendo-se que ela mesma é a responsável pela compra dos equipamentos utilizados nestes serviços, seria um grande passo rumo a conservação de energia, caso fosse tomada a iniciativa de se comprar somente equipamentos de reposição energeticamente eficientes, eliminando-se com o passar do tempo os equipamentos ineficientes ou ultrapassados, ainda existentes no almoxarifado e nas instalações.

Dever-se-ia dar atenção à troca de toda iluminação externa do campus, pois esta possui um potencial conservativo significativo. A modificação da iluminação externa do campus é tão atrativa, face aos gastos hoje mantidos, que se tornam desnecessários comentários quaisquer sobre esta ação, pois até mesmo a troca imediata seria justificada. A

troca das lâmpadas VMAP pelas lâmpadas VSAP seria tão viável, que deveria ser a primeira medida de conservação de energia aplicada no campus. Mas caso os recursos existentes de imediato para a realização desta modificação sejam escassos, também poder-se-iam trocá-las gradativamente.

A troca da iluminação interna poder-se-ia fazer automaticamente à medida que fosse requisitada pelos departamentos a manutenção ou troca de lâmpadas e reatores existentes, ficando sob responsabilidade da própria equipe de manutenção escolher qual é a melhor opção de iluminação a ser utilizada. Como foi dito anteriormente, a troca da iluminação interna compreenderia a substituição das lâmpadas fluorescentes de 20 W e 40 W, pelas de 16 W e 32 W respectivamente, e à medida que os reatores existentes danificassem, estes deveriam ser trocados pelos reatores eletrônicos. Para maiores esclarecimentos algumas sugestões encontram-se descritas no item 4.1.3.2.

Em contrapartida tais medidas deparam-se com outro problema, o de quem vai financiar estas modificações, pois os custos de materiais e mão de obra de manutenção interna são repassados para os departamentos. A única despesa com que a prefeitura arca neste aspecto é a de manter a manutenção externa do campus e o almoxarifado.

Mas porque os departamentos deveriam realizar estas trocas? Primeiramente poder-se-ia citar o aumento da eficiência do sistema de iluminação nos ambientes. Em segundo lugar, tanto o departamento quanto a prefeitura ganhariam com o aumento da capacidade de ampliação das cargas no sistema elétrico, adiando-se futuras ampliações do sistema de distribuição. E de caráter geral, principalmente da reitoria da USP, a redução dos gastos anuais de funcionamento da iluminação interna em até 30%. A economia gerada pelas mudanças refletiriam diretamente nas contas de energia elétrica. Todavia, face à situação econômica financeira vivida nos dias atuais, poder-se-iam começar estas mudanças timidamente, trocando somente os equipamentos à medida que danificassem, o que deixaria mais suave o investimento inicial.

Na verdade o retorno destes investimentos é mais rápido que o demonstrado nesta dissertação, pois na compra de grandes quantidades de equipamentos os custos caem muito. O retorno dos investimentos calculados aqui basearam-se nos preços unitários dos equipamentos praticados no mercado.

Modificações quanto à distribuição dos transformadores no campus também poderiam ser realizadas, pois a energia ativa consumida em um transformador vazio é totalmente desperdiçada no suprimento das perdas nos enrolamentos do primário e secundário, não podendo ser utilizada em outro local; ou seja, esta energia não se transforma em trabalho e é

faturada nas contas de energia elétrica emitidas pela concessionária. Este fato também ocorre para os transformadores superdimensionados. Desta forma, conclui-se que os transformadores devem ser dimensionados corretamente, justificando assim o consumo da potência ativa nas resistências de seus enrolamentos e melhorando o fator de potência.

Como os projetos de distribuição de energia elétrica também são de responsabilidade da prefeitura, seria interessante realizar as realocações para se ter um número menor de transformadores e aumentar o fator de potência e a capacidade de ampliação do sistema de distribuição, prorrogando investimentos imediatos. Além do mais, os transformadores desativados poderiam ser utilizados em futuras ampliações ou ficar à disposição como transformadores sobressalentes, proporcionando assim menores gastos com futuras obras de ampliação do sistema de distribuição elétrica do campus USP - São Carlos.

A melhora do fator de potência implicaria na diminuição do consumo de energia elétrica através da diminuição das perdas Joule nos condutores, aumentando a capacidade de ampliação do sistema. A persistência de um baixo fator de potência não é interessante devido às penalizações feitas pelas concessionárias através de pesadas multas.

Seria interessantíssimo para o campus possuir um alto fator de carga, por meio da reprogramação do funcionamento das cargas existentes no seu interior, evitando-se principalmente picos de consumo de energia no horário de ponta. Todavia, sabe-se que esta ação é praticamente impossível de ser realizada devido ao dinamismo e à independência existente entre os departamentos. A princípio, a única ação que se poder realizar seria a setorização da ligação da iluminação externa, que pode ser controlada sem que haja a intervenção de terceiros, a fim de amenizar os picos de consumo que acontecem justamente no horário de ponta.

No entanto, existem alguns pontos, os quais não foram citados no decorrer deste estudo devido à grande diversidade das instalações e dificuldade de fazer o levantamento exato das cargas existentes. Foram atacados os pontos mais críticos, a fim de alertar a todos e principalmente à administração do campus, onde e como a energia elétrica está sendo desperdiçada.

Subentende-se que a responsabilidade da implantação de um programa de conservação de energia deve partir da administração do campus, de modo a conscientizar e educar os usuários a usar racionalmente a energia, mesmo que de início os resultados colhidos sejam modestos, pois não se pode esquecer que os benefícios gerados são de caráter cumulativo e muitas vezes podem não parecer muito atrativos, mas são compensadores com o decorrer do tempo.

Deve-se compreender que investir não é gastar dinheiro desnecessariamente. Quem investe, investe com o objetivo de ter retorno do investimento passado um determinado período. Geralmente, quando se trata de conservação de energia, como no caso do campus de São Carlos - USP, tem-se certeza do retorno do investimento em um prazo atraente.

Portanto, deve-se ter a consciência de que a conservação de energia torna-se cada vez mais uma necessidade do cotidiano e pode ser justificada através de alguns índices apresentados neste trabalho, pois manter o desperdício, o qual não gera renda alguma ou sequer trabalho efetivo, é uma opção um tanto quanto irracional, principalmente diante do quadro energético encontrado hoje no Brasil.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE ILUMINAÇÃO et al. (1992). *Uso racional de energia elétrica em edificação: iluminação*. 2.ed.rev. São Paulo.
- AGÊNCIA PARA APLICAÇÃO DE ENERGIA (1989). *Auto-avaliação dos pontos de desperdício de energia elétrica no setor público*. São Paulo, CESP. (Série divulgação e informação, 118).
- ARANA, E. (1994). *Conservação de energia num campus universitário*. São Carlos. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1991). *NBR 5413 - Iluminância de interiores*. Rio de Janeiro.
- COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. *Manual de orientação aos consumidores sobre a nova legislação para faturamento de energia reativa excedente*. Rio de Janeiro.
- COMITÊ DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (1988). *Tarifas horo-sazonais azul e verde: manual de orientação ao consumidor*. Rio de Janeiro.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO. *Estrutura tarifária horo-sazonal: tarifa azul e tarifa verde*. São Paulo.
- COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO; COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ (1979). *Manual de fator de carga*. São Paulo.

- COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ (1989). *NT 113 - Fornecimento de energia elétrica em tensão primária*. São Paulo.
- COSTA, P.F.; SANTOS, I.M.; RAMON, A.B. (1996). Impacto da medição horária do fator de potência nos sistemas elétricos industriais. *Eletricidade Moderna*, n.264, p.40-48, mar.
- CPFL: iluminação pública com menor consumo (1992). *Eletricidade Moderna*, n.222, p.6, set.
- CRESTANI, M.S. (1996a). Avaliação horária da energia reativa ainda gera controvérsias. *Eletricidade Moderna*, n.264, p.32-38, mar.
- CRESTANI, M.S. (1996b). Centro-Sul: fantasma do racionamento assombra o próximo triênio. *Eletricidade Moderna*, n.268, p.60-66, jul.
- DIB, W.M. (1996). A conservação de energia sob o ponto de vista luminotécnico. *Eletricidade Moderna*, n.270, p.122-129, set.
- ELETROBRÁS (1996). A expansão dos sistemas elétricos do Brasil nos próximos dez anos. *Eletricidade Moderna*, n.268, p.68-83, jul.
- EMBRASUL INDÚSTRIA ELETRÔNICA LTDA (1993). *Manual de operação RE1000*. Porto Alegre.
- A EXPANSÃO da geração de energia elétrica no Brasil (1995). <http://www.brasil.emb.nw.dc.us/ear10ex.htm> (11 set. 97).
- FERREIRA JÚNIOR, H.D.; MAZZONI, E.; ASSEF M.M. (1993). Guia prático para correção do fator de potência de instalações consumidoras. *Eletricidade Moderna*, n.230, p.56-62, maio.

- A GERAÇÃO de energia elétrica no Brasil (1995). <http://www.brasil.emb.nw.dc.us/ear11ge.htm> (11 set. 97).
- A GERAÇÃO termelétrica no sistema brasileiro elétrico (1996). <http://www.brasil.emb.nw.dc.us/ear04ge.htm> (11 set. 97).
- GUERRINI, D.P. (1996). *Eletrotécnica aplicada e instalações elétricas industriais*. 2.ed. São Paulo, Érica.
- GUERRINI, D.P. (1995). *Luminotécnica: interior, exterior, projetores*. São Carlos, EESC.
- HEURI, D.; FRANCO, E.F. (1993). O impacto da nova legislação nas contas de energia de edifícios de escritórios. *Eletricidade Moderna*, n.230, p.64-68, maio.
- LEONELLI, P.A.; ARAÚJO, I.M.T.; SILVA H.V. (1995). O uso racional de energia e as perspectivas da iluminação eficiente no país. *Eletricidade Moderna*, n.261, p.110-116, dez.
- LOVE, J. (1995). Desempenho de sistemas de iluminação natural com controles fotoelétricos. *Eletricidade Moderna*, n.257, p.68-76, ago.
- MACEDO JÚNIOR, A. (1995). Seleção, especificação e testes de reatores eletrônicos. *Eletricidade Moderna*, n.253, p.106-118, abr.
- MAMEDE FILHO, J. (1987). *Instalações elétricas industriais*. 2.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos.
- MENDES, J.F. (1996). Sistemas eletrônicos em iluminação comercial. *Iluminação Brasil*, v.10, n.58, p.28-31, mar./abr.
- MOGAMI, S. (1994). Luminárias de alto rendimento: preparando-se para a conquista do mercado. *Eletricidade Moderna*, n.245, p.32-43, ago.

NAKANO, R. (1986). Iluminação externa visando a conservação de energia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE INSTALAÇÕES PREDIAIS: "INSTALAÇÕES ELÉTRICAS", 2., São Paulo, 1986. *Anais*. São Paulo, EPUSP. v.1, p.147-164.

- ⑥ NOGUEIRA, L.A.H. (1996). *Redução dos desperdícios de energia: uma visão atual*. /apostila do curso de extensão da Escola Federal de Engenharia de Itajubá - M.G./

OSRAM DO BRASIL COMPANHIA DE LÂMPADAS ELÉTRICAS. *Catálogo geral*.

- ⑦ A OTIMIZAÇÃO do sistema elétrico brasileiro (1996). <http://www.brasil.emb.nw.dc.us/cear07ot.htm> (11 set. 97).

- ⑧ PERFIL do setor de energia elétrica de 1997 (1997). *Eletricidade Moderna*, n.280, p.78-137, jul.

PHILIPS. *Philips iluminação: luminárias, lâmpadas, reatores*. São Paulo. /catálogo técnico/

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (1988). *Manual de conservação de energia elétrica: prédios públicos e comerciais*. Rio de Janeiro.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (a). *Manual de conservação de energia elétrica em estabelecimentos comerciais e de serviços*. Rio de Janeiro.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (b). *Manual de conservação de energia elétrica na indústria*. Rio de Janeiro.

ROCHA, M.E. (1991). Elementos para maior eficiência dos sistemas de iluminação. *Eletricidade Moderna*, n.210, p.52-56, set.

ROIZENBLATT, I. (1989). Desempenho dos equipamentos de iluminação e conservação de energia. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA NAS EDIFICAÇÕES, 1., São Paulo, 1989. *Anais*. São Paulo, EPUSP. v.1, p.129-133.

SYLVANIA. *Manual de economia de energia elétrica em condomínios residenciais*. São Paulo.

TABOSA, R.P.; SOARES, G.A. (1996). Ações tecnológicas de conservação de energia em motores e acionamentos. *Eletricidade Moderna*, n.263, p.36-48, fev.

TORRES, M.B. (1989). Comutador fotoeletrônico no comando da iluminação pública. *Eletricidade Moderna*, n.186, p.37-41, set.

APÊNDICE I

Dados coletados no transformador: TR – 10

RMS: TR - 10: Transformador da Grafica (75kVA)
CONSUMO DIARIO:

TOTAL: 21/10/96:	569.0 kWh	Fator potencia = 0.769
FORA PONTA:	569.0 kWh	Fator potencia = 0.769
PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000
RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000

TOTAL: 22/10/96:	702.9 kWh	Fator potencia = 0.799
FORA PONTA:	702.9 kWh	Fator potencia = 0.799
PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000
RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000

TOTAL: 23/10/96:	89.62 kWh	Fator potencia = 0.848
FORA PONTA:	89.62 kWh	Fator potencia = 0.848
PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000
RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000

CONSUMO NO PERIODO:

TOTAL:	1.362 MWh	Fator potencia = 0.790
FORA PONTA:	1.362 MWh	Fator potencia = 0.790
PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000
RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000

FIGURA I.1 - Curva de carga registrada no TR -10 (primeiro período)

FIGURA I.2 - Curva de carga registrada no TR -10 (segundo período)

RMS: TR - 10: Transformador da Grafica (75kVA)

RESUMO DA FASE A:

Tensao med:	130.1,	Corrente med:	97.13
min: 14:30 22/10/96:	125.8,	min: 02:25 22/10/96:	14.54
max: 23:05 21/10/96:	134.0,	max: 16:15 22/10/96:	159.3

RESUMO DA FASE B:

Tensao med:	130.8,	Corrente med:	96.29
min: 14:30 22/10/96:	126.4,	min: 06:35 23/10/96:	20.79
max: 23:05 21/10/96:	134.1,	max: 14:55 22/10/96:	169.8

RESUMO DA FASE C:

Tensao med:	130.4,	Corrente med:	130.4
min: 14:30 22/10/96:	126.4,	min: 02:55 22/10/96:	22.35
max: 23:05 21/10/96:	134.2,	max: 16:25 22/10/96:	200.8

DEMANDAS FORA PONTA:

maxima 1:	14:55 22/10/96:	53.71 kW
maxima 2:	14:50 22/10/96:	53.08 kW
maxima 3:	16:20 22/10/96:	52.69 kW

DEMANDAS PONTA:

maxima 1:	00:00 00/00/00:	0.000 kW
maxima 2:	00:00 00/00/00:	0.000 kW
maxima 3:	00:00 00/00/00:	0.000 kW

DEMANDAS RESERVADO:

maxima 1:	00:00 00/00/00:	0.000 kW
maxima 2:	00:00 00/00/00:	0.000 kW
maxima 3:	00:00 00/00/00:	0.000 kW

CONSUMO TOTAL:

de 07:45 21/10/96 a 07:55 23/10/96:	1.362 MWh	Fator potencia = 0.790
CONSUMO FORA PONTA:	1.362 MWh	Fator potencia = 0.790
CONSUMO PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000
CONSUMO RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000

CONSUMO POR FASE:

FASE A:	336.3 kWh	Fator potencia = 0.659
FASE B:	473.3 kWh	Fator potencia = 0.896
FASE C:	552.1 kWh	Fator potencia = 0.783

FIGURA I.3 - Potência ativa e reativa registrada no TR -10

APÊNDICE II

Dados coletados no transformador: TR – 12

RMS: TR - 12: Transf. Lombardi/Metrologia (112.5 kVA)
CONSUMO DIARIO:

TOTAL: 08/10/96:	55.62 kWh	Fator potencia =	0.923
FORA PONTA:	55.62 kWh	Fator potencia =	0.923
PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia =	1.000
RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia =	1.000

TOTAL: 09/10/96:	18.91 kWh	Fator potencia =	0.962
FORA PONTA:	18.91 kWh	Fator potencia =	0.962
PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia =	1.000
RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia =	1.000

TOTAL: 10/10/96:	1.150 kWh	Fator potencia =	0.990
FORA PONTA:	1.150 kWh	Fator potencia =	0.990
PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia =	1.000
RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia =	1.000

CONSUMO NO PERIODO:

TOTAL:	75.68 kWh	Fator potencia =	0.935
FORA PONTA:	75.68 kWh	Fator potencia =	0.935
PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia =	1.000
RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia =	1.000

FIGURA II.1 - Curva de carga registrada no TR -12 (primeiro período)

FIGURA II.2 - Curva de carga registrada no TR -12 (segundo período)

RMS: TR - 12: Transf. Lombardi/Metrologia (112.5 kVA)

RESUMO DA FASE A:

Tensao med:	131.3,	Corrente med:	15.45
min: 14:30 08/10/96:	127.6,	min: 17:35 08/10/96:	0.000
max: 00:05 09/10/96:	134.8,	max: 14:15 08/10/96:	112.4

RESUMO DA FASE B:

Tensao med:	131.7,	Corrente med:	13.68
min: 14:30 08/10/96:	128.0,	min: 07:50 08/10/96:	0.000
max: 00:05 09/10/96:	134.8,	max: 14:15 08/10/96:	106.6

RESUMO DA FASE C:

Tensao med:	130.0,	Corrente med:	13.44
min: 15:25 09/10/96:	126.9,	min: 11:50 08/10/96:	0.000
max: 18:50 08/10/96:	134.2,	max: 14:15 08/10/96:	103.0

DEMANDAS FORA PONTA:

maxima 1:	14:15 08/10/96:	37.08 kW
maxima 2:	14:20 08/10/96:	32.48 kW
maxima 3:	14:25 08/10/96:	32.09 kW

DEMANDAS PONTA:

maxima 1:	00:00 00/00/00:	0.000 kW
maxima 2:	00:00 00/00/00:	0.000 kW
maxima 3:	00:00 00/00/00:	0.000 kW

DEMANDAS RESERVADO:

maxima 1:	00:00 00/00/00:	0.000 kW
maxima 2:	00:00 00/00/00:	0.000 kW
maxima 3:	00:00 00/00/00:	0.000 kW

CONSUMO TOTAL:

de 07:45 08/10/96 a 08:25 10/10/96:	75.68 kWh	Fator potencia = 0.935
CONSUMO FORA PONTA:	75.68 kWh	Fator potencia = 0.935
CONSUMO PONTA:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000
CONSUMO RESERVADO:	0.000 kWh	Fator potencia = 1.000

CONSUMO POR FASE:

FASE A:	33.92 kWh	Fator potencia = 0.922
FASE B:	16.93 kWh	Fator potencia = 0.764
FASE C:	24.82 kWh	Fator potencia = 1.000

FIGURA II.3 - Potência ativa e reativa registrada no TR -12

APÊNDICE III

Dados coletados no transformador: TR – 15

RMS: TR - 15: Transformador da Biblioteca (75kVA)
CONSUMO DIARIO:

TOTAL: 21/10/96:	106.434 kWh	Fator potencia =	0.977
FORA PONTA:	106.434 kWh	Fator potencia =	0.977
PONTA:	0.00000 kWh	Fator potencia =	1.000
RESERVADO:	0.00000 kWh	Fator potencia =	1.000

TOTAL: 22/10/96:	119.929 kWh	Fator potencia =	0.976
FORA PONTA:	119.929 kWh	Fator potencia =	0.976
PONTA:	0.00000 kWh	Fator potencia =	1.000
RESERVADO:	0.00000 kWh	Fator potencia =	1.000

TOTAL: 23/10/96:	3.26957 kWh	Fator potencia =	0.967
FORA PONTA:	3.26957 kWh	Fator potencia =	0.967
PONTA:	0.00000 kWh	Fator potencia =	1.000
RESERVADO:	0.00000 kWh	Fator potencia =	1.000

CONSUMO NO PERIODO:

TOTAL:	229.633 kWh	Fator potencia =	0.977
FORA PONTA:	229.633 kWh	Fator potencia =	0.977
PONTA:	0.00000 kWh	Fator potencia =	1.000
RESERVADO:	0.00000 kWh	Fator potencia =	1.000

FIGURA III.1 - Curva de carga registrada no TR -15 (primeiro período)

FIGURA III.2 - Curva de carga registrada no TR -15 (segundo período)

RMS: TR - 15: Transformador da Biblioteca (75kVA)

RESUMO DA FASE A:

Tensao med:	125.1,	Corrente med:	21.17
min: 14:30 22/10/96:	122.4,	min: 22:05 21/10/96:	0.000
max: 23:00 21/10/96:	127.9,	max: 16:45 22/10/96:	31.83

RESUMO DA FASE B:

Tensao med:	124.9,	Corrente med:	15.24
min: 14:25 22/10/96:	122.0,	min: 22:05 21/10/96:	0.000
max: 22:00 21/10/96:	127.6,	max: 15:45 22/10/96:	22.67

RESUMO DA FASE C:

Tensao med:	125.2,	Corrente med:	15.36
min: 14:30 22/10/96:	122.2,	min: 22:05 21/10/96:	0.000
max: 22:00 21/10/96:	127.6,	max: 16:20 22/10/96:	22.02

DEMANDAS FORA PONTA:

maxima 1:	16:45 22/10/96:	8.92907 kW
maxima 2:	16:35 22/10/96:	8.92422 kW
maxima 3:	20:55 22/10/96:	8.91775 kW

DEMANDAS PONTA:

maxima 1:	00:00 00/00/00:	0.00000 kW
maxima 2:	00:00 00/00/00:	0.00000 kW
maxima 3:	00:00 00/00/00:	0.00000 kW

DEMANDAS RESERVADO:

maxima 1:	00:00 00/00/00:	0.00000 kW
maxima 2:	00:00 00/00/00:	0.00000 kW
maxima 3:	00:00 00/00/00:	0.00000 kW

CONSUMO TOTAL:

de 07:55 21/10/96 a 07:55 23/10/96:	229.633 kWh	Fator potencia = 0.977
CONSUMO FORA PONTA:	229.633 kWh	Fator potencia = 0.977
CONSUMO PONTA:	0.00000 kWh	Fator potencia = 1.000
CONSUMO RESERVADO:	0.00000 kWh	Fator potencia = 1.000

CONSUMO POR FASE:

FASE A:	94.4651 kWh	Fator potencia = 0.983
FASE B:	65.5850 kWh	Fator potencia = 0.942
FASE C:	69.5831 kWh	Fator potencia = 0.991

FIGURA III.3 - Potência ativa e reativa registrada no TR -15